

ERICH COLLICCHIO
HUMBERTO RIBEIRO DA ROCHA
Organizadores

Agricultura e Mudanças do Clima no Estado do **Tocantins**: Vulnerabilidades, Projeções e Desenvolvimento

ERICH COLLICCHIO
HUMBERTO RIBEIRO DA ROCHA
Organizadores

Agricultura e Mudanças do Clima no Estado do Tocantins: Vulnerabilidades, Projeções e Desenvolvimento



Palmas - TO
Brasil
2022



Universidade Federal do Tocantins

Editora da Universidade Federal do Tocantins - EDUFT

Reitor
Luis Eduardo Bovolato

Vice-reitor
Marcelo Leineker Costa

**Pró-Reitor de Administração e Finanças
(PROAD)**
Jaasiel Nascimento Lima

**Pró-Reitor de Assuntos Estudantis
(PROEST)**
Kherley Caxias Batista Barbosa

**Pró-Reitora de Extensão, Cultura e Assuntos
Comunitários (PROEX)**
Maria Santana Ferreira dos Santos

**Pró-Reitora de Gestão e Desenvolvimento de
Pessoas (PROGEDEP)**
Vânia Maria de Araújo Passos

Pró-Reitor de Graduação (PROGRAD)
Eduardo José Cezari

**Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação
(PROPESQ)**
Raphael Sanzio Pimenta

Conselho Editorial
Presidente
Ruhena Kelber Abrão Ferreira

Membros do Conselho por Área

Ciências Biológicas e da Saúde
Eder Ahmad Charaf Eddine
Marcela Antunes Paschoal Popolin
Marcio dos Santos Teixeira Pinho

Ciências Humanas, Letras e Artes
Barbara Tavares dos Santos
George Leonardo Seabra Coelho
Marcos Alexandre de Melo Santiago
Rosemeri Birck
Thiago Barbosa Soares
Willian Douglas Guilherme

Ciências Sociais Aplicadas
Roseli Bodnar
Thays Assunção Reis
Vinicius Pinheiro Marques

Engenharias, Ciências Exatas e da Terra
Fernando Soares de Carvalho
Marcos André de Oliveira
Maria Cristina Bueno Coelho

Interdisciplinar
Ana Roseli Paes dos Santos
Ruhena Kelber Abrão Ferreira
Wilson Rogério dos Santos

**PRESIDENTE DO SELO EDITORIAL
PPGA Digital**

**Profa. Dra. Flávia Lucila Tonani de
Siqueira**

Membros:

Prof. Dr. André Marcondes Andrade Toledo
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Brasil

Prof. Dr. Daniel Silveira Pinto Nassif
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Brasil

Profa. Dra. Flávia Lucila Tonani de Siqueira
Universidade Federal do Tocantins (UFT), Brasil

Prof. Dr. Gustavo Azevedo Campos
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Brasil

Prof. Dr. Guilherme Benko de Siqueira
Universidade Federal do Tocantins (UFT), Brasil

Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Júnior
Universidade Federal do Tocantins (UFT), Brasil

Profa. Dra. Lina Maria Grajales Agudello
Universidade Federal do Tocantins (UFT), Brasil

Profa. Dra. Yolanda Vieira de Abreu
Universidade Federal do Tocantins (UFT), Brasil

Diagramação e Arte da Capa: Abrão Lira Costa

Revisão: Munique Oliveira

Apoio na Digitação: Soraya Rodrigues da Silva

Fotos da Capa: Daniel de Brito Fragoso e Erich Collicchio

Imagem Artística da Contracapa: Bruna de Freitas Moreira (Bromou)

O padrão ortográfico e o sistema de citações e referências bibliográficas são prerrogativas de cada autor. Da mesma forma, o conteúdo de cada capítulo é de inteira e exclusiva responsabilidade de seu respectivo autor.



<http://www.abecbrasil.org.br>



<http://www.abeu.org.br>

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Agricultura e mudanças do clima no Estado do Tocantins

[livro eletrônico] : vulnerabilidades, projeções e desenvolvimento /
organização Erich Collicchio, Humberto Ribeiro da Rocha. --
Palmas, TO : Editora Universitária - EdUFT, 2022.

438 p.

PDF.

Bibliografia.

ISBN 978-65-5390-006-6

1. Agricultura 2. Alimentos - Abastecimento - Brasil 3. Clima -
Mudanças 4. Solo - Uso agrícola 5. Tocantins - Aspectos sociais
I. Collicchio, Erich. II. Rocha, Humberto Ribeiro da.

22-108490

CDD-630.98117

Índices para catálogo sistemático:

1. Mudança climática : Tocantins : Estado :
Agricultura 630.98117

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

BANCO DA AMAZÔNIA S.A.

Presidente

Valdecir José de Souza Tose

Diretores

Diretoria de Infraestrutura de Negócio (DINEG)

Luis Petrônio Nunes Aguiar

Diretoria de Gestão de Recursos e Portfólio de Produtos e Serviços (DIREP)

Luiz Otávio Monteiro Maciel Júnior

Diretoria de Controle e Risco (DICOR)

Fábio Yassuda Maeda

Diretoria Comercial e de Distribuição (DICOM)

Francimar Rodrigues Maciel

Diretoria de Crédito e de Distribuição (DICRE)

Roberto Batista Schwartz Martins de Paula

Secretário Executivo

Alcir Bringel Erse

Situação em 28 de abril de 2022

Av. Presidente Vargas, nº 800, 14º e 15º andares. CEP: 66017-901 - Belém -PA
<https://www.bancoamazonia.com.br/index.php/acesso-a-informacao/institucional>

Apoio:

Livro publicado com o apoio do Banco da Amazônia, por intermédio da aprovação do projeto referente ao Edital de Patrocínios – Edição 2012, na modalidade “Projetos na categoria Cultural” para a Amazônia Legal



Dedicatória

*Homenageamos de forma especial o colega e pioneiro do Tocantins,
Prof. Dr. Joaquín Eduardo Manchola Cifuentes (in memoriam),
pela sua contribuição no desenvolvimento do Estado*

Homenageio todos os trabalhadores do campo, que no seu trabalho árduo e honesto, percebem os sinais da natureza e do clima, a presença importante das matas e animais, e respeitam estes elementos fazendo seu progresso pessoal.

Humberto Ribeiro da Rocha

Dedico aos produtores rurais, extensionistas, pesquisadores e profissionais que dedicam suas vidas para melhorar a qualidade de vida das pessoas no meio rural e nas cidades, proporcionando ganhos econômicos, e ao mesmo tempo, valorizando o saberes locais e regionais, os aspectos socioculturais, a Ciência, tecnologia e soluções inovadoras e limpas, visando o desenvolvimento sustentável do Tocantins

Aos orientadores, Engo. Agrônomo Amaury Arruda (*in memoriam*), Prof. Magno A. Patto Ramalho (Mestrado/UFLA), Prof. Humberto Ribeiro da Rocha (Doutorado/USP) e Prof. Leonardo Duarte Pimentel (Pós-Doutorado/UFV), que colaboraram na minha formação profissional, acadêmica e pessoal.

Aos amigos e colegas Engenheiros Agrônomos, Márcio Silveira, Divaldo Rezende e Roberto Sahium.

Aos meus pais, Anézio Collicchio (*in memoriam*) e Norien Aparecida R. Vianna

À minha esposa Munique Oliveira pelo apoio constante e aos meus filhos Thiago, Vitor, Romana e Ághata.

Erich Collicchio

Agradecimentos

A Deus.

Aos autores dos capítulos, pelas contribuições técnicas e científicas e pela confiança, os quais contribuíram significativamente para enriquecer em qualidade esta obra.

Aos docentes e egressos do Curso de Engenharia Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital - PPGA Digital da Universidade Federal do Tocantins - UFT, pela colaboração na autoria de capítulos.

Aos professores da Universidade Federal de Viçosa – UFV, pela importante colaboração como autores de capítulos, associados à parceria entre a UFT/UEMA/UFV, por meio do Projeto PROCAD-AMAZÔNIA – 2018.

Às equipes de profissionais e aos parceiros do Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais – LAMAM/UFT e do Laboratório de Clima e Biosfera - LCB/IAG/USP.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital - PPGA Digital/UFT, pelo apoio técnico e científico, e pela composição do Selo Editorial.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Tocantins – FAPT, pelo apoio por meio do Programa CAPES: PDPG-FAPT (Edital nº 18/2020) – PPG em Agroenergia - UFT - Termo de Outorga e Concessão de Bolsa nº 01/2021.

Ao Banco da Amazônia, pelo apoio financeiro para a publicação deste livro, por intermédio da aprovação deste projeto no Edital de Patrocínios – edição 2012, na modalidade “Projetos na categoria Cultural” para a Amazônia Legal.

SUMÁRIO

PREFÁCIO	11
PALAVRA DA ORGANIZAÇÃO DO LIVRO	13

PARTE I

USO DA TERRA, POTENCIALIDADES E PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO ESTADO DO TOCANTINS

Capítulo 1 - Aspectos Gerais, Uso da Terra e Potencialidades do Tocantins para a Produção Agrícola.....	19
<i>Erich Collicchio, Humberto Ribeiro da Rocha, André de Moura Andrade, Guilherme Benko de Siqueira, Fábio Brega Gamba, Joaquín Eduardo Manchola Cifuentes, Higino Júlia Piti e Éder Soares Pinto</i>	
Capítulo 2 - Expansão da Agricultura no Tocantins.....	51
<i>Daniel de Brito Fragoso e Expedito Alves Cardoso</i>	

PARTE II

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E CENÁRIOS FUTUROS

Capítulo 3 - Mudança do Clima no Brasil	69
<i>Eduardo Assad e Susian Christian Martins</i>	
Capítulo 4 - Caracterização da Seca Meteorológica no Estado do Tocantins.....	93
<i>José Luiz Cabral da Silva Júnior, Daniel Lima Batista e Juliana da Costa Santos</i>	
Capítulo 5 - Mudanças Climáticas no Estado do Tocantins e Efeitos Potenciais nos Ecossistemas e Agroecossistemas.....	115
<i>Humberto Ribeiro da Rocha, Rafael Cesário de Abreu e Leonardo Moreno Domingues</i>	
Capítulo 6 - Cenários Prospectivos de Mudanças Climáticas para o Estado do Tocantins.....	133
<i>Erich Collicchio, Humberto Ribeiro da Rocha, Daniel de Castro Victoria e André de Moura Andrade</i>	

PARTE III

AGRICULTURA E CENÁRIOS DE MUDANÇAS DO CLIMA NO TOCANTINS: PROJEÇÕES DE MÉDIO E LONGO PRAZO

Capítulo 7 - Possíveis Impactos das Mudanças Climáticas sobre o Zoneamento Agrícola de Risco Climático da Cultura da Soja no Estado do Tocantins	167
<i>Balbino Antônio Evangelista, Leonardo José Motta Campos, Fernando Antônio Macena da Silva, Jones Simon, Isabella Lopes Ribeiro e Telma Maria do Vale</i>	
Capítulo 8 - Implicações das Variações Climáticas sobre o Zoneamento de Risco Climático na Cultura do Arroz de Terras Altas no Estado do Tocantins	185
<i>Girlene Figueiredo Maciel</i>	
Capítulo 9 - Potenciais Efeitos dos Cenários Futuros do Clima na Aptidão Agroclimática da Cana-de-Açúcar no Estado do Tocantins	201
<i>Erich Collicchio, Humberto Ribeiro da Rocha, Daniel de Castro Victoria, André de Moura Andrade e André Marcondes Andrade Toledo</i>	

Capítulo 10 - Impactos Prováveis das Mudanças Climáticas no Zoneamento Agroclimático do <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> no Estado do Tocantins.....	223
<i>Murilo de Pádua Marcolini, Erich Collicchio, Flávia Lucila Tonani de Siqueira e Maria Inês Ramos Azevedo</i>	
Capítulo 11 – Efeito dos Cenários Climáticos Futuros na Aptidão Agroclimática do <i>Eucalyptus urophylla</i> no Estado do Tocantins	233
<i>Danillo Silva Nunes e Erich Collicchio</i>	
Capítulo 12 – Implicações das Mudanças do Clima no Zoneamento de Aptidão Agroclimática da Dendeicultura no Estado do Tocantins	243
<i>André de Moura Andrade e Rodrigo Barbosa Sellos Lopes</i>	
Capítulo 13 - Reflexos dos Cenários das Mudanças do Clima na Aptidão Agroclimática da Heveicultura no Tocantins	259
<i>Cheila Cristina Naves Barbiero, Paulo Cardoso da Silveira, Erich Collicchio, Ollíria Morgana Menezes Souza e Eduardo Quirino Pereira</i>	
PARTE IV	
MUDANÇAS DO CLIMA: RISCOS, VULNERABILIDADES, ADAPTAÇÃO, MITIGAÇÃO, AÇÕES INTERNACIONAIS E DESENVOLVIMENTO	
Capítulo 14 - Riscos e Vulnerabilidades Face às Mudanças Climáticas.....	285
<i>Pedro Roberto Jacobi</i>	
Capítulo 15 - O Crédito de Carbono e os Mecanismos de Mercado	299
<i>Divaldo José da Costa Rezende e Stefano Merlin</i>	
Capítulo 16 - Transferência de Tecnologias para Consolidação do Plano ABC no Tocantins.....	327
<i>Alexandre Aires de Freitas, Ermandes Barboza Belchior, Pedro Henrique Rezende de Alcântara e Cláudio França Barbosa</i>	
Capítulo 17 - Sistema de Produção de Dois Andares	347
<i>Sebastián Giraldo Montoya, Sérgio Yoshimitsu Motoike, Carlos Eduardo Magalhães dos Santos e Manuela Maria Cavalcante Granja</i>	
Capítulo 18 - Sorgo para Bioenergia.....	371
<i>Maria Antônia Machado Barbosa, Angélica Fátima de Barros, Emilly dos Santos Pereira, Rafael Augusto da Costa Parrella e Leonardo Duarte Pimentel</i>	
Capítulo 19 - Carbono Social como um Instrumento de Desenvolvimento Regional.....	393
<i>Eliana Kelly Pareja, Stefano Merlin, Divaldo José da Costa Rezende, Heloísa Garcia da Mota</i>	
Capítulo 20 - Divulgação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável... 413	
<i>Extraído do site da ONU BRASIL (2020)</i>	
ORGANIZADORES DO LIVRO	419
AUTORES DE CAPÍTULOS	420
AUTORA DA OBRA DA CONTRACAPA (4ª capa)	437

PREFÁCIO

Este livro trata de uma questão estratégica para nosso país. O setor da agricultura será um dos mais impactados pelas mudanças climáticas. A produção de alimentos é criticamente dependente das condições do clima, em termos de precipitação, umidade do solo, temperatura, insolação etc. E neste sentido, o Brasil, por ser um país tropical, tem vulnerabilidades importantes que terão que ser levados em conta no planejamento de políticas públicas para o setor. Isso tem que ser feito com políticas integradas, em todas as esferas, dos governos federal, estaduais e municipais, para que sejam efetivas.

É fundamental para nosso país ordenar a questão do uso da terra, trazendo políticas que preservem a qualidade do solo, a produtividade agrícola, e ao mesmo tempo dê sustentabilidade econômica para este setor tão importante na economia brasileira. E, ao mesmo tempo, reduzir as desigualdades sociais em nosso país, construindo um país mais justo, produtivo e próspero para todos.

Nosso planeta está indo atualmente em uma trajetória de aumento médio de temperatura global de 2.7 graus Celsius. Isso significa que o Tocantins pode ter um aumento médio de temperatura da ordem de 3.5 graus ao longo deste século. As previsões climáticas do último relatório do IPCC deixam claro que as regiões central e nordeste do Brasil vão se tornar muito mais secas do que atualmente. E o aumento de temperatura, junto com a queda na precipitação pode tornar a agricultura brasileira menos produtiva que atualmente. Este cenário é muito provável se o aquecimento na região realmente atingir 3.5 graus como previsto, caso o planeta não reduza rapidamente as emissões de gases de efeito estufa. A população urbana vai sofrer com um aumento de temperatura desta ordem, particularmente Palmas, uma cidade já próxima da zona alta de temperatura. O aumento dos eventos climáticos extremos como ondas de calor e fortes tempestades agrava este quadro climático já preocupante.

Todos os países precisam reduzir suas emissões de gases de efeito estufa para que seja possível limitar o aquecimento global a 2 graus Celsius. Um ponto importante é que a produção de alimentos hoje é responsável por cerca de 25% das emissões globais. Como podemos nos tornar “net zero” e ao mesmo tempo alimentar 10 bilhões de pessoas em 2050? Este desafio é um dos maiores que a humanidade já teve. Vai requerer mudanças profundas em nosso sistema socioeconômico, que é insustentável até no curto prazo.

Para que os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) sejam cumpridos, e a fome seja eliminada do nosso planeta, teremos que trabalhar intensamente nos links entre produção agrícola e mudanças climáticas, como este livro de Erich e Humberto fazem para o Tocantins. Temos que investigar nossas

vulnerabilidades em todas as escalas geográficas, dos municípios, estados, países e planetária. Neste magnífico livro, vemos exemplos de adaptação e mitigação de emissões que vão muito além do Tocantins, pois apontam caminhos de como construir sistemas agrícolas mais sustentáveis e usar o carbono social como instrumento de desenvolvimento regional para que possamos atingir os 17 ODSs.

A humanidade como um todo não tem outro caminho, pois nosso sistema socioeconômico vai ter que mudar em todas as escalas.

Bom ver que o Tocantins já sintetiza a Ciência produzida em como tornar o Tocantins mais sustentável. Este é o caminho, e espero que possamos construir esta nova sociedade o mais rápido possível. Não temos muito tempo, pois a emergência climática já está impactando significativamente todos os aspectos de nossa sociedade e sistema produtivo. É possível. Com muita ciência e todos trabalhando em conjunto na construção de uma nova sociedade, mais justa, igualitária, produtiva e sustentável.

Paulo Artaxo

Instituto de Física da USP



Foto Paulo Artaxo

Paulo Artaxo é professor titular do Instituto de Física da USP, membro da Academia Mundial de Ciências (TWAS), Academia Brasileira de Ciências (ABC), da Academia de Ciências do Estado de São Paulo (ACIESP), e vice-presidente da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC). Recebeu muito prêmios, entre eles o Prêmio Álvaro Alberto, do MCTI e o Prêmio CONFAP de Ciência e Tecnologia de 2021.

PALAVRA DA ORGANIZAÇÃO DO LIVRO

“Não importa qual a nuvem que derrama a chuva.
O que importa é a água que fecunda o solo.”

Prof. Fidêncio Bogo
(1931 – 2015)

Filósofo, educador, filólogo, poeta, contista e crítico literário.
Participou da criação da Universidade Estadual do Tocantins-UNITINS.
Foi Membro da Academia Tocantinense de Letras e da Academia Palmense de Letras

Em meio à pandemia....

... A Vacina contra a COVID - 19 destacou-se, ressaltando a importância da Ciência para a humanidade, devido a rapidez no seu desenvolvimento e por sua efetividade no controle da doença;

... Ocorreu a divulgação do Sexto Relatório do Grupo de Trabalho I do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), evidenciando que “*A mudança climática induzida pelo homem já está afetando muitos climas e extremos climáticos em todas as regiões do globo*”, e que a velocidade da exploração não sustentável dos recursos naturais tem sido cada vez mais elevada;

... Aconteceu em Glasgow – Escócia, a esperada reunião presencial da 26ª Conferência das Partes para o Clima das Nações Unidas – COP 26, onde foram assumidos compromissos internacionais relevantes e desafiadores, inclusive pelo Brasil, para o combate às mudanças climáticas globais, como elaborar e implementar políticas ambientais visando zerar o desmatamento até 2030 e reduzir 30% das emissões globais do gás metano até 2030, em comparação com as emissões de 2020, assim como o comprometimento de instituições do sistema financeiro em apoiar negócios que reduzam as emissões. Também foi acordado, a redução gradual da exploração e consumo de carvão. Contudo, a COP 26 foi em parte frustrante, pois não foram definidas ações contundentes no combate às mudanças do clima, uma vez que os compromissos assumidos não descrevem como cada país deverá reduzir as suas respectivas emissões na próxima década.



As mudanças climáticas é um dos maiores desafios que a humanidade vem enfrentando, e temas associados repercutem em debates e na necessidade de ação, como: fundo de financiamento do clima, mercado de carbono, redução de emissões, transição energética, bioeconomia, carbono neutro, net zero e agricultura de baixo carbono.

Nesse contexto, este livro vem contribuir como um instrumento de divulgação técnica-científica apontando os efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura do estado do Tocantins, a fim de alertar a sociedade, produtores, empresas e planejadores de políticas públicas, não como uma visão de pessimismo ou de alarmismo, mas de precaução e chamamento à consciência da relevância da conservação e preservação do meio ambiente, e especialmente da produção sustentável. A precaução é um dos princípios da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), que para nós, refere-se às rédeas que dão direcionamento às boas práticas sustentáveis.

Não queremos que os nossos filhos, netos e a humanidade, futuramente nos questionem...

“Vocês sabiam sobre as mudanças climáticas e seus reflexos negativos nas gerações futuras e por que postergaram o agir ou não fizeram nada?”

Nesse sentido, ressalta-se o aumento da preocupação, envolvimento e engajamento da sociedade, em especial dos jovens, frente à essa problemática mundial, os quais têm buscado serem ouvidos.

Precisamos dar mais atenção aos alertas constantes realizados pelos cientistas, sociedade civil, comunidades tradicionais, indígenas e pela juventude, que clamam por ações urgentes, porque esse assunto é uma questão de justiça social para as gerações futuras.

Refletindo sobre isso, organizamos esta obra técnica-científica juntamente com o apoio de autores colaboradores, na esperança de contribuirmos para prevenir as pessoas, as instituições públicas, privadas e não governamentais e os tomadores de decisão, sobre esse perigo e seus possíveis reflexos sociais, econômicos, ambientais e geopolíticos no planeta e regionalmente.

Aqui se destaca os possíveis efeitos regionais das mudanças climáticas globais, buscando aproximar essa temática tão discutida, divulgada e trabalhada pelos cientistas no mundo e no Brasil, com a realidade especialmente tocantinense.

O conteúdo e os resultados regionais contidos neste livro, encontram-se em consonância com os resultados constatados e as projeções do clima divulgadas pelo IPCC, mostrando que estamos interconectados e expostos a riscos, vulnerabilidades e incertezas.

Com isso, esta obra vem reforçar junto às instituições, lideranças e ao pujante setor agroindustrial do Tocantins, a necessidade de envidar esforços para incorporar

as boas práticas ambientais, sociais e de governança, que são os pilares da ESG, cujas ações estão alinhadas com os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU, que estabelecem metas globais visando o desenvolvimento sustentável.

Além disso, é relevante o incremento do investimento em pesquisa científica visando adaptar e desenvolver tecnologias sustentáveis e inovadoras de baixa emissões de gases de efeito estufa (GEE), bem como fortalecer e ampliar o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), desenvolvido de 2010 a 2020, e que culminou, no lançamento do ABC+ 2020 – 2030, pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

No Tocantins, destaca-se como positiva, a ação conjunta de instituições públicas e privadas, universidades, Embrapa e o Ruraltins (Órgão oficial de assistência técnica e de extensão rural), articulado pela Secretaria da Agricultura, Pecuária e Aquicultura, por meio do Grupo Gestor do ABC – TO, que vem trabalhando há cerca de 10 anos com técnicos e produtores rurais, na implementação de tecnologias redutoras de emissões de GEE no sistema produtivo agropecuário, visando o aumento da produção, competitividade e a preservação dos recursos naturais. Nesse sentido, ressalta-se que diversos agricultores do estado do Tocantins, já vem utilizando tecnologias sustentáveis e de baixo carbono, como o sistema de plantio direto, sistemas integrados de produção (iLPF, iLP e outros), a fixação biológica de nitrogênio no cultivo da soja, agricultura de precisão, dentre outras.

Outros exemplos positivos observados no Estado, referem-se à existência da Lei Estadual de Mudanças Climáticas e do Fórum Estadual de Mudanças Climáticas, além da proposição de um anteprojeto de Lei que visa instituir a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais do Tocantins, que encontra-se em discussão, sob a coordenação da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Semarh.

Contudo, é importante reforçar junto à sociedade, lideranças, governantes e os atores do setor agroindustrial do Tocantins, a necessidade urgente da ampliação de ações, como promover e fortalecer políticas agroambientais, ampliar a proteção da biodiversidade e melhorar a gestão integrada e sustentável do uso da terra e dos recursos hídricos, para que a agricultura tocantinense seja menos impactada negativamente.

Concomitantemente, espera-se também que haja uma adequação da agricultura frente aos novos desafios, a fim de gerar mais oportunidades de negócios e mercados, e que garantam a segurança alimentar e a produção sustentável de alimentos de alta qualidade e seguros.

A emergência climática é uma realidade, portanto, exige ação imediata!

Erich Collicchio
Organizador



**É inequívoco que a influência humana
aqueceu o sistema climático global desde
os tempos pré-industriais.**



IPCC (2021)

*Extraído do capítulo 3 do Sexto Relatório de Avaliação do IPCC.
Tradução livre a partir do texto original em Inglês*



PARTE I

Uso da Terra, Potencialidades e
Produção Agrícola no Estado
do Tocantins





A ciência das mudanças climáticas é muito clara: temos que agir agora, mudar nosso nível de consumo e o uso dos recursos naturais do planeta, e construir uma nova sociedade mais igualitária e sustentável.



Prof. Paulo Artaxo

Professor da USP. Membro da Academia Brasileira de Ciências – ABC e da Associação Americana para o Avanço da Ciência – TWAS; Vice-presidente da SBPC; Membro do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC e coautor do capítulo 6 do Relatório AR6 do IPCC.

Extraído do Jornal da USP, publicado em 28/02/2019 - <https://jornal.usp.br/?p=227422>

Autor da foto da capa da Parte I

Richard Antônio Souza Mesquita

Aspectos Gerais, Uso da Terra e Potencialidades do Tocantins para a Produção Agrícola

Erich Collicchio¹; Humberto Ribeiro da Rocha²; André de Moura Andrade³; Guilherme Benko de Siqueira⁴; Fábio Brega Gamba⁵; Joaquín Eduardo Manchola Cifuentes⁶; Higino Júlia Piti⁷; Eder Soares Pinto⁸

¹Professor Associado II da Universidade Federal do Tocantins - UFT; ²Professor do Departamento de Ciências Atmosféricas/IAG/Universidade de São Paulo; ³Engenheiro Ambiental, Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins - SEMARH; ⁴Professor Adjunto da Universidade Federal do Tocantins - UFT; ⁵Professor da Secretaria Estadual da Educação do Tocantins; ⁶Professor Assistente da Universidade Federal do Tocantins - UFT; ⁷Professor Adjunto da Universidade Federal do Tocantins - UFT; ⁸Engenheiro Agrônomo, servidor efetivo do Naturatins - TO

1 - O Estado do Tocantins, regiões geoeconômicas e a relação com biomas e pólos de produção agropecuária e florestal

O Estado do Tocantins localizado na região geoeconômica Norte do Brasil, com uma área total de 277.620 km² (SEPLAN, 2012), representa 3,26% do território nacional e 7,2% da Região Norte.

Juntamente com outros oito estados, o Tocantins faz parte da Amazônia Legal (Figura 1), que corresponde à área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM, delimitada no Art. 2º da Lei Complementar n. 124, de 03.01.2007. Esta região é composta por 52 municípios de Rondônia, 22 municípios do Acre, 62 do Amazonas, 15 de Roraima, 144 do Pará, 16 do Amapá, 139 do Tocantins, 141 do Mato Grosso, bem como, por 181 municípios do Estado do Maranhão situados ao oeste do Meridiano 44º, dos quais, 21 deles, estão parcialmente integrados à Amazônia Legal (FGV EESP, 2016; IBGE, 2020).

Possui uma superfície aproximada de 5.015.067,749 km² (mais de 500 milhões de hectares) correspondente a cerca de 58,9% do território brasileiro (IBGE, 2020), sendo que o Estado do Tocantins ocupa cerca de 5,5% dessa área.

O conceito de Amazônia Legal foi instituído pelo governo brasileiro como forma de planejar e promover o desenvolvimento social e econômico dos estados da região Amazônica, que historicamente compartilham os mesmos desafios econômicos, políticos e sociais. Baseados em análises estruturais e conjunturais, seus limites territoriais tem um viés sociopolítico e não geográfico, isto é, não são definidos pelo bioma Amazônia, que ocupa cerca de 49% do território nacional e se estende também pelo território de oito países vizinhos, mas pelas necessidades de desenvolvimento identificadas na região (O ECO, 2014).

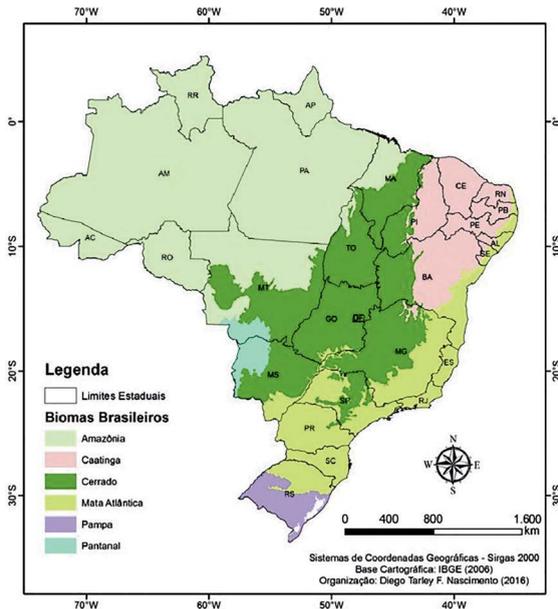


Fonte: Elaborado pela IMAZON

Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/10752834/mapa-amazonia-legal-imazon>

Figura 1 - Extensão territorial da Amazônia Legal

A Amazônia Legal conforme apresentado na Figura 2, abriga todo o bioma Amazônia brasileiro, 20% do bioma Cerrado e parte do Pantanal do Mato Grosso (O ECO, 2014; MMA, 2018).



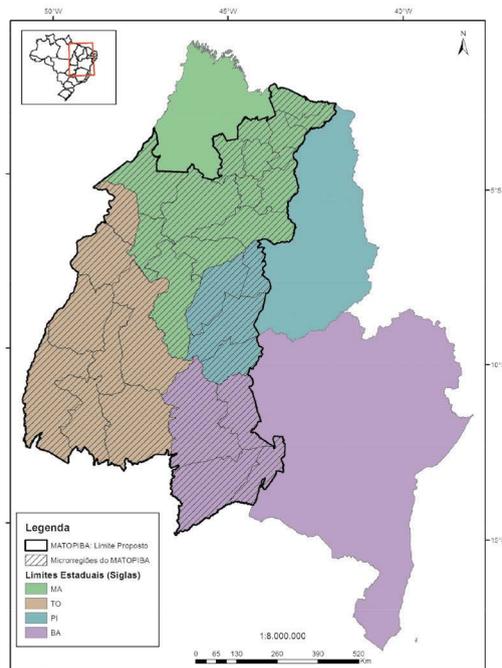
Fonte: Organizado por Nascimento (2016)

https://www.researchgate.net/publication/342993010_Terra_e_agua_do_Cerrado_para_a_vida_nao_para_o_capital/figures?lo=1

Figura 2 - Biomas brasileiros, com observância ao Estado de Tocantins, onde está localizado em sua maioria no Bioma Cerrado

O Estado do Tocantins localiza-se numa região, que pode ser caracterizada como de transição entre o bioma Amazônia e o Cerrado, onde a maior parte do seu território (91%) é ocupada pelo Cerrado (TOCANTINS, 2009). Ao mesmo tempo, esta região é considerada muito sensível e diferenciada, devido ao fato do Cerrado situar-se entre os biomas Amazônia e Caatinga (Figura 2). Nesse contexto é extremamente necessário ponderar as questões socioeconômicas e ambientais, visando ter um desenvolvimento de tecnologias adequadas, como a implementação de sistemas produtivos de baixa emissão de carbono, para a produção agropecuária e florestal de forma sustentável, a fim de evitar/atenuar a pressão sobre estes biomas e ao mesmo tempo gerar riquezas.

O Tocantins encontra-se também inserido na região produtora denominada Matopiba. Esta região localiza-se nas porções Norte-Nordeste do território brasileiro, no encontro dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí, e Bahia, sendo seu nome resultado das siglas iniciais destes estados (Figura 3) (MAGALHÃES; MIRANDA, 2014; PITTA; VEGA, 2017).



Fonte: Miranda; Magalhães; Carvalho (2014a)

Figura 3 - Delimitação territorial do MATOPIBA

Estabelecida pelo governo brasileiro, a região do Matopiba foi criada a partir do Decreto nº 8.447, de 6 de maio de 2015, o qual “Dispõe sobre o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do Matopiba e a criação de seu Comitê Gestor”, onde tinha por finalidade a promoção e coordenação de políticas públicas voltadas ao

desenvolvimento econômico, visando à melhoria da qualidade de vida dos residentes nos municípios abrangidos pela região, com foco na agricultura e pecuária. Contudo em 24 de agosto de 2020, o Decreto nº 8.447/2015 foi revogado pelo Decreto nº 10.473, porém durante esse período, a denominação Matopiba consolidou-se no meio produtivo e técnico-científico.

O Matopiba é composto pelos 139 municípios tocantinenses, englobando todo território do Estado, o que representa 38% da área total (27,7 milhões de hectares), 33% (23,9 milhões de hectares) são ocupados por 135 municípios do estado do Maranhão; 11,21% (8,2 milhões de hectares) por 33 municípios no Piauí e, 18% (13,2 milhões de hectares) ocupado por 30 municípios da Bahia (MIRANDA, 2015; SILVA, 2018).

Apresenta população de 5,9 milhões de habitantes, sendo 33,9% rural (BRASIL, 2019), que residem em 337 municípios. Estes, são abrangidos por 31 microrregiões do IBGE e seus limites totalizam 73 milhões de hectares (GARAGORRY; MIRANDA; MAGALHÃES, 2014; MIRANDA; MAGALHÃES; CARVALHO, 2014b; MIRANDA, 2015; SILVA, 2018).

A região do Matopiba caracteriza-se, por apresentar 324.326 unidades produtivas, que juntas ocupam área de 33.929.100 ha. Apresenta, ainda, 46 Unidades de Conservação (8.334.679 ha), 35 terras indígenas (4.157.189 ha) e 781 assentamentos de reforma agrária e áreas quilombolas (3.033.085 ha), num total de 13.967.920 ha de áreas legalmente atribuídas, declinadas as áreas sobrepostas (MIRANDA; MAGALHÃES; CARVALHO, 2014a).

Com foco voltado à exportação de *commodities* provenientes da agricultura e de recursos minerais, proporcionou acentuado investimento de recursos financeiros e agroindústrias (MAGALHÃES; MIRANDA, 2014; PITTA; VEGA, 2017).

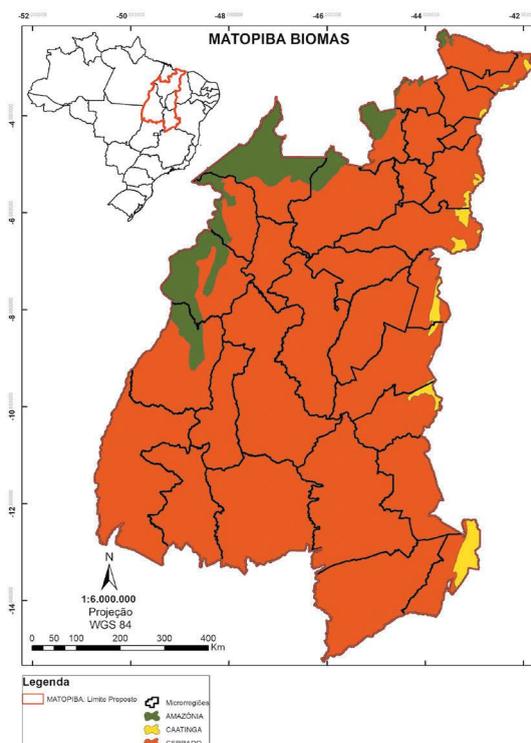
Do total de microrregiões que compõem a região do Matopiba, quinze delas localizam-se no Maranhão, oito no Tocantins e quatro no Piauí e Bahia. As microrregiões de Barreiras (BA), Imperatriz (MA) e Porto Nacional (TO) apresentaram, em 2013, o Produto Interno Bruto (PIB) superior a R\$ 7 milhões, resultante da produção agropecuária nessas regiões. Com relação a representatividade em área do total do Matopiba, se destacam as microrregiões do Jalapão (TO), do Rio Formoso (TO), de Dianópolis (TO), de Barreiras (BA) e de Santa Maria da Vitória (BA), superando 30% da área total, se destacando também em números do PIB (PEREIRA; CASTRO; PORCIONATO, 2018).

As principais atividades agropecuárias que se destacam nesta região, considerando a receita e o tamanho da área produtiva, são a cultura da soja e a atividade pecuária. Com relação à receita, ocorre o predomínio da soja com 32% e a pecuária (19%). Já considerando a área total de produção, a pecuária corresponde a 57%, enquanto que a soja a 10% (BRASIL, 2019).

Sendo, então, considerada a última fronteira agrícola brasileira, sua criação levou em consideração critérios para a delimitação do território, como, os quadros

agrário, natural, agrícola, infraestrutura e socioeconômico. Contudo, o principal foi a presença de áreas de Cerrado nos estados componentes da região, sendo que 91% de todo o território do Matopiba, o equivalente a 66.543.540,87 ha, é ocupado por este bioma (MIRANDA; MAGALHÃES; CARVALHO, 2014a; MIRANDA, 2015; BELCHIOR; ALCÂNTARA; BARBOSA, 2017; ROMEIRO *et al.*, 2018; SILVA, 2018).

A noroeste e a leste da região é possível, ainda, encontrar remanescentes de outros dois importantes biomas, a Amazônia e a Caatinga (Figura 4), que ocupam em toda a região, cerca de 7,3% (5.319.628,40 ha) e 1,7% (1.203.107,22 ha) respectivamente (MAGALHÃES; MIRANDA, 2014; SILVA, 2018).



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Magalhães; Miranda (2014).

Figura 4 - Mapa dos Biomas presentes no Matopiba

Nas últimas décadas, diversas transformações socioeconômicas ocorreram nessa região, que relacionam-se de forma geral à ampliação e fortalecimento da energia e infraestrutura rodoviária e ferroviária, em especial a Ferrovia Norte-Sul, com seis Pátios de Integração Multimodais para apoiar a logística de distribuição da produção agrícola de grãos, etanol, e carne pelo País e no exterior, contribuindo para o surgimento e consolidação de pólos agrícolas, florestais e pecuários nesta região.

As projeções de produção de grãos e de área de plantio no Matopiba, para o período de 2018/2019 a 2028/2029, realizada pelo BRASIL (2019) são otimistas, equivalendo a um acréscimo de cerca de 28,6% e de 14,9%, respectivamente. Sendo assim, a região do Matopiba, na safra 2028/2029, poderá ter uma produção total de grãos variando de cerca de 29 a 37 milhões de toneladas, numa área total de plantio de 9 a 11 milhões de hectares.

Essas projeções indicam que o Matopiba apresenta um potencial significativo de crescimento. Contudo, apesar das melhorias estruturais que ocorreram nos últimos anos, Brasil (2019), considera ainda que “são precárias as condições de logística, especialmente transporte terrestre, portuário, comunicação e, que em algumas áreas ocorre ausência de serviços financeiros”, sendo extremamente importante a realização de investimentos, visando o fortalecimento dos pólos de produção da região.

2 - Caracterização Física do Estado do Tocantins

A situação geográfica do Estado é definida pelos seguintes limites geográficos: nas Latitudes 5° 10' 06" S, no extremo norte: rio Tocantins (divisa TO/MA) e 13° 27' 69" S, no extremo sul: Serra das Traíras ou das Palmas (divisa TO/GO) e nas Longitudes 45° 41' 46" W, no extremo leste: APA – Área de Proteção Ambiental Serra da Tabatinga (divisa TO/PI/BA) e 50° 44' 33" W, no extremo oeste: Rio Araguaia (divisa TO/MT) (SEPLAN, 2005).

A caracterização geral do Estado do Tocantins, está apresentada a seguir de forma sintética, considerando, o clima, o relevo, o sistema hidrográfico, as áreas de uso legal restrito, áreas potenciais para conservação ambiental, terras indígenas, regiões fitoecológicas, áreas especiais de produção, áreas com restrições naturais de uso e, os tipos de solos e uso da terra (SEPLAN, 2012).

2.1 - Condições climáticas

O clima do Estado do Tocantins de acordo com a classificação de Köppen, é considerado: Aw – Tropical de verão úmido e período de estiagem no inverno (ROLDÃO; FERREIRA, 2019).

A regionalização climática do Tocantins apresenta três grandes ambientes: a) Clima úmido; b) Clima úmido subúmido e c) Clima subúmido seco. O clima úmido corresponde à faixa contígua na parte ocidental do Estado, que abrange de sul a norte, com exceção da região do Bico do Papagaio. Já o clima úmido subúmido envolve faixa oriental do Estado, somada a região do Bico do Papagaio, e a região restante do Estado (porção leste) refere-se ao clima subúmido seco (SEPLAN, 2012).

A temperatura do ar média anual observada no período de 1985 a 2016, é de 24,9°C, apresentando uma variação entre 23,9°C (meses de janeiro e fevereiro) e 27,7°C (setembro). Já o total pluviométrico médio anual no Estado é de 1643 mm, porém as chuvas não são distribuídas de forma equitativa ao longo do ano. Caracteriza-se

pela sazonalidade do regime pluviométrico, sendo típico de clima tropical, com acentuada máxima no verão (chuvoso) e mínima no inverno (seco). Nesse sentido, existe uma alternância entre seis meses de chuva e seis meses de seca, sendo que o período das chuvas concentra-se nos meses de novembro a abril, totalizando em média cerca de 1.404 mm (85% das chuvas anuais). O mês de janeiro evidencia-se com a maior média pluviométrica do Estado (265 mm) (ROLDÃO; FERREIRA, 2019). Essa condição favorece à produção da maioria das culturas comerciais anuais.

2.2 - Relevo

O relevo caracteriza-se por topografia plana a plana ondulada, com predomínio muito significativo de classe de declividade menor que 15%. Em relação à altitude, as cotas variam entre a mínima de 90 m no município de Esperantina, divisa com o Pará e a máxima de 1.340 m na Serra das Traíras ou das Palmas, na divisa com o Estado de Goiás. Existem também unidades morfológicas com relevo suave ondulado, bem como áreas fortemente inclinadas e áreas íngremes.

A maioria do território tocantinense (85 a 90%) apresenta relevo suave, com declividade inferior a 15%, fazendo com que o Estado tenha boa aptidão para o cultivo agrícola mecanizado (SEPLAN, 2012). Porém em algumas regiões do Tocantins apresentam declives mais acentuados (> 15%), sendo que estas terras são consideradas marginais para a agricultura intensiva, uma vez que a mecanização pode ser dificultada ou impedida (RANIERI; BARRETTO; KLUG, 2007).

De acordo com o modelo de elevação digital gerado por Collicchio (2008), com resolução de 90 m (USGS, 2008), a altitude no Estado, varia de 90 a 1223 m (Figura 5).

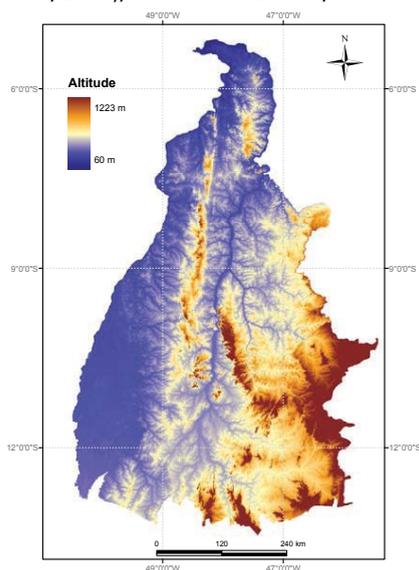


Figura 5 - Relevo do Estado do Tocantins, segundo o modelo de elevação digital gerado por Collicchio (2008)

As regiões com predominância de áreas inclinadas e montanhosas ocorrem ao sul, sudeste e leste do Estado, mas também estendem-se de sudeste para o centro e do centro para o norte.

As áreas com predominância de declives fortemente inclinados, de morros e regiões montanhosas (maior que 30%), que correspondem a aproximadamente 6,9% da área do Estado, apresentam restrições naturais ao uso (Figura 6d).

2.3 - Hidrografia

O Estado encontra-se inserido na Região da Bacia Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, que possui uma área de 967.059 km² (11% do território nacional). Esta bacia hidrográfica abrange os estados do Tocantins (34,2%), Goiás (26,8%), Pará (20,8%), Maranhão (3,8%), Mato Grosso (14,3%) e o Distrito Federal (0,1%) (ANA, 2019).

O Estado do Tocantins apresenta dois sistemas hidrográficos, cujos eixos de drenagem são os rios Tocantins e Araguaia. O divisor de águas destes sistemas hidrográficos, a serra do Estrondo, corta o Estado no sentido sul-norte (SEPLAN, 2012).

O sistema hidrográfico do Araguaia é formado por 16 bacias hidrográficas, e ocupa uma área de 104.791 km², correspondendo a 38% da área total do Estado. Já o sistema hidrográfico do Tocantins apresenta uma área de 172.828 km², equivalente a 62% do território tocantinense, sendo formado por 14 bacias hidrográficas. Dentre estas bacias, destaca-se a bacia do Rio Tocantins, por ocupar aproximadamente 21% da área do Estado (TOCANTINS, 2011).

Os principais rios que integram os dois sistemas hidrográficos são: Javaés, Formoso, Côco (sistema do Araguaia), e Paranã, do Sono, Santa Tereza e Manuel Alves Grande (sistema do Tocantins).

2.4 - Ocupação e uso da terra

Em relação à ocupação e uso da terra são consideradas: a) áreas de uso legal restrito, áreas potenciais para conservação ambiental, as terras indígenas; b) regiões fitoecológicas; c) áreas especiais de produção e d) áreas com restrições naturais de uso. Essas classes estão disponíveis na base de dados da Seplan (2012) e estão apresentadas na Figura 6.

Além das unidades de conservação e reservas indígenas existentes, as áreas potenciais à conservação da biodiversidade apontadas pelo Instituto Natureza do Tocantins – NATURATINS, estão apresentadas na Figura 6a, as quais representam cerca de 33,9% do território.

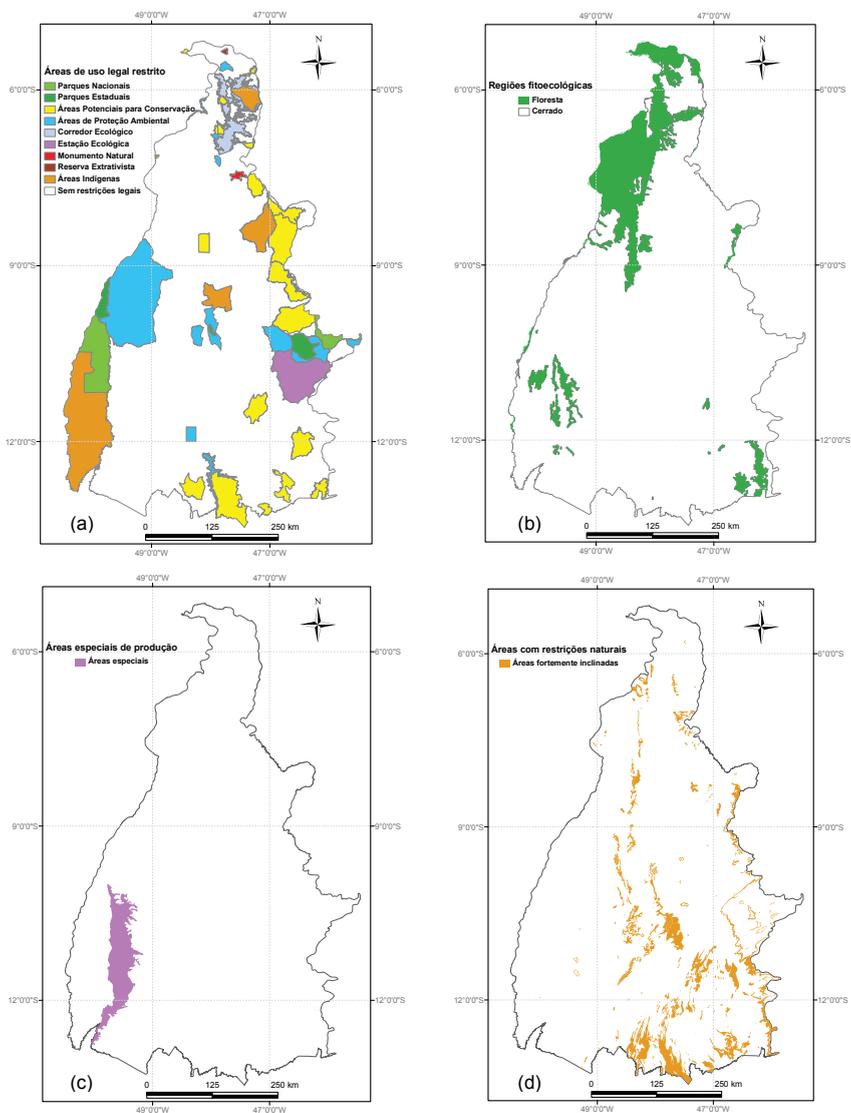


Figura 6 - (a) Áreas de uso legal restrito e potenciais para conservação ambiental (SEPLAN, 2012); (b) Ambientes originais de floresta e cerrado; (c) Áreas especiais de produção e (d) Áreas com restrições naturais de uso (adaptado do SEPLAN, 2012)

2.5 - Regiões fitoecológicas

Com relação às regiões fitoecológicas, o Estado apresenta três regiões distintas e três áreas de tensão ecológica, mas com forte predomínio do Cerrado, que ocupa 181.092,423 km², representando 65,23% da área global do território tocantinense.

Os tipos de vegetação encontradas são: Floresta Estacional (13,09%), Floresta Ombrófila (5,3%), Região de Tensão Ecológica Ecótono Floresta Estacional/ Floresta Ombrófila (7,07%), Região de Tensão Ecológica encrave Cerrado/Floresta Ombrófila (0,22%) e Região de Tensão Ecológica encrave Cerrado/Floresta Estacional (7,73%). As regiões fitoecológicas de maior destaque no Estado estão agrupadas em dois ambientes, Floresta e Cerrado (Figura 6b), que correspondem a 18,39% e 65,23%, respectivamente (SEPLAN, 2011). Contudo deve-se lembrar que a área de reserva legal para a Floresta é de 80%, e do Cerrado, acima e abaixo do paralelo 13 são, 35% e 20%, respectivamente (SEPLAN, 2011).

O entorno da Ilha do Bananal denominado de Vale do Javaés é considerado uma área especial de produção, por estar situado na planície inundável do Araguaia (Figura 6c), sendo que esta área representa cerca de 3,4% do Estado.

Nesta extensa região estão instalados grandes projetos hidroagrícolas constituídos de tabuleiros que ficam sazonalmente alagados para a plantação de arroz irrigado na época de cheia. Na época de seca, os tabuleiros são drenados e utilizados para o cultivo da soja, feijão, melancia, milho, e outras culturas, sendo a irrigação realizada mediante a elevação do lençol freático. No Vale do Javaés tem-se a oportunidade para o cultivo de três safras por ano (SEPLAN, 2012; SEAGRO, 2014).

2.6 - Solos

As classes de solos identificadas no Estado do Tocantins, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS/Embrapa (SANTOS *et al.*, 2006), estão apresentadas na Tabela 1.

A ocorrência de todas as subordens dos Plintossolos agrupadas (Pétricos, Háplicos e Argilúvicos), ocupam aproximadamente 34% da área total do Estado.

Tabela 1 - Classificações das classes de solos identificadas no estado do Tocantins, com as suas respectivas extensões no território

Classificação ¹	Área ² (km ²)	Área (%)
a) Plintossolos Pétricos/Háplicos	63.297,4	22,8
b) Latossolos	61.354,2	22,1
c) Neossolos Quartzarênicos	52.470,3	18,9
d) Plintossolos Argilúvicos	30.815,2	11,1
e) Argissolos	28.039,7	10,1
f) Neossolos Litólicos	23.320,2	8,4
g) Gleissolos	14.158,6	5,1
h) Cambissolos	4.164,4	1,5

¹De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS/Embrapa

Fonte: Collicchio (2008)

Considerando apenas as ordens os Plintossolos, os Latossolos e os Neossolos Quartzarênicos, correspondem a 75% da área do Estado.

As ordens de menor expressão são os Gleissolos, os Neossolos Litólicos e os Cambissolos, sendo que a primeira está relacionada às áreas de várzeas da bacia dos rios Tocantins e Araguaia, e as duas últimas as áreas de maiores altitudes no Estado, formando solos rasos.

Pelos níveis de ordem e subordem, as principais classes de solos identificadas no Estado estão apresentadas na Figura 7.

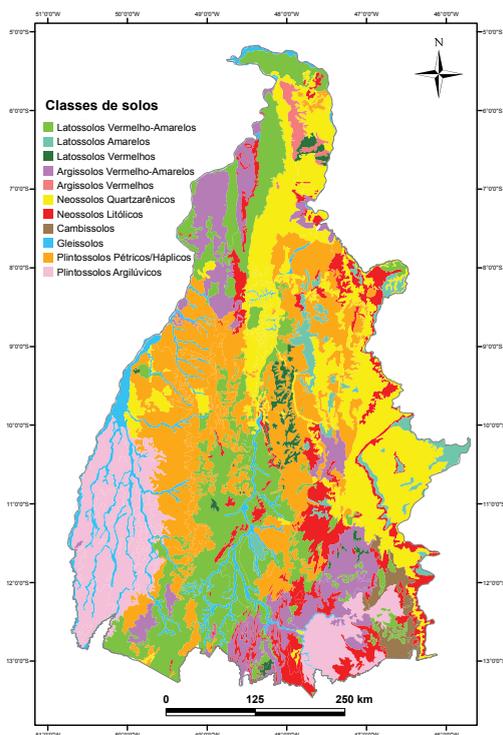


Figura 7 – Classificação dos solos do Tocantins (adaptado da SEPLAN, 2007, por COLLICCHIO, 2008)

De acordo com mapa de solos adaptado da Seplan (2007), as classes de solo que ocorrem no Estado são: 1) Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA, 2) Argissolos Vermelhos – PV, 3) Latossolos Vermelho-Amarelos – LVA, 4) Latossolos Amarelos – LA, 5) Latossolos Vermelhos – LV, 6) Neossolos Quartzarênicos – RQ, 7) Neossolos Litólicos – RL, 8) Cambissolos – C, 9) Gleissolos – G, 10) Plintossolos Pétricos – FF e Plintossolos Háplicos - FX, 11) Plintossolos Argilúvicos – FT.

Considerando os aspectos físicos do Estado do Tocantins, de forma geral apresenta características favoráveis à produção agrícola com observância à necessidade de uma expansão de forma sustentável e planejada, associada a formulação de políticas públicas, do uso de tecnologias apropriadas e de monitoramento.

Para isso torna-se relevante conhecer as demais potencialidades do Estado e a cobertura e uso da terra, para que ocorra um processo de ocupação do espaço geográfico com atividades agropecuárias e florestais de forma ordenada e com sustentabilidade em regiões potencialmente adequadas à produção.

3 - Potencialidades e Evolução do Uso da Terra

3.1 - Potencialidade e Uso da Terra

As terras do Estado foram classificadas de acordo com o Seplan (2012), em cinco tipos de zonas segundo sua potencialidade e o uso da terra, sendo: três zonas de diferentes intensidades de produção (uso intensivo, média e baixa intensidade), uma zona de produção especial e uma zona crítica de uso legal restrito, controlado e de alta limitação natural para produção. A Figura 8, apresenta os mapas mostrando a distribuição espacial de cada uma das zonas de potencialidade e uso da terra no Estado.

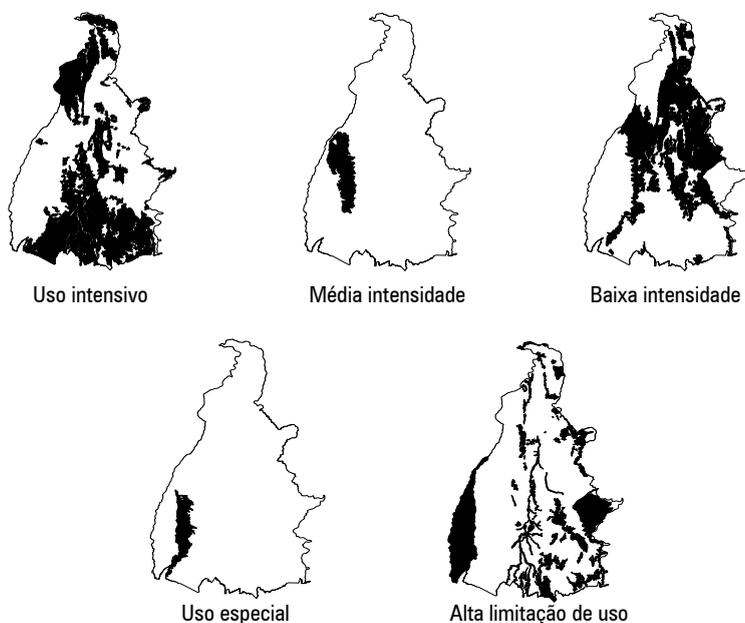


Figura 8 – Síntese da potencialidade de uso da terra do Tocantins (adaptado da SEPLAN, 2012)

Conforme apresentado na Figura 8, a Seplan (2012) identificou que as áreas de uso intensivo para a produção perfaziam o total de 107.243,7 km², correspondendo a cerca de 38,7% da área total do Estado. As terras classificadas nesta categoria equivalem àquelas destinadas ao aproveitamento com fins agrícolas (culturas de ciclos curto e longo) e de pecuária (pastagem plantada), apesar desta atividade ser menos intensiva que as culturas agrícolas.

As áreas de uso de média intensidade para produção apresentavam aproximadamente 14.291 km² (5,1% da área total do Estado), e estão localizadas na porção oeste do Tocantins. As terras pertencentes a esta categoria, estão distribuídas na região de Cerrado, sendo destinadas preferencialmente ao aproveitamento pecuário com o uso de pastagens plantadas, bem como atividades relacionadas à silvicultura.

As áreas classificadas de uso de baixa intensidade para produção correspondiam a 31,8% da área total do Estado (88.141 km²), e também estão situadas em fitofisionomias de Cerrado. Apresentam de forma geral, aptidão para a silvicultura e as pastagens naturais.

As terras pertencentes à categoria de áreas especiais de produção estão localizadas em fitofisionomias de Cerrado, totalizando 9.228,2 km² (3,3% do território tocaninense). Apresentam aptidão para pastagem plantada e lavoura (culturas de ciclos curto e longo) com limitações de moderadas a fortes para produção sustentada, pois quase sempre exigem alta aplicação de capital para superar fatores como o excesso de água e deficiência de nutrientes, uma vez que há o predomínio de várzeas, cujas áreas estão sujeitas às inundações estacionais.

A zona crítica de uso legal restrito, controlado e de alta limitação natural para produção englobam duas categorias: as áreas críticas e as áreas de uso legal restrito, controlado e potenciais para conservação ambiental.

Com relação à primeira categoria, as terras não apresentam aptidão agropecuária, devido as suas fortes limitações naturais (tipos de solos e áreas com muita declividade), sendo indicadas para conservação e preservação ambiental. Entretanto em alguns locais é possível a utilização destas áreas para florestamento e fruticultura tropical com práticas conservacionistas, ambas com elevada aplicação de capital.

A segunda categoria que compreende as áreas de uso legal restrito e controlado e áreas potenciais para conservação ambiental, refere-se às áreas indígenas, reservas extrativistas e as unidades de conservação. Estas últimas são compostas por parques nacionais e estaduais, áreas de proteção ambiental, estação ecológica, corredores ecológicos e monumentos naturais, além de áreas representativas potenciais para a conservação da biodiversidade.

3.2 - Cobertura e Uso da Terra

O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil conhecido como MapBiomass Brasil é uma plataforma de análise algorítmica de séries temporais de imagens de satélite, Landsat 5, 7 e 8, de fácil e gratuita manipulação *online*. A mesma iniciativa tematiza os usos e ocupações, bem como as dinâmicas territoriais destas classes de utilizações desde o ano de 1985 até os

dias atuais (e posterior atualização anual), sendo o ano de 2018, a última coleção recém divulgada, correspondente a versão 4.0 (MAPBIOMAS, 2019).

Esta série de mapas destaca espacialmente cinco formações naturais: as formações savânicas (Cerrado); as formações florestais; as florestas plantadas; as formações campestres e outras formações naturais não florestais. Além destas fitofisionomias gerais, o MapBiomas explora outros temas de exploração ocupacional, como: as áreas de pastagem; as áreas de cultura semi-perene; as áreas de cultura anual e perene e as demais áreas de agricultura sem identificação da espécie ou da cultura (MAPBIOMAS, 2019).

A Figura 9 apresenta mapas contendo a evolução de cobertura e uso da terra no Estado do Tocantins para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2018, considerando apenas as áreas de uso para Pastagem e de uso Agrícola (conjunto de áreas de culturas temporárias e permanentes).

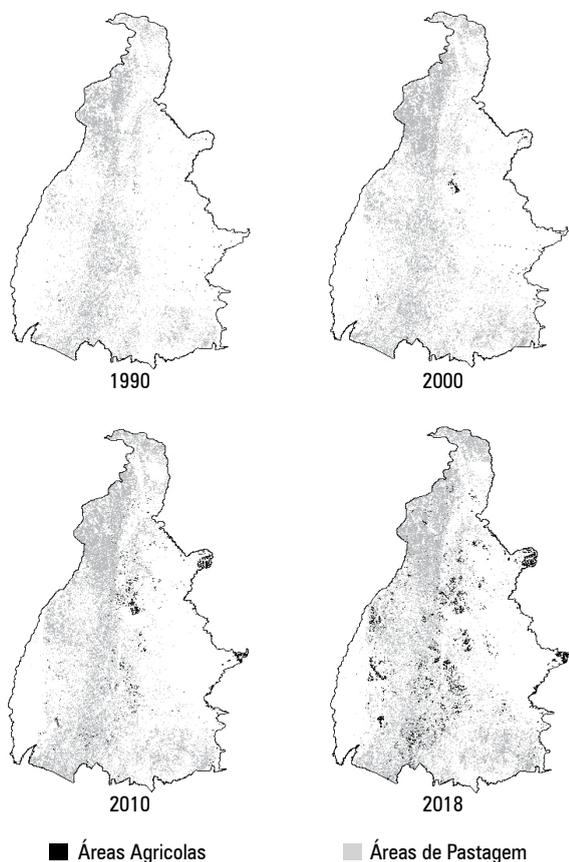


Figura 9 – Evolução da cobertura e uso da terra no Estado do Tocantins, com destaque para a agricultura e pecuária, nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2018 (adaptado da MAPBIOMAS, 2019a)

Pela Tabela 2, nota-se que em 1990, as áreas de pastagem e de uso agrícola recobriam 39.983,1 km² (14,3%) e 451,7 km² (0,2%), respectivamente. Estas classes perfaziam o total de 40.434,8 km², correspondendo a cerca de 14,5 % da área total do Estado.

Em 2000, as áreas de pastagem e de uso agrícola recobriam 53.268,7 km² (19,1%) e 795,6 km² (0,3%) respectivamente. A área total utilizada pela agropecuária neste ano, portanto, atingiu 54.064,2 km², o equivalente a aproximadamente 19,4 % da área do Estado do Tocantins.

Já para o ano de 2010, as áreas de pastagem e de agricultura ocuparam 64.746,7 km². Desse total, 61.326,6 km² (22,0%) foram destinadas à pastagem e o restante, 3.420,2 km² (1,2%), para fins agrícolas. Assim sendo, em 2010 a agropecuária utilizou uma área correspondente a 23,2% da área do Estado.

Nos oito últimos anos, a territorialização de áreas agrícolas foi muito expressiva, chegando a alcançar 8.915,2 km² (3,2% do Estado do Tocantins) em 2018. Nesse mesmo período, ocorreu a ampliação das áreas de pastagem, porém de forma não significativa, quando comparado com o crescimento nas últimas décadas, chegando a ocupar em 2018, cerca de 63.645,2 km² (22,8% do Estado).

Tabela 2 - Evolução da cobertura e uso da terra no estado do Tocantins, com destaque para as áreas de agricultura e pecuária (km²), nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2018

Anos	Uso Agrícola	Pastagem	Total
1990	451,7	39.983,1	40.434,8
2000	795,6	53.268,7	54.064,2
2010	3.420,2	61.326,6	64.746,7
2018	8.915,2	63.645,2	72.560,4

Fonte: MapBiomias (2019a)

Percebe-se pela Tabela 2, que houve um incremento significativo na área total utilizada pela atividade agropecuária no período, que foi de 32.125,6 km² (11,53% da área do Estado). Esse aumento correspondeu a um crescimento médio anual de 1.147,34 km², o equivalente a incorporação de 114.733,85 hectares por ano, sabendo-se que houve uma maior expansão da área na primeira década considerada. Isto se deve essencialmente ao crescimento de áreas de pastagem, uma vez que a expansão das áreas agrícolas observada no período de 1990 a 2018, foi o equivalente a um crescimento médio anual de 302,26 km².

A Figura 10 mostra a evolução anual dos usos e ocupações e das formações naturais no Tocantins, no período de 1985 a 2018.

Em contraposição ao crescimento indubitável da agropecuária nas últimas décadas, tanto expresso pelas áreas de pastagem, quanto pelas regiões agrícolas, percebe-se que as formações naturais sofreram um decréscimo substancial, em torno de 32.589,0 km², o correspondente a 11,7% da área do Estado. Esse percentual de desmatamento é próximo ao valor correspondente à expansão da agropecuária,

no período de 1990 a 2018, conforme estimativas obtidas no MapBiomias (2019a) e apresentadas na Tabela 2, mostrando uma relação entre a supressão da vegetação nativa e o crescimento das atividades agropecuárias.

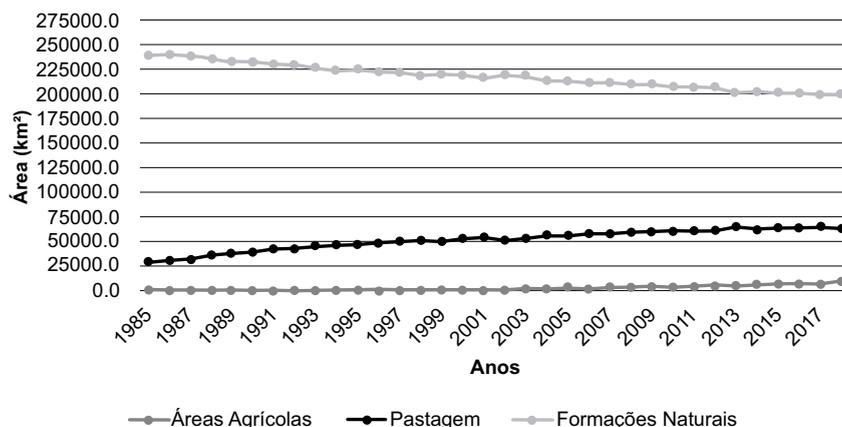


Figura 10 – Evolução das áreas agrícolas, de pastagem e formações naturais do Estado do Tocantins, no período de 1985 a 2018, segundo a plataforma de mapeamento de usos e ocupações, o MapBiomias, coleção 4.0

O desenvolvimento de novas tecnologias adaptadas às condições edafoclimáticas do Cerrado, bem como, a efetiva tecnificação do setor agropecuário foram um dos grandes motivadores deste incremento do uso da terra nas últimas décadas no Tocantins. A exemplo disso, a utilização da técnica de irrigação intensificada no Estado desde a sua criação, tem contribuído para esse crescimento. De acordo com o estudo promovido pela Agência Nacional de Águas – ANA (2017), a área equipada para irrigação no Tocantins, cresceu no período de 1996 a 2015, de 61.469 ha para 127.804 ha, o equivalente a um aumento de 107%. Espera-se ainda que ocorra um crescimento das áreas irrigadas no Estado do Tocantins, de 25 a 50%, no período de 2015 a 2030.

O Estado do Tocantins apresenta um potencial de expansão da área de irrigação de cerca de 2.781.000 hectares, contudo o potencial efetivo estimado para a expansão é de 203.000 hectares (ANA, 2017).

Para atender as áreas de agricultura irrigada atualmente existentes no Estado, bem como na incorporação de novas áreas irrigáveis, a ANA (2017) considera que uma região além ter solos e relevo com maior aptidão, necessita também de infraestrutura adequada de energia elétrica e de transporte, com boa qualidade logística, visando facilitar o escoamento da produção. Além disso, destaca-se a necessidade de serviços de apoio, uso de tecnologias apropriadas, assistência técnica, dentre outras.

Outros fatores contribuíram para a expansão da ocupação do território tocantinense pela agropecuária, como: a exportação da carne bovina e de grãos, queda de várias barreiras inclusive sanitárias; novos acordos comerciais bilaterais

e entre blocos econômicos. Destaca-se também as iniciativas governamentais visando o planejamento e implantação de infraestrutura de transporte e de energia, que tem proporcionado gradativamente uma logística adequada voltada para o setor produtivo, que foram e estão sendo viabilizadas por meio do apoio de programas federais, como também aqueles financiados pelo Banco Mundial (PDRS e PDRIS) e outros. Além disso, houve a ampliação da qualificação técnica rural com a contribuição das escolas técnicas, instituições de pesquisa e de extensão, universidades e do empreendedorismo rural, motivados por programas financiados pelo sistema SENAR, dentre outros.

Como existe um potencial disponível para uso da terra no Estado do Tocantins, associada às questões expostas anteriormente, percebe-se que há uma grande oportunidade de expansão significativa da agricultura, pecuária e da silvicultura no Estado. Contudo a Embrapa (2014) destaca a importância do ordenamento territorial e do planejamento para a expansão sustentável da produção, como por exemplo, a implementação do Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono), que envolve programas referentes às tecnologias de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas, conforme apresentado na Parte IV deste livro.

“Aponta para a necessidade de a produção agropecuária orientar-se, progressivamente, de acordo com uma visão moderna e sustentável de expansão da capacidade produtiva do País. Avanços no desenvolvimento do País passarão, inevitavelmente, pelo desafio de acomodar no espaço geográfico, de forma inteligente, as atividades agrossilvipastoris, as florestas naturais, os recursos hídricos e as cidades, por exemplo. Assim, o Brasil precisará construir um arcabouço de políticas públicas e estratégias inovadoras de ordenamento territorial e de planejamento do uso sustentável da sua rica base de recursos naturais. Tecnologias de monitoramento por satélites, sensoriamento, modelagem, zoneamento de riscos climáticos, entre outras, terão papel cada vez mais importante no embasamento de tais processos” (EMBRAPA, 2014).

Considerando as potencialidades de uso da terra do Tocantins para a produção concorda-se com as indicações da Embrapa (2014), ratificando-se a necessidade de uma expansão da produção agropecuária de forma sustentável e planejada, associada às políticas públicas e tecnologias de produção e de monitoramento. Porém para que ocorra um processo de ocupação de atividades agropecuárias e florestais de forma ordenada e sustentável em regiões potenciais à produção no Tocantins, e que venha facilitar/otimizar investimentos públicos e privados regionalmente, torna-se necessário conhecer alguns aspectos importantes. Nesse sentido, deve-se ter como plano norteador, o Zoneamento Ecológico e Econômico – ZEE/TO, associado às informações de restrições quanto ao uso do solo (restrições naturais e as áreas protegidas por lei), intensidade do uso do solo pelo setor agropecuário, zoneamento agroclimático das culturas agrícolas e florestais, infraestrutura de transporte e energia, disponibilidade de recursos hídricos e de insumos agrícolas (calcário e fosfato natural), apoio institucional técnico-científico e de recursos humanos locais.

4 - Infraestrutura de transporte e energia elétrica

O agronegócio brasileiro tem sido reconhecido como um dos vetores econômicos mais estratégicos para o país, pois dentre outros aspectos, apresenta participação significativa no Produto Interno Bruto (PIB). Tem importância nas exportações, contribuindo diretamente para a manutenção saldo positivo da balança comercial, bem como auxilia no desempenho da economia brasileira (OLIVEIRA, 2011; BRASIL, 2020 e CNA, 2020). Em 2019, a soma de bens e serviços gerados no agronegócio chegou a R\$ 1,55 trilhão, o equivalente a cerca de 21,4% do PIB brasileiro (CNA, 2020, com base nos dados do CEPEA/USP).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento divulgou que as exportações brasileiras do agronegócio em 2020, atingiu o valor de US\$ 100,8 bilhões, sendo que o saldo da balança comercial do agronegócio nesse ano, registrou um superávit de US\$ 87,8 bilhões. Esse valor é o maior da história, considerando os 10 últimos anos, superando o saldo de 2018 (US\$ 87,2 bilhões) (BRASIL, 2020).

Os cinco principais setores do agronegócio que contribuíram para as exportações no ano de 2020, foram o complexo da soja (34,96%), carnes (17,02%), produtos florestais (11,32%), complexo sucroalcooleiro (9,91%) e cereais, farinhas e preparações (6,84%). Destaca-se que os principais mercados compradores de produtos do agronegócio brasileiro, foram especialmente a China (33,73%), a União Europeia (16,17%), os Estados Unidos (6,91%), o Japão (2,49%) e a Coreia, República Sul (2,20%) (BRASIL, 2020).

A expansão do agronegócio tem sido marcante na sociedade brasileira, caracterizando-se por cadeias produtivas cada vez mais integradas e pelo uso intensivo de capital nos diversos segmentos que o compõem. Dessa forma, a agricultura, pensada como agronegócio, envolve os processos de produção agropecuária, logística e comercialização, além da agroindústria e dos serviços agroindustriais. Portanto, seus efeitos multiplicadores amplificam a representatividade setorial na economia brasileira (OLIVEIRA, 2011).

No que se refere à logística do agronegócio, nos seus diversos segmentos da cadeia produtiva, objetiva-se dar agilidade às operações e processos para efetuar as atividades no tempo adequado, com segurança, qualidade e com menor custo final, aos clientes nacionais e internacionais (DEUS, 2013; DESAFIOS LOGÍSTICA, 2020)

De acordo com Silveira (2011), a logística é representada pelas estratégias de planejamento e de gestão das estruturas e dos serviços que viabilizam os fluxos, “quando há o envolvimento dos transportes (“logística de fluxos”), das infraestruturas (“logística de fixo”) e do armazenamento (“logística de armazenagem”)”.

Destaca-se uma inter-relação entre os serviços de logística e as atividades comerciais na viabilização da movimentação de mercadorias. Na política de comercialização, ao emitir o pedido, inicia-se o processo de planejamento e de gestão operacional dos fluxos, uma vez que a logística de transportes promove a circulação de bens materiais no espaço geográfico (SANTOS; PEREIRA, 2019).

Caixeta-Filho (2001) afirma que um sistema de transportes competitivo é fundamental para o crescimento econômico e para aumentar a eficiência da movimentação de cargas agrícolas. Fazendo-se necessárias estratégias de integração para os modais de transportes.

Para Magalhães (2011), o sistema de transportes, é o principal componente de apoio à logística, pois além de produzir grandes benefícios para uma região, por meio da possibilidade de tornar disponíveis bens e serviços, busca também reduzir os custos das mercadorias, voltando-se diretamente para o bem-estar da população.

Nesse sentido, Caixeta-Filho (2001a), destaca que os transportes possuem funções econômicas de promover a integração entre a sociedade que produz e a sociedade que consome os bens e serviços produzidos. Por sua vez, a logística de transporte tem uma função social importante para romper monopólios, causados por isolamento geográfico na produção e comercialização de bens.

O sistema de transportes do Tocantins apresenta como modalidades, o rodoviário, aeroviário e o ferroviário, sendo o hidroviário considerado como um modal potencial ainda não implantado.

No que tange ao transporte de carga hidroviário, o Estado depende da implantação da hidrovía Tocantins-Araguaia, a qual será estratégica para a diminuição de custos de transporte no escoamento dos produtos agrícolas tocantinenses e das regiões Centro-Oeste e Norte do país.

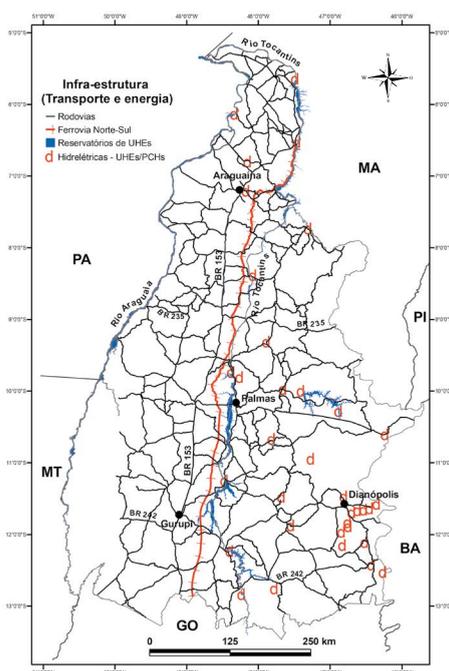
A hidrovía do Tocantins-Araguaia é uma das principais vias de transporte do corredor Centro-Norte brasileiro. Por estar localizada no Cerrado, a maior região produtora de grãos do País, tem potencial para se transformar numa das mais importantes vias de águas navegáveis do País. É uma via navegável até a hidrovía do Amazonas, desde Barra do Garças (MT), no rio Araguaia, ou Peixe (TO), no rio Tocantins, até o porto de Vila do Conde, próximo a Belém (PA), privilegiadamente localizado em relação aos mercados da América do Norte, da Europa e do Oriente Médio. Possui potencial navegável em aproximadamente 3.000 km. No rio das Mortes, entre Nova Xavantina (MT) e a sua foz no Araguaia, são 580 km. No rio Araguaia, de Aruanã (GO) até Xambioá (TO), são 1.230 km. No rio Tocantins, de Peixe (TO) a Estreito (MA), são 700 km, de Estreito à Marabá (PA), 321 km, e de Marabá (PA) até sua foz, 500 km. Pertencente ao corredor Centro-Norte, a hidrovía do Tocantins-Araguaia se divide em quatro tramos. O primeiro, de Peixe (TO) a Marabá (PA), com 1.021 km de extensão; o segundo, de Marabá (PA) à foz do Tocantins, com 494 km; o terceiro de Baliza (GO) a Conceição do Araguaia (PA), apresentando um imenso potencial para o escoamento da produção de grãos do Mato Grosso, Goiás, Pará e Tocantins; e o quarto trecho de Conceição do Araguaia à foz do Araguaia, no próprio rio Tocantins, onde apresenta limitações devido as grandes corredeiras do Araguaia. A hidrovía tem vias navegáveis, terminais hidroviários e estruturas de transposição de nível, como as duas eclusas de Tucuruí, com 210 metros de comprimento, 33 metros de largura e 3,5 metros de profundidade mínima (BRASIL, 2020a).

Com relação ao transporte rodoviário, a BR 153 corta de norte a sul o Tocantins, interligando a região centro-sul do país às regiões Norte e Nordeste. No sentido leste-oeste, a interligação do Tocantins com outros estados do país se dá pelas rodovias BR-235 e BR-242. A BR-235 faz ligação entre o sul do Pará e o norte do Mato Grosso, passando pelo centro do Estado, e o sistema rodoviário do Nordeste, através do Sul do Maranhão e Piauí. A BR-242 faz outra importante ligação entre a planície do Araguaia (região produtora de grãos irrigados), a região sudeste do Tocantins e os mercados da Bahia e Nordeste brasileiro (ALMEIDA, 2004).

O conjunto das rodovias sob jurisdição do Governo Estadual que compõe o Sistema Rodoviário Estadual dentro do território tocantinense, apresenta as suas rodovias classificadas em: a) Radiais, b) Longitudinais, c) Transversais, d) Diagonais e e) de Ligação, perfazendo uma interligação interna e externa importante para o desenvolvimento regional do Estado (TOCANTINS, 2020).

A extensão total da rede rodoviária do Tocantins em 2006 representava 14.008 km. Desse total, 1.940 km (13,8%) são de jurisdição federal e 12.068 km (86,2%) estadual, com 71% e 40% asfaltadas, respectivamente (TOCANTINS, 2006). Em 2015, o total de rodovias estaduais atingiu 13.000 km (TOCANTINS, 2020).

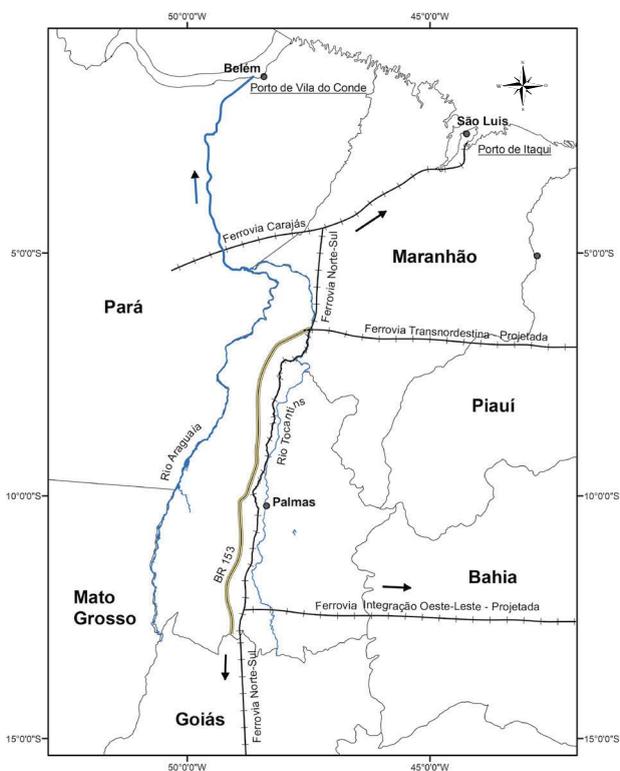
A Figura 11 ilustra a rede intermodal de transporte, existente e planejada, para o Estado.



Fonte: Collicchio (2008)

Figura 11 – Rede intermodal de transporte existente e planejada, em 2005 e o sistema energético implantado e projetado para o Estado (adaptado do SEPLAN, 2007)

Em relação às ferrovias que são fundamentais na consolidação do sistema de transporte intermodal, destaca-se a ferrovia Norte-Sul, com extensão de 497 km dentro do Estado (VALEC, 2017), que no sentido norte, interliga-se à ferrovia Carajás (892 km). A partir daí faz interligação com o Porto de Itaqui no Maranhão, ou com a hidrovia Tocantins (eclusa em Tucuruí-PA) até o Porto em Belém no Pará, favorecendo a comunicação com o mercado externo. Já no sentido sul, a ferrovia liga à Anápolis – GO, conectando aos mercados do centro-sul do País (Figura 12) (BESSA; LUI; OLIVEIRA, 2011; VALEC, 2017).



Fonte: Collicchio (2008)

Figura 12 - Corredor de Transporte Multimodal Centro-Norte e alternativas atuais e futuras de transporte para a movimentação de produtos agrícolas

Existem seis Pátios de Integração Multimodais da Ferrovia Norte-Sul localizados no Estado do Tocantins: a) Aguiarnópolis; b) Araguaína; c) Colinas do Tocantins; d) Guarái; e) Porto Nacional/Palmas (Figura 13) e f) Gurupi (VALEC, 2013, citado por SOUTO, 2013; TOCANTINS, 2019).

Obras importantes que deverão gerar reflexos positivos no Estado do Tocantins encontram-se em execução pelo governo federal e referem-se à

implantação de duas ferrovias se conectando à Ferrovia Norte-Sul que são: a) Conexão Transnordestina/Norte-Sul que ligará Estreito - MA a Eliseu Martins – PI, que levará ao porto de Sauipe - PE e b) Ferrovia de Integração Oeste-Leste – EF 334 - FIOL, com 1.527 km de extensão, interligará a Ferrovia Norte-Sul em Figueirópolis - TO à Ilhéus – BA (BRASIL, 2007; VALEC 2020).



Figura 13 - Vista parcial do Pátio de Integração Multimodal de Porto Nacional
Foto: Erich Collicchio (2018)

A implantação da Ferrovia da Integração Oeste-Leste, visa atender especialmente as regiões produtoras de minério de ferro e as produtoras de grãos, localizadas no sul e oeste da Bahia, respectivamente, bem como a região sudeste do Tocantins. Além disso, tem como objetivos favorecer a multimodalidade, interligando a malha ferroviária brasileira, bem como incentivar investimentos, para incrementar a produção e induzir a processos produtivos modernos (VALEC, 2013; VALEC, 2020).

Destaca-se que as interligações que serão implementadas entre a Ferrovia Norte-Sul com a Ferrovia de Integração Oeste-Leste – FIOL, e a Ferrovia Transnordestina, proporcionarão ao Tocantins maiores alternativas para o escoamento da sua produção agrícola, facilitando a sua distribuição para os mercados interno e internacional e com custos menores (SOUTO, 2013). Todas as regiões do Estado deverão ser beneficiadas com a logística planejada e em implantação, mas Souto (2013) ressalta que, a região central é a que apresenta maior potencial logístico de transporte de produtos agrícolas e agroindustriais, devido a sua proximidade de quatro tipos de modais, o rodoviário, ferroviário e hidroviário, inclusive o aeroportuário. Contudo, todas regiões necessitam de investimentos em manutenção, melhoria e ampliação da malha rodoviária para realizar as devidas conexões com os demais modais de forma eficiente e com menor custo.

Diversos projetos de melhoria da infraestrutura de transportes na Amazônia Legal estão em andamento, dentre eles o Corredor de Transporte Multimodal Centro-Norte, com destino final no Porto de Itaqui, sendo que o Tocantins está localizado numa posição estratégica para facilitar a interligação dos modais hidro-rodoviário (Figura 12). Este corredor é composto por dois eixos: a) rio Araguaia (até

Xambioá -TO) – sistema rodoviário (Xambioá -TO à Estreito - MA) – Ferrovia Norte-Sul – Ferrovia Carajás e b) rio Tocantins – Ferrovia Norte-Sul – Ferrovia Carajás (COSTA; CAIXETA-FILHO; ARIMA, 2001).

Caixeta-Filho (2001a) comenta que os modais não tradicionais como o ferroviário e o hidroviário, são mais eficientes para a movimentação de cargas e produtos agrícolas considerando longas distâncias, uma vez que o transporte rodoviário seria recomendado para distâncias menores do que 500 km, o ferroviário entre 500 e 1.200 km e o hidroviário, para distâncias superiores a 1200 km.

Sendo assim, a consolidação do sistema de transportes multimodal beneficiará de forma significativa o Tocantins, devido à diminuição dos custos de transporte na movimentação de insumos para as regiões de produção e de produtos acabados para as áreas de consumo. Além da melhoria das condições de escoamento da produção agrícola e barateamento do frete, esses empreendimentos poderão intensificar as atividades produtivas no Estado, além da incorporação de novas áreas destinadas à produção.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração é o potencial energético das bacias do Araguaia e Tocantins. Estima-se que este potencial no Estado seja de 10.245 MW, sendo que têm-se usinas hidrelétricas em operação gerando em conjunto 2.747 MW e outras usinas projetadas, as quais gerarão em torno de 6.435 MW.

O Tocantins é favorecido também pela Linha de Transmissão - LT Norte-Sul com fluxo de 1.200 MW que interliga o sistema de geração e distribuição de energia das regiões Norte e Sudeste do País (SEPLAN, 2015). Além disso, tem-se o LT Norte-Sul III ligando Marabá-PA a Serra da Mesa – GO. Visando a melhoria do bem-estar da população rural, aumento da produção, uso de irrigação e desenvolvimento da agroindústria tem sido implantado redes com linhas de transmissão de 13,8 kV e 34,5 kV por todo o território (BESSA; LUI; OLIVEIRA, 2011).

O Governo do Estado do Tocantins tem buscado prioritariamente viabilizar as suas grandes potencialidades econômicas, por intermédio da disponibilização de uma infraestrutura de transportes e de energia de boa qualidade, que torne viável o desenvolvimento de atividades econômicas em seu território, de forma racional e eficiente.

Nesse sentido, o Estado mantém gestões junto a organismos internos e externos com vistas à captação de recursos de longo prazo, destinados ao financiamento de projetos prioritários para o seu desenvolvimento.

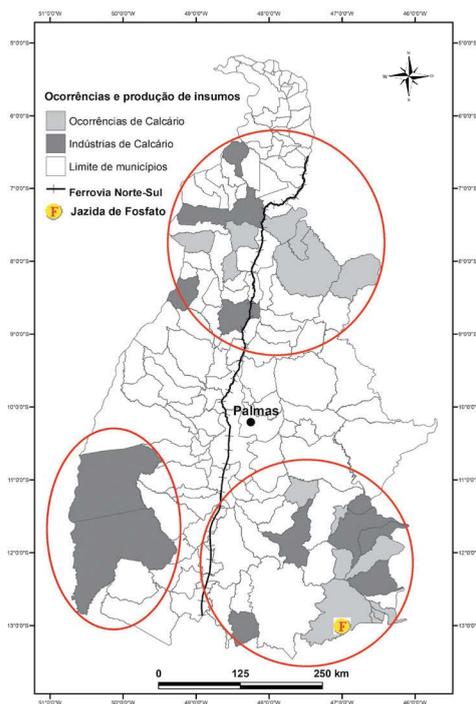
Dentre os incentivos disponíveis para a atração de investimentos e a dinamização da economia tem-se: o Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO), que financia projetos nas áreas de desenvolvimento industrial e agroindustrial, capacitação tecnológica, apoio ao turismo, desenvolvimento da agricultura e da pecuária e preservação do meio ambiente; o Fundo de Investimentos da Amazônia (FINAM), destinado a incentivar a agricultura, a exploração florestal, a criação de animais, a extração de minerais, a indústria de transformação, a instalação de

terminais de cargas e descargas para apoiar a integração de transportes ferroviário, rodoviário e hidroviário, etc.

No plano estadual destacam-se o Programa de Incentivo ao Desenvolvimento Econômico do Estado do Tocantins - Prosperar (destinado ao financiamento do imposto devido de empresas industriais, agroindustriais, comerciais atacadistas e turísticas de forma a permitir-lhes a sustentabilidade do crescimento); e o Programa de Industrialização Direcionada – Proindústria, destinado à interiorização da atividade industrial, o estímulo a utilização e à transformação de matéria-prima local, o uso sustentado dos recursos naturais.

5 - Produção e disponibilidade de insumos agrícolas

A ocorrência de grandes concentrações de rochas carbonáticas, as quais constituem a matéria prima para a produção do calcário utilizado na correção de solos para cultivos agrícolas, apresenta uma ampla distribuição no Estado e foram constatadas em 28 municípios. Desse total, em 12 municípios funcionam 17 unidades produtoras de calcário; a maior concentração delas está na região sudeste (11 unidades) e o restante nas regiões sudoeste, centro-oeste e noroeste do Estado, com duas unidades em cada (MARTINS, 2008), conforme pode ser visualizado na Figura 13.



Fonte: Collicchio (2008)

Figura 13 – Ocorrências e unidades produtoras de insumos agrícolas no Estado do Tocantins

A capacidade instalada para produção de calcário é de cerca de 2,5 milhões de t.ano⁻¹ e aproximadamente 70% da produção no Tocantins é destinada a outros mercados, especialmente para a Bahia (MARTINS, 2008).

A produção de insumos agrícolas no próprio Estado colabora para desonerar o custo de produção dos cultivos, devido ao valor do frete, caso sejam provenientes de outras localidades do país.

Nesse aspecto, Caixeta-Filho (2001b), ressalta que a proximidade entre as regiões produtoras agrícolas e as regiões produtoras de insumos é importante, uma vez que as grandes distâncias influenciam diretamente no aumento dos custos de produção e de transporte, repercutindo no aumento do preço para o consumidor final.

6 - Apoio técnico e científico local visando o desenvolvimento

No Tocantins existem organizações públicas e privadas que executam e/ou apoiam atividades de pesquisa agropecuária, ambiental e de desenvolvimento rural. De acordo com Collicchio (2006), no ano de 2005 a quantidade de pesquisadores/professores com atuação nessas áreas era de 174 profissionais, os quais pertenciam a um conjunto de quatro universidades e uma empresa de pesquisa, a Embrapa. Atualmente, estima-se que o número de pesquisadores/professores ultrapasse 300 profissionais.

Nesse arranjo institucional voltado à CT&I agropecuária estão presentes organizações de pesquisa (UNITINS Agro e Embrapa), de assistência técnica e extensão rural, como o RURALTINS, que é órgão oficial do Governo do Estado, escolas agrotécnicas públicas e privadas, e universidades que ofertam cursos de graduação, especialização, mestrado e de doutorado, em áreas específicas das Ciências Agrárias e do Meio Ambiente.

Tais instituições têm contribuído significativamente para o avanço com sustentabilidade do setor agropecuário regionalmente, através da formação de profissionais qualificados, execução de pesquisas, e validação de tecnologias e realização de cursos técnicos específicos voltados para capacitação da mão de obra e formação de gestores.

A maioria destas instituições possuem atuação em vários municípios do Estado, por estarem localizadas fisicamente por meio de suas sedes e/ou unidades descentralizadas, ou mesmo através de parcerias, mostrando a forte capilaridade deste conjunto de instituições. Porém torna-se necessária a organização das instituições para atuarem em um ambiente de rede, que vise a implementação de uma cooperação técnica e científica de forma coordenada na busca de investimentos públicos e privados, para amplificar as suas contribuições de modo mais efetivo no desenvolvimento do Tocantins.

Modelos de relacionamento interinstitucional com base na parceria (Rede), constituem-se numa oportunidade de integrar de maneira complementar as competências, compartilhar estruturas e laboratórios, otimizar o uso de recursos, atender com maior eficiência a sociedade e fortalecer as instituições envolvidas. Essa integração de esforços e de uso compartilhado de recursos é particularmente mais relevante para a atividade de pesquisa, que trata de problemas cada vez mais complexos (COLLICCHIO, 2006).

O predomínio de instituições que possuem atuação local, envolvidas numa parceira, implica em proximidade com as questões regionais, aderência à realidade, capilaridade, conhecimento do patrimônio genético local e articulação com outras organizações. Dessa forma, pode-se proporcionar uma maior competência para promover o desenvolvimento local e para gerar modelos tecnológicos próprios, que garantam a autonomia tecnológica do Estado (CONSEPA, 2002).

Nesse contexto, o Estado dispõe de uma agência de indução e fomento à pesquisa e a inovação científica e tecnológica, que é a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Tocantins (FAPT, 2020), que poderia também, auxiliar na organização, construção e coordenação deste ambiente de rede de cooperação interinstitucional. Sendo assim, a FAPT tem uma função extremamente estratégica, por ser um órgão que apresenta a finalidade de apoiar projetos de natureza CT&I, considerados relevantes para o desenvolvimento científico, tecnológico, econômico, social e ambiental do Tocantins.

7 - Considerações Finais

Existe disponibilidade potencial para uso da terra no Estado do Tocantins, com solos e relevo que apresentam aptidão agrícola, o que permite uma expansão significativa da agricultura, pecuária e da silvicultura. Porém, percebe-se que a vegetação nativa desde a criação do Estado, sofreu um decréscimo substancial, devido especialmente ao crescimento do setor agropecuário. Considerando esses fatos, tem-se a necessidade de formulação de políticas públicas dirigidas aos setores agrossilvipastoril e ambiental, que visam apoiar o desenvolvimento e uso de tecnologias de baixo carbono para a produção sustentável, bem como de monitoramento ambiental.

O aumento de investimentos e implementação da multimodalidade do transporte no Estado que vem ocorrendo nos últimos anos, favorecerá a viabilização das suas potencialidades econômicas, o incremento da produção regional e a indução de processos produtivos modernos, associado às maiores alternativas para o escoamento da produção agrícola, facilitando a sua distribuição para os mercados interno e internacional, a custos menores, refletindo no desenvolvimento do setor regionalmente.

Concomitantemente ocorreu o fortalecimento da infraestrutura de energia elétrica em todo o território tocantinense, o que tem promovido a melhoria do bem-estar da população rural, uso de irrigação, diversificação e aumento da produção e o desenvolvimento de atividades econômicas do agronegócio e das comunidades rurais tradicionais.

Nesse contexto, a disponibilização de uma infraestrutura de transportes e de energia de boa qualidade, vem viabilizando o desenvolvimento de atividades econômicas em seu território, e espera-se que continue sendo expandida de forma racional e eficiente.

O Estado do Tocantins deve dispor de um planejamento estratégico, tendo como instrumento norteador, o Zoneamento Ecológico e Econômico – ZEE/TO, que deverá estar associado às informações de restrições quanto ao uso do solo (restrições naturais e as áreas protegidas por lei), intensidade do uso da terra, zoneamento agroclimático das culturas agrícolas e florestais, infraestrutura de energia, transporte e logística agroindustrial, disponibilidade de recursos hídricos e de insumos agrícolas (calcário e fosfato natural), apoio institucional técnico-científico, e de recursos humanos especializados localmente, para a promoção do desenvolvimento e fortalecimento das atividades produtivas das comunidades tradicionais, dos produtores rurais e do setor agroindustrial de forma sustentável.

Referências

ALMEIDA, A. **Hidrovia Tocantins-Araguaia: importância e impactos econômicos, sociais e ambientais segundo a percepção dos agentes econômicos locais.** 2004. 155f. Tese (Doutorado em Ciências, área de concentração em Economia Aplicada). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP, Piracicaba, 2004.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada.** Brasília: ANA. 2017. 86 p. il.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Divisão hidrográfica nacional: região hidrográfica do Tocantins-Araguaia.** 2019. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/mapainicial/pgMapaC.asp>>. Acesso em: 26 out. 2019.

BELCHIOR, E. B.; ALCÂNTARA, P. H. R.; BARBOSA, C. F. **Perspectivas e desafios para a região do Matopiba.** 16. ed. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2017. 3 p. (Fronteira Agrícola - Informativo Técnico).

BESSA, N. G. F. de; LUI, J. J.; OLIVEIRA, S. de. Conservação da biodiversidade e usos múltiplos das águas da bacia hidrográfica do rio Tocantins: uma análise crítica. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v.5, n.2, p. 59 - 76, 2011.

BRASIL. **Programa de aceleração do crescimento, 2007 - 2010**: 2007.

Disponível em: <http://www.agenciabrasil.gov.br/media/arquivos/2007/01/22/pac_internet.pdf/>. Acesso em: 18 jul. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio**: Brasil 2018/19 a 2028/29 projeções de longo prazo. Brasília : MAPA/ ACE, 2019. 126 p.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROSTAT - Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro**: indicadores gerais. Brasília: MAPA. 2020. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso em: 12 jan. 2021.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Hidrovia do Tocantins – Araguaia**. Publicado em: 13 out. 2020a. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/aquaviario/hidrovia-do-tocantins-araguaia>>. Acesso em: 14 jan. 2021.

CAIXETA-FILHO, J. V. **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**: particularidades das modalidades de transporte. São Paulo: Atlas. 2001.

CAIXETA-FILHO, J. V. A competitividade do transporte no agrusiness brasileiro. In: CAIXETA-FILHO, J. V.; GAMEIRO, A. H. (Org.). **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001a. cap. 1, p.11-20.

CAIXETA-FILHO, J. V. Especificidade das modalidades de transporte para a movimentação de produtos agrícolas. In: CAIXETA-FILHO, J. V.; GAMEIRO, A. H. (Org.). **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001b. cap. 3, p.11-20.

CNA, Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **Panorama do agro**. Brasília: CNA. jun. 2020. Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br/cna/panorama-do-agro#_ftn1>. Acesso em: 10 jan. 2021.

COLLICCHIO, E. A rede estadual de ciência e tecnologia agropecuária e desenvolvimento rural, como mecanismo promotor de parcerias. In: __. **Organização Estadual de Pesquisa Agropecuária**: um instrumento de apoio ao desenvolvimento rural sustentável do Tocantins. Palmas: UNITINS, cap. 5, p. 169 - 189. 2006.

COLLICCHIO, E. **Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no estado do Tocantins**. 2008. 156 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CONSEPA. **Organizações Estaduais de Pesquisa Agropecuária**: uma proposta de atuação em rede. Brasília: CONSEPA, 2002. 5p.

COSTA, F. G.; CAIXETA-FILHO, J. V.; ARIMA, E. Influência do transporte no uso da terra: o caso da logística de movimentação de grãos e insumos na Amazônia Legal. In: CAIXETA-FILHO, J. V.; GAMEIRO, A. H. (Org.). **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, cap. 2, p.21-39. 2001.

DESAFIOS DA LOGÍSTICA. **Logística para a produção do agronegócio e qual a sua importância**. Publicado em 04 mar. 2020. Disponível em: <<https://www.desafiosdalogistica.com.br/logistica-para-a-producao-do-agronegocio/>>. Acesso em: 13 jan. 2021.

DEUS, M. A. V. **Planejamento e logística no agronegócio**. 2013. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (MBA em Gestão do Agronegócio). Departamento de Economia Rural e Extensão. Universidade Federal do Paraná – UFPR. 2013.

EMBRAPA. **Visão 2014-2034: o futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira (síntese)**. Brasília: Embrapa. 2014. 53p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/1024963/1658076/O+Futuro+de+Desenvolvimento+Tecnol%C3%B3gico+da+Agricultura+Brasileira+-+s%C3%ADntese.pdf/db0a147-234d-47f1-8965-1959ef82311d>>. Acesso em: 20 jul. 2019.

FAPT, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Tocantins. **Institucional. 2020**. Disponível em: <<https://fapt.to.gov.br/institucional/>>. Acesso em: 20 jan. 2021.

FGV EESP, GV Agro. **Amazônia Legal: propostas para uma exploração agrícola sustentável**. São Paulo: FGV EESP. 2016. 230 p. (Relatório completo). Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/17672/Amaz%C3%B4nia_Legal_Propostas_para_uma_Explora%C3%A7%C3%A3o_Agr%C3%ADcola_Sustent%C3%A1vel_Relat%C3%B3rio_Completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 jul. 2020.

GARAGORRY, F. L.; MIRANDA, E. E.; MAGALHÃES, L. A. **MATOPIBA: quadro agrícola**. Campinas: Embrapa - GITE, 2014. 87 p. (Nota Técnica n. 7).

IBGE. **Amazônia Legal**. 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=oque-e>>. Acesso em: 15 jul. 2020.

MAGALHÃES, J. A. D. **Políticas de transportes na Amazônia brasileira: uma análise dos pontos de vista da logística e do desenvolvimento regional sustentável**. 2011. 179 f. Dissertação (Mestre em Logística e Pesquisa Operacional). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

MAGALHÃES, L. A.; MIRANDA, E. E. **MATOPIBA: quadro natural**. Campinas: Embrapa - GITE, 2014. 41 p. (Nota Técnica n. 5).

MIRANDA, E. E.; MAGALHÃES, L. A.; CARVALHO, C. A. **Proposta de delimitação territorial do MATOPIBA**. Campinas: Embrapa, 2014a. 18 p. (Nota Técnica n. 1).

MIRANDA, E. E.; MAGALHÃES, L. A.; CARVALHO, C. A. **Um sistema de inteligência territorial estratégica para o MATOPIBA**. Campinas: Embrapa - GITE, 2014b. 26 p. (Nota Técnica n. 2).

MIRANDA, E. E. **Caracterização territorial estratégica do MATOPIBA**. Campinas: Embrapa, 2015. Disponível em: https://www.embrapa.br/gite/projetos/matopiba/150211_MATOPIBA_v3.0_website.pdf.

MAPBIOMAS. **O projeto**. 2019. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/o-que-e-o-mapbiomas>>. Acesso em: 10 out. 2019.

MAPBIOMAS. **Mapa de uso e cobertura do solo brasileiro**. Collection of Brazilian land cover & use map series. 2019a. Disponível em: <http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas_collection>. Acesso em: 21 out. 2019.

MARTINS, R. **Informações calcário Tocantins** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <ecollicchio@gmail.com> Acesso em: 01 set. 2008.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Brazil's submission of a Forest Reference Emission Level (FREL) for reducing emissions from deforestation in the Amazonia biome for REDD+ results-based payments under the UNFCCC from 2016 to 2020**. Brasília: MMA/GTT REDD+. 2018. 90p

O ECO. O que é a Amazônia Legal. Dicionário Ambiental. **((o))eco**, Rio de Janeiro, nov. 2014. Disponível em: <<https://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28783-o-que-e-a-amazonia-legal/>>. Acesso em: 11 ago. 2020.

OLIVEIRA, A. L. R. de. A logística agroindustrial frente aos mercados diferenciados: principais implicações para a cadeia da soja. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 41, n. 6, p. 17-34, jun. 2011.

PEREIRA, C. N.; CASTRO, C. N.; PORCIONATO, G. L. **Dinâmica econômica, infraestrutura e logística no MATOPIBA**. Brasília: Ipea, 2018. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=33156>. Acesso em: 19 abr. 2020.

PITTA, F. T.; VEGA, G. C. **Impactos da expansão do agronegócio no MATOPIBA: comunidades e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Mórula, 2017. 82 p.

RANIERI, S. B. L.; BARRETTO, A. G. O. P.; KLUG, I. L. F. Potencial de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar para o estado do Maranhão. In: Pólo Nacional de Biocombustíveis. **Estudo comparativo do potencial de produção de etanol no Maranhão: vantagens competitivas e comparativas**. Piracicaba: ESALQ, 2007. cap.1, p. 1-69.

ROLDÃO, A. de F.; FERREIRA, V. de O. Climatologia do Estado do Tocantins – Brasil. **Caderno de Geografia**, v.29, n.59, p. 1161 – 1181. 2019.

ROMEIRO, M. et al. **Cerrado: caminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável - expansão da soja**. INPUT. 2018. Disponível em: <<https://www.inputbrasil.org/publicacoes/cerrado-caminhos-para-ocupacao-territorial-uso-do-solo-e-producao-sustentavel-expansao-soja/>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.

SANTOS, J. D. S.; PEREIRA, L. A. G. Logística de transportes do agronegócio e exportações de soja no Centro-Oeste brasileiro. **Geoambiente on-line**, Jataí, n. 34, p. 131 – 154, maio/ago. 2019.

SEAGRO. Secretaria da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento do Tocantins. **Agricultura**. Disponível em: <<http://seagro.to.gov.br/agronegocios/agricultura/>>. Acesso em: 10 fev. 2014.

SEPLAN. Secretaria Planejamento e Meio Ambiente do Tocantins. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). **Base de dados geográficos do Tocantins**. Palmas, 2007. CD-ROM (atualização de arquivos em escala 1:1000.000 do atlas digital do Tocantins – base de dados geográficos).

SEPLAN. Secretaria Planejamento e da Modernização da Gestão Pública do Estado do Tocantins. **Mapeamento das regiões fitoecológicas e inventário florestal do estado do Tocantins**. Palmas, 2011. Disponível em: <<http://seplan.to.gov.br/zoneamento-publicacoestecnicas/tocantins/mapeamento-das-regioesfitoecologicas-einventarioflorestaldoestadodoTocantins>>. Acesso em: 11 mar. 2019.

SEPLAN. Secretaria Planejamento e da Modernização da Gestão Pública do Tocantins. **Base de dados geográficos do Tocantins**. Palmas, 2012. (atualização de arquivos em escala 1:1000.000 do Atlas digital do Tocantins – base de dados geográficos).

SEPLAN. Secretaria Planejamento e Meio Ambiente do Tocantins. **Zoneamento Ecológico-Econômico: base de dados geográficos - mosaico Landsat 5, ano 2012, Estado do Tocantins**. Palmas: Seplan. 2015. DVD-ROM.

SILVA, R. A. **Impacto das mudanças climáticas sobre a produtividade e pegada hídrica da soja cultivada na região do MATOPIBA**. 2018. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

SILVEIRA, M. R. Geografia da circulação, transportes e logística: construção epistemológica e perspectivas. In: SILVEIRA, M. R. (Org.). **Circulação, transportes e logística: diferentes perspectivas**. São Paulo: Outras Expressões, 2011.

SOUTO, S. B. G. **Caracterização e análise da logística de transporte do etanol nas regiões potenciais ao desenvolvimento do setor sucroalcooleiro no Estado do Tocantins**. 2013. 127 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas. 2013.

TOCANTINS. Secretaria da Infraestrutura, Cidades e Habitação. **Rodoviário**. 2006. Disponível em: <<https://www.seinf.to.gov.br/menu-lateral/apresentacao/rodoviario/>>. Acesso em: 05 fev. 2019.

TOCANTINS, Naturatins. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e queimadas do Estado do Tocantins**. Brasília: Naturatins. 2009. 107 p.

TOCANTINS, Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Plano estadual de recursos hídricos do Tocantins**. Palmas: SEMADES. 2011. 75p.

TOCANTINS. **Portal Tocantins: logística**. 2019. Disponível em: <<https://portal.to.gov.br/invista-no-tocantins/logistica/>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

TOCANTINS, Secretaria da Infraestrutura, Cidades e Habitação. **Sistema rodoviário estadual**. Palmas, 2020. Disponível em: <<https://www.seinf.to.gov.br/menu-lateral/rodovias/sistema-rodoviario-estadual/>>. Acesso em: 07 nov. 2020.

USGS. Seamless Data Distribution. **Shuttle Radar Topographic Mission – SRTM**. Disponível em: <<http://seamless.usgs.gov/>>. Acesso em: 15 out. 2008.

VALEC - Engenharia, Construções e Ferrovias S.A. **O que a Norte-Sul significa para a logística de transporte no Brasil?** 2013. Disponível em: <<http://www.valec.gov.br/acessoainformacao/?p=797>>. Acesso em: 06 nov. 2019.

VALEC - Engenharia, Construções e Ferrovias S.A. **Relatório anual de administração 2017 da VALEC**. Brasília: VALEC. 2017. 21p. Disponível em: <http://www.valec.gov.br/documentos/demonstracao_financeira_2017/Relat%C3%B3rio%20da%20Administra%C3%A7%C3%A3o%20-%202017.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2020.

VALEC - Engenharia, Construções e Ferrovias S.A. **A Ferrovia de Integração Oeste-Leste**. Disponível em: <<http://www.valec.gov.br/ferrovias/ferrovia-de-integracao-oeste-leste/a-ferrovia-de-integracao-oeste-leste>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

Expansão da Agricultura no Estado Tocantins

Daniel de Brito Fragoso¹ e Expedito Alves Cardoso²

¹Engenheiro Agrônomo, Doutor em Entomologia, Pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura;

²Engenheiro Agrônomo, Doutor em Fitotecnia, Professor da Universidade Estadual do Tocantins - Unitins.

Introdução

As estimativas de crescimento populacional apontam para um contingente de cerca de dez bilhões de pessoas para o ano de 2050. Para alimentar estas pessoas, o Brasil é considerado um dos protagonistas importantes na produção de alimentos, com perspectiva que a sua produção agropecuária cresça cerca de 40% nesse período.

Os principais caminhos para o Brasil garantir o aumento da produção esperada, consistem na exploração de novas fronteiras agrícolas, investimentos em ciência e tecnologias, expansão da área de produção, aumento da produtividade, intensificação dos atuais sistemas de produção e a agregação de valor à produção.

Todos esses caminhos devem ser percorridos considerando aspectos ambientais, sociais e econômicos, que são os fundamentos da chamada sustentabilidade.

Com relação à exploração de novas fronteiras agrícolas, temos a região compreendida pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, reconhecida nacionalmente como MATOPIBA. Na proposta de delimitação geográfica, 31 microrregiões compõem a sua área de abrangência, com aproximadamente 70 milhões de hectares de áreas aptas para produção agrícola, sendo que a maioria apresenta classe de produtividade classificada como média e alta (Figura 1).

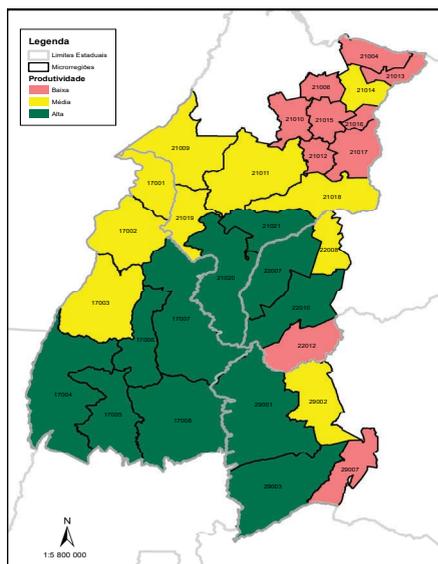


Figura 1 - Distribuição das microrregiões do MATOPIBA e as respectivas classes de produtividade de grãos (2011). Fonte: Bases de dados do IBGE com correções feitas por Garagorry L.F. Embrapa SGI (2015)

No Tocantins, as oito microrregiões totalizam uma área de 27.772.052,08 ha, abrangendo todos os seus 139 municípios (Tabela 1).

A microrregião de Porto Nacional, atualmente destaca-se na produção de grãos, sendo o município de Porto Nacional, o maior produtor de grãos do estado do Tocantins.

Tabela 1 - Microrregiões geográficas do estado do Tocantins que compõem o MATOPIBA

Microrregião	Área da microrregião (ha)	Municípios
Bico do Papagaio	1.576.795,88	25
Araguaína	2.643.960,41	17
Miracema do Tocantins	3.477.610,79	24
Rio Formoso	5.140.571,73	13
Gurupi	2.744.542,70	14
Porto Nacional	2.119.810,57	11
Jalapão	5.350.660,51	15
Dianópolis	4.718.099,49	20
Total	27.772.052,08	139

O Decreto 8.447, de 6 de maio de 2015, que cria a região do MATOPIBA, define algumas diretrizes específicas para o desenvolvimento tecnológico e inovação para este território como:

- Desenvolvimento e aumento da eficiência da infraestrutura logística relativa às atividades agrícolas e pecuárias;
- Apoio à inovação e ao desenvolvimento tecnológico voltados às atividades agrícolas e pecuárias;
- Ampliação e fortalecimento da classe média no setor rural, por meio da implementação de instrumentos de mobilidade social que promovam a melhoria da renda, do emprego e da qualificação profissional de produtores rurais.

Dos estados que integram a região do MATOPIBA, o Tocantins se destaca por possuir áreas de pastagem degradada (Figura 2), que podem ser recuperadas com a implantação de sistemas de produção integrados, sem a necessidade de novos desmatamentos.



Figura 2 - Área de pastagem degradada do Vale do Araguaia, na microrregião de Gurupi-TO (Foto: Daniel Fragoso)

O uso e a conservação ambiental das regiões agrícolas do Estado do Tocantins vêm sofrendo forte influência dos projetos de desenvolvimento regional, em especial os hidroagrícolas (Figura 3), onde os produtores não assumiram ainda uma visão sistêmica requerida pelos novos sistemas de produção. Tampouco levam em consideração ou empregam as recomendações tecnológicas de manejo e uso sustentável disponíveis, em que o enfoque principal é aliar desenvolvimento socioeconômico regional com a manutenção da qualidade ambiental.



Figura 3 - Área de produção de arroz irrigado, projeto Rio Formoso, em Formoso do Araguaia - TO
(Foto: Daniel Fragoso)

Ao analisar os atuais sistemas produtivos no Estado do Tocantins, percebe-se que a maioria deles é linear, ou seja, obedece a seguinte sequência: extração, produção, consumo e descarte/abandono, o que do ponto de vista ambiental (recursos naturais finitos) é insustentável, gerando inúmeros problemas sociais e econômicos.

No contexto de problema de pesquisa para a busca de soluções, os impactos ambientais sobre os ecossistemas devem ser entendidos como o resultado de um conjunto de ações e processos que causam efeitos adversos sobre o ambiente que, não respeitando a sua capacidade de suporte e/ou aptidão, bem como o uso de boas práticas agrícolas, comprometem os recursos naturais e, conseqüentemente, a qualidade de vida da população e da sociedade em geral.

A atividade agrícola quando pautada apenas nas questões econômicas e de alta produção, pode contribuir significativamente para degradação dos recursos naturais, redução da qualidade ambiental e agravamento de problemas sociais, principalmente nas regiões de fronteira agrícola, como é o caso do Tocantins e da região do MATOPIBA.

Entre, os principais impactos ambientais negativos decorrentes das atividades da agricultura em agroecossistema, podemos citar:

- a) redução de ecossistemas naturais (Figura 4), devido à abertura de novas áreas;

- b) redução da capacidade produtiva do solo, em decorrência do uso intensivo e do não emprego das práticas conservacionistas do uso dos solos;
- c) impacto nas mudanças climáticas globais através da emissão dos gases metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso e amônia (N_2O e NH_3), potentes gases causadores do efeito estufa;
- d) redução da quantidade e qualidade da água em virtude de processos como assoreamento, eutrofização e contaminação pelo uso de agrotóxicos, fertilizantes e outros insumos agrícolas;
- e) monocultivo extensivo que contribui para a maior pressão de problemas fitossanitários e maior uso de defensivos agrícolas.

Portanto, o grande desafio para sustentabilidade agrícola nas microrregiões produtoras de grãos do Estado do Tocantins é a produção e consumo de bens e serviços de modo a não comprometer as necessidades e escolhas das futuras gerações.



Figura 4 - Área de produção de feijão comum, em Porto Nacional-TO (Foto: Daniel Fragoso)

Por outro lado, com as tecnologias oriundas da pesquisa agropecuária hoje disponível e trabalhos futuros embasados nas demandas, é tecnicamente possível produzir nos agroecossistemas tocantinenses em condições favoráveis à manutenção sustentável desses ambientes, mantendo ou melhorando a produção agropecuária (sistemas integrados), com vantagens econômicas para os produtores rurais inseridos em cadeias produtivas, e com o mínimo de prejuízo ao meio ambiente, beneficiando assim, toda a comunidade.

Portanto, é neste cenário que se encontra o Estado do Tocantins, com destaque na produção e potencialidades de expansão das atividades agropecuárias.

Desde a sua criação no ano de 1988, e mais notadamente nas últimas décadas, o agronegócio tem se expandido com índices expressivos, em uma extraordinária trajetória de crescimento, tema e fio condutor, o qual se propõe discorrer neste capítulo.

2. Desafios para Expansão da Agricultura no Estado do Tocantins

A expansão da agricultura no Estado do Tocantins, e conseqüente aumento da produção agrícola é um fato que se constata desde a sua criação em 1988 e, mas notadamente nas últimas décadas. Nas regiões agrícolas ou polos de produção tocantinenses, a agricultura tem se expandido a cada ano.

Neste cenário vislumbra-se um crescimento marcante para as próximas décadas, que requererá o enfrentamento de grandes desafios, a saber:

- a) investimentos em infraestrutura para o escoamento e logística da produção;
- b) investimentos na fronteira do conhecimento, a chamada *ciência de ponta*;
- c) aprimoramentos ou ajustes dos sistemas tradicionais de produção.

É importante ressaltar, que devido às particularidades ambientais do Tocantins, onde estão presentes áreas de transições (ecótonos) entre os principais biomas brasileiros como Cerrado-Pantanal, Cerrado-Amazônia e Cerrado-Caatinga, se evidencia carência ainda muito grande de conhecimento, considerando que a região apresenta desafios que requerem pesquisas em diferentes áreas do conhecimento como taxonomia, ecologia, genética, biotecnologia, nanotecnologia entre outras. Além disso, exigem pesquisas que possam dar suporte à definição de novas cadeias produtivas ou sistemas de produção como aquicultura, suinocultura, ovino-caprinocultura, fruticultura, silvicultura, dentre outros, e/ou a adaptação e o aprimoramento de sistemas já desenvolvidos como a pecuária de corte e leite, produção de grãos entre outros.

Portanto, a expansão da produção agrícola no Tocantins vai muito além do aumento de área plantada e/ou ganhos de produtividade, fatores estes que vem ocorrendo atualmente. O desafio da intensificação da produção, ainda tem muito que avançar no Estado. Nesse sentido, tem-se por exemplo, a irrigação, onde no Tocantins já existem alguns projetos implantados com possibilidade de expansão. Além disso, tem-se outras formas de intensificação, que ainda são incipientes no Estado, como a utilização de sistemas de produção integrados (agricultura com pecuária, agricultura com pecuária e florestas, agricultura com aquicultura e outros), bem como a utilização de espécies mais eficientes na extração e uso da água (algodão, feijão caupi, amendoim, sorgo e outras), que possibilitam ampliar

o período de produção, com isso podem aumentar significativamente a produção agrícola tocaninense.

Na bacia dos Rios Tocantins-Araguaia há expectativa de grande aumento de área irrigada, principalmente por inundação e subirrigação, destacando-se o projeto Luiz Alves, no rio Araguaia, e projeto Javaés, no rio Javaés e seus tributários, incluindo-se os projetos Rio Formoso e da Lagoa da Confusão (BRASIL, 2006), bem como o Programa de Desenvolvimento da Região Sudoeste do Estado do Tocantins (Prodoeste), em fase de implantação e que tem como meta ampliar de 100 mil para 300 mil hectares de terras baixas, por meio de obras de infraestrutura (reservatórios e mini barragens nos leitos dos rios), que visam proporcionar a oferta hídrica regular para usos múltiplos (TOCANTINS, 2013).

Mesmo assim, esses caminhos, que tratam exclusivamente da expansão da produção agropecuária tocaninense, não farão sentido ao desenvolvimento do Estado e do setor agropecuário, caso o Tocantins não amplie sua cadeia de valor agropecuária. A ampliação da cadeia de valor diz respeito aos processos produtivos antes e depois da porteira. A implementação de novas indústrias ligadas ao setor produtivo é um exemplo de ampliação da cadeia de valor agropecuária depois da porteira.

Considerando que o consumo de alimentos no futuro exigirá o desenvolvimento de embalagens e de novos métodos de conservação para valorização dos produtos. Além de ampliar e agregar à cadeia de valor, também é necessário uma visão da logística como um fator de valorização por meio do processamento da produção, da certificação e da rastreabilidade, entre outras possibilidades.

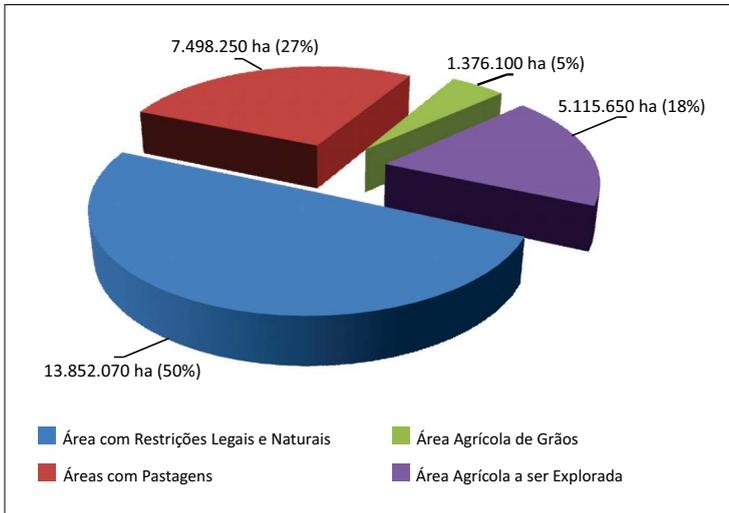
No Estado do Tocantins, essa agregação de valor deve considerar também, além da produção industrial propriamente dita, a necessidade de gestão entre os produtores no sentido de se organizarem de forma coletiva para verticalizarem suas produções agropecuárias. Isso pode ser viabilizado, por meio de associações, cooperativas, etc., ou pela comercialização de seus produtos de forma agregada junto às grandes empresas privadas de processamento.

Neste contexto, devem ser buscadas ações orientadas para diversificação da produção o que certamente pode evoluir para um conjunto de produtos processados, explorados de forma coletiva no meio rural, envolvendo estabelecimentos da pequena e média produção, com possível evolução para consolidação de marca ou denominação de origem.

É nesse cenário de cadeia produtiva de valor que uma rede de inovação para o agronegócio do Tocantins deve ser concebida. Porém, além do aumento da produção de grãos e ampliação/agregação à cadeia de valor, não se pode perder de vista que grande parte dos produtores rurais tocaninenses, vivem ainda em condições precárias, tanto em termos de renda e estrutura fundiária, quanto de acesso aos mercados, e que, se deixado por conta da dinâmica do mercado, essa situação tende a se agravar.

3. Potencial para a Expansão da Agricultura no Estado do Tocantins

A extensão territorial do Estado do Tocantins é cerca de 27,8 milhões de hectares (ha) dos quais aproximadamente 50%, ou seja, 13.852.070 ha tem potencial para produção agropecuária, incluindo as áreas que apresentam restrições naturais e as que são legalmente protegidas (TOCANTINS, 2016), conforme pode ser visualizado na Figura 5.



Fonte: Adaptado de dados da Tocantins (2016)

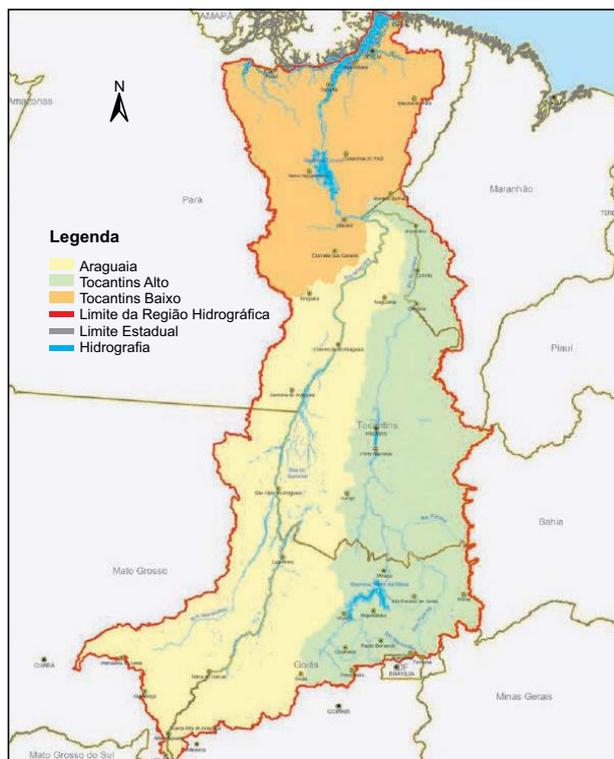
Figura 5 - Áreas (ha) com potencial para atividades agrícolas no Estado do Tocantins

O Estado do Tocantins, integrante da região do MATOPIBA, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2020) é o maior produtor de grãos da região norte do país com uma produção de aproximadamente 5,6 milhões de toneladas e com uma área plantada de grãos de 1,5 milhões de ha, na safra 2019/2020.

Vale ressaltar que a área plantada atualmente no Tocantins ocupa um pouco mais de dez por cento do potencial total de área a ser cultivado.

O Estado do Tocantins possui dois sistemas hidrográficos, o Rio Tocantins e o Araguaia (Figura 6).

A bacia do rio Tocantins apresenta aptidão para o plantio de culturas no ecossistema de terras altas. Já a bacia do rio Araguaia e seus afluentes (Javaés, Formoso, Xavante, Pium e Urubu), por sua condição de relevo e precipitação, apresenta áreas de terras baixas (várzeas) com extensão superior a 1.000.000 de hectares, com aptidão agrícola para a produção de grãos e frutas, irrigados por inundação e/ou subirrigação (TOCANTINS, 2012).



Fonte: Adaptado da Bases do PNH (2005)

Figura 6 - Caracterização da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia

Essa região encontra-se inserida na área de influência do corredor Centro-Norte, cujo contorno geográfico delimita parte dos estados do Maranhão, Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Piauí e Pará, onde estão localizados os polos de produção de grãos, madeira e minérios, que juntamente com os derivados de petróleo, representam as principais cargas movimentadas na região. Este corredor canaliza os fluxos das cargas destinadas tanto à exportação, via Porto de Itaqui e Ponta da Madeira no Maranhão, quanto ao abastecimento dos mercados internos (TOCANTINS, 2012).

Trata-se, portanto de uma região que está estrategicamente localizada em relação aos mananciais hídricos e a mercados consumidores, e já se encontram sistematizados e em plena produção cerca de 100 mil hectares (AIDAR; KLUTHCOUSKI, 2008; CONAB, 2018).

Pelo que representam em extensão, fertilidade, topografia, disponibilidade de água e potencial produtivo, o ambiente de terras baixas oferece perspectivas promissoras à produção durante o ano todo, com possibilidades de mais de duas safras por ano, portanto, com alto potencial produtivo.

As principais espécies cultivadas nessas terras, tem sido o arroz irrigado por inunda o na esta o chuvosa (outubro a março) e soja, melancia e feijão caupi na entressafra (abril a setembro), por subirriga o através da eleva o do lençol freático (FRAGOSO *et al.*, 2013).

A irriga o proporciona o aumento da produtividade das culturas em até 4 vezes quando comparado aos cultivos de sequeiro (sem irriga o), em fun o de maior eficiência no uso de fertilizantes e outros insumos, aumento do número de safras anuais, redu o dos riscos climáticos (secas), aumento da lucratividade geral da agricultura, e melhoria das condi es socioeconômicas das comunidades rurais (BRASIL, 2006).

A região leste do Estado também apresenta grandes áreas com aptidão agrícola e potencial para expansão de plantios. A região caracteriza-se pela existência de atividades agropecuárias, onde a pecuária bovina de corte extensiva e a agricultura de subsistência convivem com uma agricultura moderna, baseada no cultivo de grãos (soja, milho e feijão) e, mais recentemente da implanta o de polos voltados para a produ o de frutas.

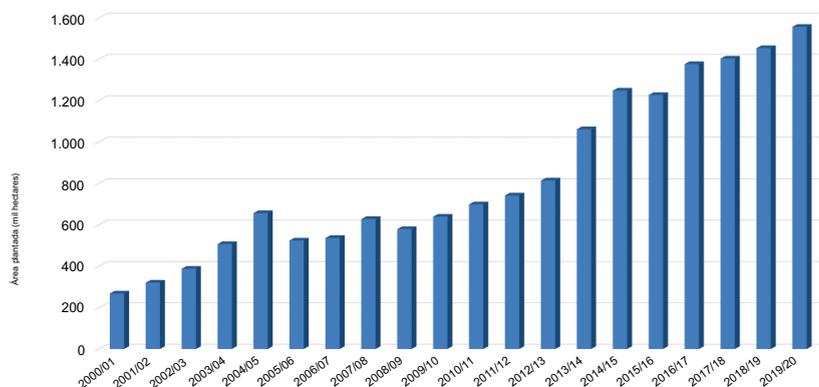
O cultivo de gr os se encontra localizado nos polos de Porto Nacional, Pedro Afonso, Dianópolis e Campos Lindos (Figura 7).



Figura 7 - Plantio de soja integrado com eucalipto, na região de Campos Lindos -TO (Foto: Daniel Fragoso)

5. Expansão da Agricultura no Tocantins

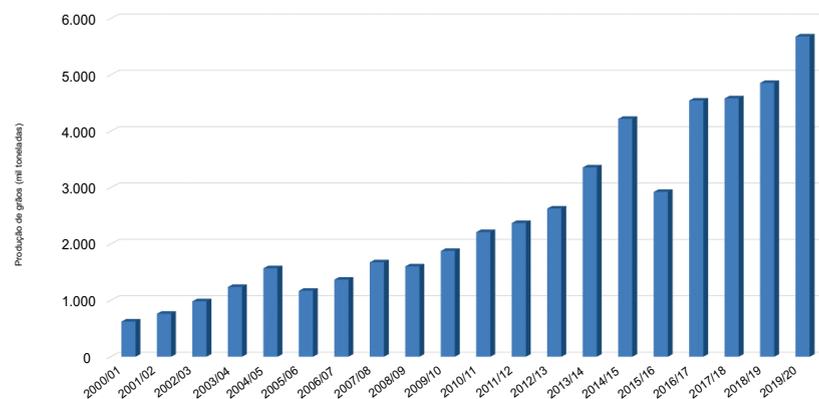
A  rea plantada para a produ o de gr os no Tocantins encontra-se em crescimento linear, sendo que nos últimos 20 anos (safra 2000/01 - 2019/20), a área plantada saiu de menos de 300 mil hectares para 1,5 milhões de hectares, refletindo num crescimento de mais de 400% no período (Figura 8).



Fonte: Conab (2020)

Figura 8. Evolução histórica da área plantada (mil hectares) de grãos no Estado do Tocantins (2001-2020)

De acordo com a Conab (2020), a produção de grãos na safra 2019/20 do Estado, foi de 5,6 milhões de toneladas (Figura 9).



Fonte: Conab (2020)

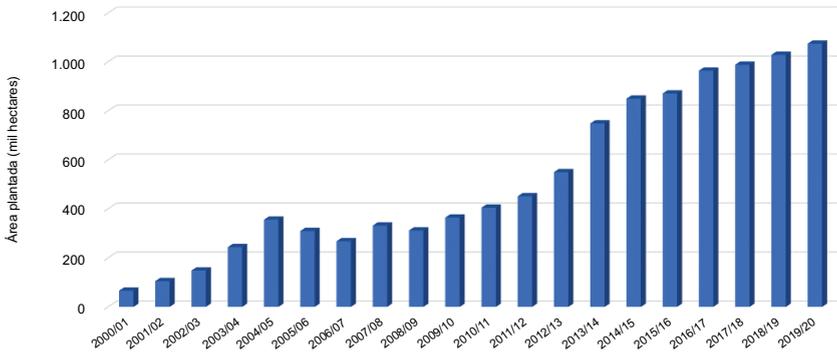
Figura 9. Evolução histórica da produção de grãos (mil toneladas) no Estado do Tocantins (2001-2020)

Cabe evidenciar que o aumento da produtividade média ocorrido neste período, contribuiu no incremento da produção de grãos do Estado. Contudo, nesse período, apenas na safra 2015/16 verificou-se uma queda na produtividade, a qual foi causada por distribuição irregular de precipitação pluviométrica, principalmente na época de plantio, de floração e de enchimento de grãos, que afetou a produção de grãos em toda a regiões produtoras de grãos do Estado do Tocantins, bem como, as demais regiões dos estados do Maranhão, Piauí e Bahia.

O Estado do Tocantins possui uma grande representatividade no que refere-se à área plantada, produtividade e produção de grãos em relação à região Norte. Na safra 2019/20, a área plantada de grãos do Estado correspondeu a cerca de

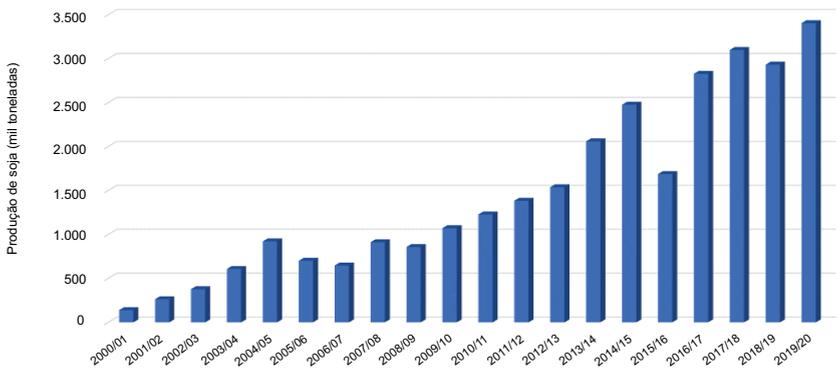
50% da área plantada de grãos da região Norte. Nesta safra, o Tocantins produziu ainda aproximadamente a metade dos grãos produzidos pela região Norte, e que a produtividade média de grãos estadual ($3.507 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), superou em cerca de 4% a média da região, que foi de $3.375 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (CONAB, 2020).

As principais culturas plantadas no Estado nesse período foram: a soja, milho, arroz e o feijão, com destaque para o crescimento das áreas plantadas de soja e milho safrinha, nas últimas safras. A cultura da soja ocupa atualmente o primeiro lugar em área plantada e produção. Na safra 2019/20, a área cultivada de soja superou a um milhão de hectares e a produção atingiu 3.414.000 toneladas (Figuras 10 e 11), com uma produtividade média de $3.167 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (CONAB, 2020).



Fonte: Conab (2020)

Figura 10. Evolução da área plantada de soja no Estado do Tocantins (2001-2020)



Fonte: Conab (2020)

Figura 11. Evolução histórica da produção de soja no Estado do Tocantins (2001-2020)

No Estado do Tocantins, com a crescente produção de grãos, em especial de milho e soja, as cadeias agroindustriais como de aves e suínos têm-se caracterizado por crescente dinamismo, em razão da oferta de matéria prima (farelos), da inserção no mercado internacional, dos ganhos tecnológicos e das sensíveis alterações nas

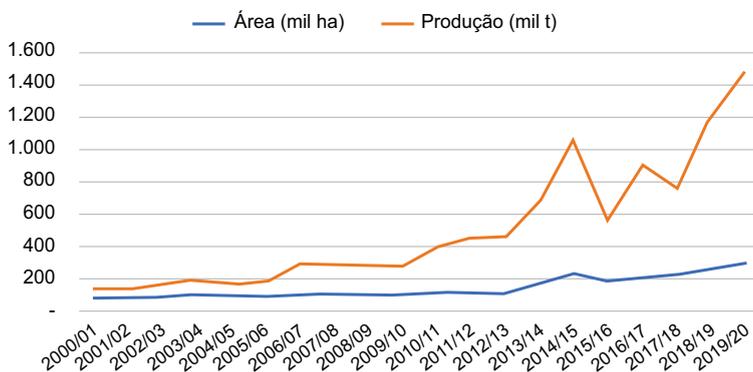
escalas de operações. Essas cadeias associadas, além da importância econômica e da quantidade de proteína em volume de produção, tende a desempenhar relevante papel na geração de emprego e renda, aliado ao desenvolvimento regional.

O cultivo do milho no Tocantins (Figura 12), é realizado em diferentes sistemas de cultivos, desde plantio consorciado, realizado por agricultores familiares, 1ª safra com plantio no início do período chuvoso e 2ª safra ou safrinha, que geralmente ocorre após o plantio de soja, em propriedades de médio a grande porte, ou seja, em áreas acima de 100 ha.



Figura 12. Área de produção de milho, Pedro Afonso – TO. (Foto: Daniel Fragoso)

O crescimento da produção de milho no Tocantins (Figura 13), tem ocorrido devido principalmente à incorporação acelerada de áreas agrícolas ao processo produtivo, com expressivos aumento da produção devido aos ganhos de produtividade, que saltou de cerca de 1.000 kg.ha⁻¹ na década de 1980, para cerca de 5.219 kg.ha⁻¹ na safra 2019/2020. Nesta safra, a área plantada de milho (1ª e 2ª safra) foi de 282.300 hectares e a produção total alcançou 1.473.000 toneladas.

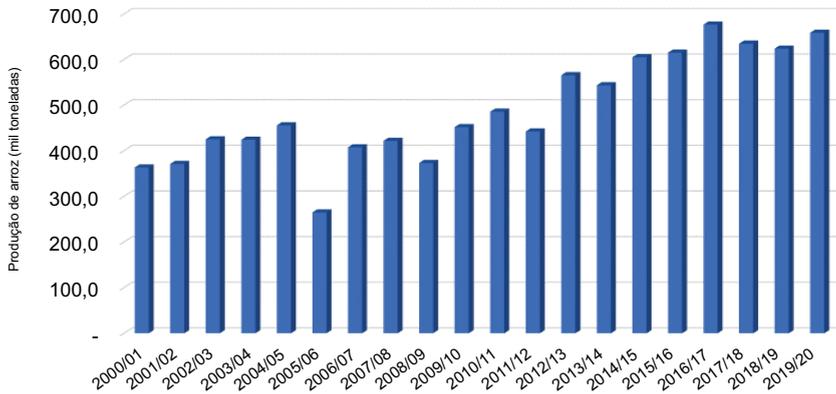


Fonte: Conab (2020)

Figura 13 - Evolução da área plantada e da produção total (1ª e 2ª safra) de milho no Estado do Tocantins (2001-2020)

A cadeia produtiva do arroz irrigado desempenha papel importante na geração de divisas e de empregos para o estado do Tocantins (FRAGOSO *et al.*, 2013). O Estado é o terceiro maior produtor de arroz do Brasil, sendo que na safra 2018/2019 foram colhidas 665,8 mil toneladas de arroz em casca em uma área cultivada de 119,7 mil hectares (CONAB, 2020).

Na região sudoeste do Estado do Tocantins estão situados os municípios Formoso do Araguaia, Lagoa da Confusão, Cristalândia, Dueré e Pium e que segundo dados da Conab (2020) esta região foi responsável por 96% do arroz produzido no Tocantins. A produção de arroz no Estado dobrou nos últimos 20 anos ultrapassando de 600 mil toneladas (Figura 14).



Fonte: Conab (2020)

Figura 14 - Evolução da produção total arroz (arroz de terras altas e arroz irrigado) no Estado do Tocantins (2001-2020)

O cultivo de feijão também é importante e tem potencial para crescer no Tocantins, embora haja limitação da produção por fatores climáticos, principalmente, por elevadas temperaturas no período do florescimento que causa abortamento de flores e queda na produtividade. A cultura do feijão da 3ª safra é plantada em áreas de várzeas e em áreas de pivô central (Figura 15).



Figura 15 - Área de produção de feijão comum irrigada com pivô central, Porto Nacional – TO (Foto: Daniel Fragoso)

Conforme mostrado, a área com plantio de soja foi a que mais cresceu no Tocantins. Este crescimento em área plantada e da produção, teve como instrumento propulsor o Programa de Desenvolvimento do Cerrado (Prodecer I, II e III), que foi fomentado pela Agência Japonesa para Cooperação Internacional (JICA), a qual destinou recursos financeiros para aquisição de terras, equipamentos, insumos e infraestrutura.

Destaca-se também a relevância da produção de biocombustível proveniente da indústria sucroalcooleira no Tocantins, importante geradora de empregos na região canavieira, como no município de Pedro Afonso. Observou-se que na safra 2019/20, o Estado produziu 2,23 milhões t de cana-de-açúcar, numa área de quase 30 mil hectares. Nessa área, obteve-se o volume global de 166.370.000 litros de etanol, sendo que desse total, 81.536.000 litros, correspondeu à produção de etanol anidro e o restante (84.834.000 litros) produziu-se o etanol hidratado (CONAB, 2020).

A silvicultura é outra atividade agrícola que complementa e se consolida como um dos destaques do agronegócio no Tocantins. De acordo com dados de um levantamento realizado pela Secretaria da Agricultura, da Pecuária e Aquicultura - Seagro, o Estado tinha uma área de silvicultura de 16 mil hectares em 2006 e no último levantamento, do ano de 2011, essa área de havia expandido para 83 mil hectares, registrando uma evolução de aproximadamente 500%. Atualmente o Estado tem uma área de cerca de 170 mil hectares de florestas plantadas. As espécies mais plantadas são eucalipto, teca, acácia e seringueira, sendo que o eucalipto corresponde em média a cerca de 91%, das espécies florestais plantadas no Tocantins (MATTEO *et al.*, 2016). Destaca-se o aumento da área de plantio de eucalipto no Estado, no período de 2010 a 2018, que atingiu 220%, com uma taxa média de crescimento anual da área plantada de 25,5% (IBGE, 2018). A produção das florestas plantadas, destina-se a atender os mercados de mineração, madeira, celulose e borracha.

No contexto da expansão da agricultura tocantinense, também é válido ressaltar um grande esforço por parte da esfera governamental para a implantação de polos de fruticultura irrigada, com destaque para o cultivo e produção de abacaxi, melancia e outras espécies de frutas. O Estado de Tocantins, bem como os demais da região Norte, têm grande potencial na produção de frutas típicas como açaí (já com áreas de produção de açaí em várzea), babaçu, cupuaçu, bacuri, murici, taperebá, pupunha, etc., que ainda são muito pouco exploradas como alternativas de diversificação e com grande potencial de geração de emprego e renda, principalmente por meio de agroindústrias (doces, sorvetes, sucos, geléias e palmito) para os mercados do Centro-Sul.

Referências

AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. **Relatório de atividades de pesquisa com o feijoeiro comum nas várzeas tropicais do Tocantins**: adequações fitotécnicas com o feijoeiro cultivado em sucessão ao arroz irrigado em várzeas tropicais. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 40 p. (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, 225)

AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. (Ed.). **Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 305p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia**. Brasília: MMA, 2006. 132 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno setorial de recursos hídricos: agropecuária**. Brasília: MMA, 2006. 96 p.

CONAB. **Levantamentos de safra**: 7^o Levantamento grãos safra 2017/18. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

CONAB. **Levantamentos de safra**: 7^o Levantamento grãos safra 2019/20. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras>>. Acesso em: 23 jul. 2020.

FRAGOSO, D. B. et al. **Caracterização e diagnóstico da cadeia produtiva do arroz no Estado do Tocantins**. Brasília: Embrapa, 2013. 40 p.

MATTEO, K. C. de et al. **Diagnóstico da dinâmica social e econômica do estado do Tocantins: inventário socioeconômico**. Palmas: Seplan-TO, 2016. 413p.

TOCANTINS. **Atlas do Tocantins**: subsídios ao planejamento da gestão territorial. 6. ed. Palmas: Seplan, 2012. 80p.

TOCANTINS. **Programa de Desenvolvimento da Região Sudoeste do Estado do Tocantins**. Disponível em: <<http://seagro.to.gov.br/conteudo.php?id=183>>. Acesso em: 26 ago. 2013.

TOCANTINS. **Perfil do agronegócio tocaninense**. Palmas: Seplan, 2016. 145p.

VALADÃO, C.O. Sistema de produção de arroz em várzeas na Bacia do Rio Araguaia. In: VI REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ. **Perspectivas para a cultura do arroz nos ecossistemas de várzeas e de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p.209-212, 1999. (Documentos, 296).



PARTE II

Mudanças Climáticas e Cenários Futuros





Um desafio significativo é estabelecer uma abordagem sustentável de manejo que permita ao país manter o desenvolvimento de seu setor agrícola, reduzindo emissões, adaptando-o ao impacto das mudanças climáticas e reduzindo a degradação dos ecossistemas.



Carlos Nobre

*Preside o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas e coordenador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas. É membro titular da Academia Brasileira de Ciências (ABC), The World Academy of Sciences (TWAS) e Membro estrangeiro da National Academy of Science (NAS). Foi um dos autores do Quarto Relatório de Avaliação do IPCC, sendo agraciado com o Prêmio Nobel da Paz em 2007.
Extraído da seção "Olhares para 2030" da Embrapa.*



O Estado do Tocantins apresentou, em 2016, emissão de 41.019 Gg CO₂e, com destaque para os setores LULUCF (50%), Agropecuária (40%) e Energia (8%). As emissões do Tocantins representaram 3% das emissões nacionais e 13% da região Norte.



MCTI (2021)

*Extraído do relatório Resultados do Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa por Unidade Federativa, referente à Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - UNFCCC, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações – MCTI, publicado em 2021.
LULUCF – Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Silvicultura.*

Autores das fotos da capa da Parte II

Foto superior: Richard Antônio Souza Mesquita

Fotos do meio e inferior: Erich Collicchio

Eduardo Delgado Assad¹; Susian Christian Martins²

¹Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária; ²Coordenadora Técnica da Pangea Capital

1 - Introdução

O Brasil participa do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima - IPCC, desde 1988, ou seja, desde a sua primeira versão. Várias discussões têm sido feitas desde então sobre o assunto, tanto no nível científico como político. Logo no início a Universidade de São Paulo - USP, promoveu um encontro já em 1988, para discutir o assunto, que naquela época não estava muito claro, para diversos cientistas brasileiros. Defendiam-se então duas teses, uma de que a terra estava aquecendo, fortemente apoiada por grupos americanos e europeus, e outra de que estava esfriando, neste caso apoiada por grupos japoneses. Algumas instituições brasileiras começaram então a estudar mais profundamente o assunto, e dois grupos foram fortes protagonistas nesta ação, a saber, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, IAG-USP.

No ano de 1990 a Assembleia Geral das Nações Unidas estabeleceu o Comitê Intergovernamental de Negociação para a Convenção Quadro sobre Mudança do Clima - CIN/UNFCCC com o objetivo de preparar a redação de um instrumento jurídico multilateral específico para esse tema. Reuniões de negociação ocorreram entre 1991 e 1992 tendo sido finalizadas em 9 de maio de 1992 com a adoção da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – UNFCCC, na Sede das Nações Unidas na cidade de Nova York. Este instrumento foi finalmente firmado na cidade do Rio de Janeiro em junho de 1992 durante a Cúpula da Terra.

Após a Cúpula da Terra, a Presidência da República, por meio do Decreto nº 1160 de 21 de junho de 1994, constitui a Comissão Interministerial de Desenvolvimento Sustentável – CIDES.

A CIDES estabeleceu as bases sobre as quais a política ambiental brasileira passou a ser conduzida após a reunião da Cúpula da Terra em 1992. Coube ao Ministério das Relações Exteriores - MRE, a coordenação e definição das posições brasileiras no âmbito das negociações internacionais, ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, a coordenação nacional dos compromissos resultantes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e

ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, a coordenação da Convenção sobre Diversidade Biológica e posteriormente também a Convenção sobre Desertificação.

Em 7 de julho de 1999, um Decreto Presidencial estabeleceu a Comissão Interministerial de Mudanças Globais do Clima – CIMGC, com a finalidade de articular as ações de governo decorrentes da Convenção Quadro da Nações Unidas sobre Mudança do Clima e seus instrumentos subsidiários de que o Brasil seja parte.

Havendo então a necessidade de participar mais ativamente, e oficialmente das discussões mundiais, que iniciavam também os seus inventários de gases de efeito estufa, o MCTI, criou a Coordenação Geral de Mudanças Globais do Clima, que vem atuando fortemente nos assuntos referentes aos projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo - MDL, inventário nacional de gases de efeito estufa, definição de políticas de mitigação e adaptação, dentre outras ações.

Uma ação governamental relevante vem do Ministério do Meio Ambiente - MMA. No seu organograma, existe uma figura chamada de Órgãos específicos singulares, onde se encontra a Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. A Secretaria é a responsável pela definição de estratégias e a proposição de políticas referentes à mitigação e à adaptação às mudanças do clima; e pela coordenação do Grupo Executivo do Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima - GEx, encarregado da elaboração do Plano Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC. Nos últimos 5 anos coordenou diversos estudos sobre o tema onde destacam-se: Plano Nacional Mudança do Clima, Mudanças Climáticas Globais e seus efeitos sobre a Biodiversidade, Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI, além de vários outros temas que abordam erosão costeira, vulnerabilidade ambiental, impactos das mudanças climáticas dentre outros. A sua extinção em 2019 representa um retrocesso nas ações positivas descritas até aqui para a implantação de uma economia de baixo carbono no país.

Outro importante papel do GEx foi de acompanhar a elaboração dos planos setoriais estabelecido pela lei das Mudanças Climáticas, sendo um dos mais importantes o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal - PPCDAM, trata da redução e monitoramento do desmatamento da Amazônia, hoje considerado uma política de sucesso, pois permitiu que o desmatamento saísse de 25.000 km² em 2015, para próximo de 7.000 km² em 2019. No entanto, vale ressaltar a alta nas taxas de desmatamento observadas para os anos entre 2018 e 2020 no bioma Amazônia. Outra política de sucesso foi a participação efetiva do MMA e do Fundo Clima na efetivação do Plano ABC - Agricultura de Baixa Emissão de Carbono, que atualmente conta com mais de 2 milhões de hectares implantados com os sistemas integrados.

Além dos planos setoriais, o governo brasileiro também considerou a adaptação como um elemento fundamental no esforço global para enfrentar as mudanças climáticas e seus efeitos. Desde 2012 encontrava-se em elaboração o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima - PNA, liderado pelo Ministério do Meio Ambiente, estabelecido pela Portaria nº 150 de 10 de maio de 2016, publicada no Diário Oficial da União de 11 de maio de 2016. O PNA conta com diretrizes de ações de adaptação para diversas áreas, com a inclusão de capítulos específicos com estratégias para 11 setores, incluindo Agricultura e Biodiversidade & Ecossistema. Essas estratégias delinham as principais vulnerabilidades e déficits de gestão de cada setor, apresentando diretrizes para implementação de medidas adaptativas que visam o incremento da resiliência climática.

O terceiro pilar de ações governamentais é de responsabilidade da Casa Civil da Presidência da República, que coordena o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima - CIM.

Em novembro de 2007, foi então promulgado o Decreto Presidencial nº 6.263 de 2007, pelo qual o governo criou o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, com a função de elaborar a Política Nacional sobre Mudança do Clima e o Plano Nacional sobre Mudança do Clima. O CIM é coordenado pela Casa Civil da Presidência da República, sendo composto por dezessete órgãos federais e o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas - FBMC.

A responsabilidade pela elaboração, implementação, monitoramento e avaliação do Plano Nacional sobre Mudança do Clima ficou a cargo do Grupo Executivo sobre Mudança do Clima - GEx, no âmbito do CIM, que é coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente. Como resultado do trabalho do GEx, sendo posteriormente referendado pelo CIM, encaminhou-se ao Poder Legislativo no dia 05 de junho de 2008 - Dia Internacional do Meio Ambiente – proposta da Política Nacional sobre Mudança do Clima, através do Projeto de Lei nº 3535/2008.

O Projeto de Lei nº 3535/2008, que propõe a Política Nacional sobre Mudança do Clima e fixa seus objetivos, princípios, diretrizes e instrumentos, menciona que a mesma norteará a elaboração do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, dos planos estaduais, bem como de outros planos, programas, projetos e ações no Brasil relacionados, direta ou indiretamente, à mudança do clima.

Dando continuidade as ações regulatórias, foram criadas a Lei nº 12.114 de 9 de dezembro de 2009 – Cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC), Lei nº 12.187 – Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), Decreto nº 7.343 de 26 de outubro de 2010 – Regulamenta o FNMC e Decreto nº 7.390 de 9 de dezembro de 2010 – Regulamenta a PNMC. Com essas ações, estava criado todo arcabouço legal para as ações de enfrentamento das mudanças climáticas no Brasil, sendo que imediatamente após toda essa regulamentação partiu-se para a definição das políticas de mitigação e redução de emissões e mais recentemente o estabelecimento das políticas de adaptação às mudanças do clima

Duas outras importantes ações foram iniciadas pelo governo federal, uma no âmbito do MCTI, que foi a criação da Rede Clima, que é uma rede de pesquisa, que atua em 12 temas, a saber: energias renováveis, agricultura, saúde, biodiversidade e ecossistemas, recursos hídricos, desenvolvimento regional, cidades, modelagem, economia das mudanças climáticas, dimensões humanas, comunicação e zonas costeiras.

A segunda ação governamental foi fruto de uma ação conjunta do MCTI e MMA, que propiciou a criação do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC. No Painel, pesquisadores de instituições públicas e privadas brasileiras foram incentivados a organizar e ampliar a produção científica sobre os impactos das mudanças do clima no território nacional. Além de analisar a produção científica, técnica e socioeconômica sobre mudanças climáticas em todos os seus aspectos, o Painel teve a tarefa de colocar esse conhecimento, organizado em forma de relatórios, à disposição da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas - UNFCCC, dos governos e de todas as instituições e pessoas interessadas no assunto.

O Plano Nacional de Mudança do Clima é então na verdade, o resultado da construção de todas essas ações, que começaram em 1988. Em termos globais, a política interna sobre mudanças do clima no Brasil é boa, apesar do esvaziamento deste e de outros temas ambientais na nova gestão do Governo Federal a partir de 2019, podendo num curto prazo responder as questões relevantes sobre o assunto.

2 - Plano Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e Contribuição Nacionalmente Determinada - NDC do Brasil ao Acordo de Paris

O Plano Nacional sobre Mudança do Clima incentiva o desenvolvimento das ações colaborativas ao esforço mundial de combate ao problema e criar as condições internas para o enfrentamento de suas consequências. O aquecimento do planeta pela interferência humana, apesar de incerto quanto à sua magnitude, tornou-se um fato aceito pela comunidade científica. Para isto contribuiu o Quarto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática - IPCC, publicado em 2007, e mais recentemente o relatório conhecido como AR5, em 2014.

A mudança do clima é o resultado de um processo de acúmulo de Gases de Efeito Estufa na atmosfera - GEE, que está em curso desde a Revolução Industrial. Os países apresentam diferentes responsabilidades históricas pelo fenômeno, segundo os volumes de suas emissões antrópicas. Isto contribui para a definição, hoje, *de responsabilidades comuns, porém diferenciadas*, que norteiam, por um lado, as obrigações de países desenvolvidos e, por outro, de países em desenvolvimento no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

Cabe ao Brasil harmonizar suas ações nesse campo com os processos de crescimento socioeconômico, no marco do desenvolvimento sustentável. Quais as reais possibilidades socioeconômicas das nações individualmente e qual sua

disposição para enfrentar as causas e consequências do problema, são questões que se impõem nos nossos dias. Cada país deve tentar equacionar suas respostas e organizar suas ações.

Mas, o que pretende o Brasil para o futuro próximo? São inúmeras as respostas e as possibilidades.

A mudança do clima é uma questão estratégica para o presente e o futuro do desenvolvimento nacional. Envolve-se aqui não só uma questão de escolhas produtivas e tecnológicas, mas também a preservação e, sempre que possível, o aumento da competitividade da economia e dos produtos brasileiros em um mundo globalizado. As escolhas são feitas à medida que a sociedade reconhece o problema, compreende a dinâmica das múltiplas forças que o provocam, defini-se como parte da solução e se vê como beneficiária das decisões tomadas. Pode-se assegurar, portanto, que a premissa dos esforços do Brasil é o seu compromisso em reduzir a desigualdade social e a aumentar sua renda buscando uma dinâmica econômica cuja trajetória de emissões não repita o modelo e os padrões dos países que já se industrializaram.

Duas são as vertentes principais que se apresentam: a difícil tarefa de equacionar a questão das mudanças do uso da terra com suas implicações de grande magnitude nas emissões brasileiras de gases de efeito estufa e a instigante tarefa de aumentar continuamente a eficiência no uso dos recursos naturais com os quais o País é aquinhoado. O enfrentamento destes desafios será calcado em esforços coordenados, concatenados, contínuos e sinérgicos, para os quais o Plano Nacional sobre Mudança do Clima foi concebido.

O PNMC define ações e medidas que visem à mitigação, bem como à adaptação à mudança do clima, sendo os seguintes os seus objetivos específicos:

I - Fomentar aumentos de eficiência no desempenho dos setores produtivos na busca constante do alcance das melhores práticas.

A proposta é de aumentar os esforços em fomentar um nível de desempenho do setor produtivo, pautado nas melhores práticas em cada um dos setores específicos, sendo uma forma de se buscar reduzir o conteúdo de carbono do produto interno bruto brasileiro, aumentar a competitividade dos produtos brasileiros no mercado internacional, fazer crescer a renda e gerar excedentes econômicos que possam garantir maiores níveis de bem-estar social.

II - Buscar manter elevada a participação de energia renovável na matriz elétrica, preservando posição de destaque que o Brasil sempre ocupou no cenário internacional.

As fontes renováveis seriam, biomassa, eólica e solar - e de fontes não convencionais como os resíduos sólidos e efluentes. Ademais, são necessários esforços na direção da eficiência energética e da conservação de energia, como forma de redução de consumo, evitando geração adicional e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa.

III - Fomentar o aumento sustentável da participação de biocombustíveis na matriz de transportes nacional e, ainda, atuar com vistas à estruturação de um mercado internacional de biocombustíveis sustentáveis.

Os biocombustíveis brasileiros como o etanol, e em menor escala o biodiesel, são fontes de riqueza inconteste para o País. Sua produção gera renda no campo e sua utilização desloca fontes fósseis que tanto impactam no clima, quanto na qualidade do ar que se respira.

IV - Buscar a redução sustentada das taxas de desmatamento, em sua média quadrienal, em todos os biomas brasileiros, até que se atinja o desmatamento ilegal zero.

Inúmeras são as variáveis a serem controladas para que se reduza o desmatamento, o que dificulta o alcance dos objetivos pretendidos. Apesar dos constantes esforços de monitoramento e fiscalização, a demanda por produtos que ocupam os locais florestados e mesmo pela madeira produzida com a própria floresta oscila ao longo do tempo, fazendo com que tais esforços ora apresentem resultados bastante satisfatórios, ora se mostrem completamente insuficientes. O que se busca obter com a adoção das medidas previstas no Plano é lograr uma redução consistente das taxas de desmatamento em períodos quadrienais. Esta é uma tarefa desafiadora que exigirá do governo uma estratégia de ação para além das tradicionais ações de monitoramento e vigilância.

V - Eliminar a perda líquida da área de cobertura florestal no Brasil, até 2020.

As florestas nativas têm um valor intrínseco acima dos serviços ambientais atualmente percebidos. As florestas plantadas sejam para fins de reconstituição de ecossistemas, sejam para utilização econômica, geram serviços ambientais de grande monta, pois preservam fluxos d'água, diminuem ou impedem o assoreamento dos rios e lagos, melhoram o micro clima e permitem a preservação de espécies nativas da fauna. Dentre as razões de toda ordem para se estabilizar a cobertura florestal em patamares elevados, ressalta-se o fato de que florestas – em seu lato sensu – são reservatórios ou sumidouros de carbono, cujo estoque na vegetação e no solo dá-se pela remoção de CO₂ da atmosfera por meio do processo de fotossíntese.

VI - Procurar identificar os impactos ambientais decorrentes da mudança do clima e fomentar o desenvolvimento de pesquisas científicas para que se possa traçar uma estratégia que minimize os custos sócioeconômicos de adaptação do País.

Vários estudos são desenvolvidos no País (como mostra o Painel Brasileiro de Mudanças do Clima) buscando compreender a dinâmica regional do clima e os impactos ambientais, sociais e econômicos, nacionais e locais, que poderão ocorrer com as mudanças climáticas ao longo do século. São vários os esforços para

umentar a produção do conhecimento científico a respeito de todos os aspectos que se inter-relacionam com a problemática de modo a promover uma adaptação que minimize os custos do País às novas condições climáticas.

Em setembro de 2016, o país depositou o instrumento de ratificação do Acordo de Paris, no qual se compromete a adotar medidas para redução das emissões de GEE por meio de uma Contribuição Nacionalmente Determinada - NDC. A NDC brasileira trata exclusivamente do compromisso de reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005 (tendo como referência as emissões reportadas na Segunda Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC), em 2025, com possível esforço para chegar à redução de 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030, tendo como referência as emissões reportadas na Segunda Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC (MCTI, 2010) (Tabela 1). Além disso, em dezembro de 2017, o Brasil ratificou a Emenda Doha ao Protocolo de Quioto.

Tabela 1. Principais elementos da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil ao Acordo de Paris.

NDC	Informações
Contribuição	Reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025.
Contribuição indicativa	Reduzir as emissões de GEE em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030.
Tipo	Meta absoluta com relação a um ano-base.
Abrangência	Todo o território nacional, para o conjunto da economia, incluindo CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, perfluorcarbonos, hidrofluorcarbonos e SF ₆ .
Ponto de referência	2005.
Horizonte temporal	Meta para o ano de 2025; valores indicativos de 2030 apenas para referência.
Métrica	Potencial de Aquecimento Global em 100 anos (GWP-100) usando valores do Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014).
Abordagens metodológicas, inclusive para estimativa e contabilização de emissões antrópicas de gases de efeito de estufa e, conforme apropriado, remoções	Abordagem baseada em inventário para estimativa e contabilização das emissões antrópicas de gases de efeito estufa e, conforme apropriado, remoções, seguindo as diretrizes aplicáveis do IPCC. O compromisso leva em conta o papel das unidades de conservação e das terras indígenas como áreas de florestas manejadas, em conformidade com as diretrizes aplicáveis do IPCC para estimar remoções de gases de efeito estufa.
Utilização de mecanismos de mercado	O Brasil reserva sua posição quanto à possibilidade de utilizar quaisquer mecanismos de mercado que venham a ser estabelecidos sob o Acordo de Paris. O governo brasileiro enfatiza que quaisquer transferências de unidades provenientes de resultados de mitigação alcançados no território brasileiro serão sujeitas ao consentimento prévio e formal do governo federal. O Brasil não reconhecerá o uso por outras Partes de quaisquer unidades provenientes de resultados de mitigação alcançados no território brasileiro que forem adquiridas por meio de qualquer mecanismo, instrumento ou arranjo que não tenha sido estabelecido sob a Convenção, seu Protocolo de Quioto ou seu Acordo de Paris.

Fonte: MCTIC (2019)

3 - Outras Iniciativas relativas à mudança do Clima

3.1 - Sistema de Registro Nacional de Emissões - SIRENE

O Brasil instituiu, em outubro de 2017, por meio do Decreto nº 9.172/2017 o Sistema de Registro Nacional de Emissões - SIRENE, como ferramenta oficial do governo para disponibilização dos resultados de emissões antrópicas de gases de efeito estufa e tem o Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, como responsável pela implementação e pela manutenção do sistema, conforme o disposto no inciso XIII do caput do art. 6º da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. A missão é conferir perenidade, acessibilidade, segurança e transparência ao processo de confecção do Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas, com as funções de estimar, para fins de quantificação e contabilização, as emissões de gases de efeito estufa, de acordo com as diretrizes de elaboração dos inventários nacionais previstas em decisão da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, e servir de insumo à tomada de decisão nas ações governamentais relativas à mudança do clima, no que tange a geração de conhecimento científico e adoção de medidas de mitigação. Considerado pelo governo brasileiro como um sistema de MRV - Mensuração, Relato e Verificação para as emissões em nível agregado, para os setores do inventário.

3.2 - Plataforma Multi-institucional de Monitoramento das Reduções de Emissões de Gases de Efeito Estufa - Plataforma ABC

O Brasil tem investido na sustentabilidade de seu setor agropecuário. Neste contexto, considerando a criação do Plano ABC, por meio do Decreto nº 7.390, de 9 dezembro de 2010, bem como as diretrizes definidas pela Política Nacional sobre Mudança do Clima, instituída pela Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, são instrumentos governamentais para aumentar a área sob sistemas agropecuários sustentáveis.

A Plataforma ABC, instalada na Embrapa Meio Ambiente, tem como missão articular ações multi-institucionais de monitoramento da redução das emissões de GEE dos setores da agropecuária, sobretudo as reduções derivadas das ações previstas e em execução pelo Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura - Plano ABC.

O Plano ABC é um dos planos setoriais elaborados de acordo com o artigo 3º do Decreto nº 7.390/2010, e tem por finalidade a organização e o planejamento das ações a serem realizadas para a adoção das tecnologias de produção sustentáveis, selecionadas com o objetivo de responder aos compromissos nacionais de redução de emissão de GEE no setor agropecuário assumidos, entre 2010 a 2020.

A Plataforma ABC foi lançada em 21 de março de 2018, referendando o compromisso da Embrapa em coordenar o processo de monitoramento da redução das emissões de GEE neste setor.

4 - Emissões e inventários de GEE no Brasil

A divulgação do inventário de emissões de gases-estufa do Brasil, feita em dezembro 2004, revelou que o desmatamento e a agropecuária são os responsáveis pela maior parte das emissões brasileiras de gases que provocam o aquecimento anormal da atmosfera. Os resultados mostram que o Brasil sozinho responde por 3% de todas as emissões de GEE no mundo. O desmatamento, segundo os dados, é o principal responsável pela emissão de CO₂ (dióxido de carbono, ou gás carbônico), o principal gás causador do aquecimento.

No ano de 1994, o Brasil emitiu na atmosfera 1,03 bilhão de toneladas do gás. A agropecuária, especialmente a flatulência do rebanho bovino nacional, responde pela maioria das emissões de CH₄ (metano), que em 1994 chegaram a 12,3 milhões de toneladas (MCT, 2004), o outro importante emissor é o cultivo do arroz irrigado por inundação (MARENGO, 2006).

As emissões de dióxido de carbono no mundo derivado da queima de petróleo crescerão em 52% até 2030, se mantidas as tendências atuais do consumo de petróleo (AIE, 2005). Segundo o relatório, o consumo de energia crescerá o equivalente a 5,5 bilhões de toneladas de petróleo (50% a mais do que hoje) até 2030.

De acordo com os relatórios do MCTI sobre os inventários brasileiros de gases de efeito estufa (MCT, 1994; MCT, 2004 e MCT, 2009), “O Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal (Inventário) é a parte da Comunicação Nacional à Convenção Quadro da ONU sobre Mudança do Clima - UNFCCC.”

Para elaboração do quantitativo de emissões de Gases de Efeito Estufa, são inventariados os seguintes setores:

a) Setor de Energia

- Queima de combustíveis

- Emissões fugitivas - Nesse setor são incluídas as emissões de gases de efeito estufa durante o processo de mineração, estocagem, processamento e transporte de carvão mineral e durante o processo de extração, transporte e processamento de petróleo e gás natural. As emissões associadas ao carvão mineral incluem a emissão de CH₄ durante o processo de mineração e beneficiamento e as emissões de CO₂ por combustão espontânea em pilhas de rejeito. As emissões associadas ao petróleo e ao gás natural incluem as fugas de CH₄ durante a extração de petróleo e gás natural (*venting*), durante o transporte e distribuição em dutos e navios e durante seu processamento nas refinarias. São também consideradas as

emissões de CO₂ por combustão não útil (*flaring*) nas plataformas de extração de petróleo e gás natural e nas unidades de refinaria (MCT, 2009)

b) Setor de processos industriais

- Produtos minerais
- Indústria química
- Indústria metalúrgica
- Produção e uso de HFC - Hidrofluorcarbono e SF6 - Hexafluoreto de enxofre

c) Setor de agropecuária

- Fermentação entérica
- Manejo de dejetos de animais
- Cultivo de arroz
- Queima de resíduos agrícolas
- Emissões de N₂O provenientes de solos agrícolas

d) Setor de mudança no uso da terra e florestas

e) Setor de tratamento de resíduos

- Disposição de resíduos sólidos
- Tratamento de esgotos

Fazer o inventário no Brasil é uma tarefa árdua e difícil, uma vez que em vários setores, os valores emitidos são estimados. Ao mesmo tempo na falta de referências nacionais e tropicais é necessário então seguir as indicações do IPCC (Tiers 1) que vem sendo ao longo dos últimos anos, atualizadas para as condições brasileiras na medida que novos resultados de pesquisa e medições em condições reais vem sendo realizadas. Já no inventário de 2010, importantes avanços foram feitos no sentido de, a partir de resultados de pesquisa da rede clima, utilizar os fatores de emissões tropicais (Tiers 2), o que deu maior precisão ao novo inventário.

Em termos de contribuição das emissões, a distribuição resultante é apresentada conforme a Tabela 2 (MCTI, 2016).

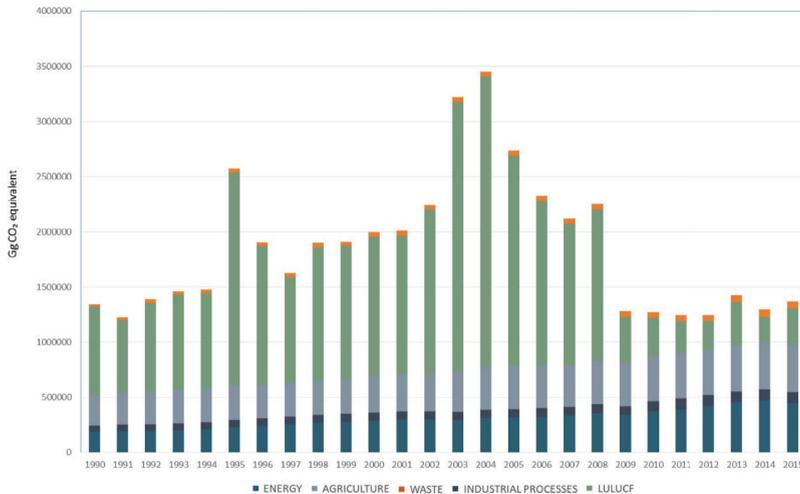
Tabela 2 - Emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de GEE em CO₂e convertidas por meio da métrica GWP

GWP (AR5)	1994	2000	2010	2012	2015
Energia	213.677	289.825	378.344	425.303	452.675
Processos Industriais	61.970	73.313	90.842	97.962	96.407
Agropecuária	364.908	385.027	472.736	480.469	496.142
Mudança de Uso da Terra e Florestas	868.265	1.276.261	355.006	257.538	337.690
Tratamento de Resíduos	41.810	52.255	69.356	74.669	82.373
TOTAL	1.550.630	2.076.681	1.366.283	1.335.940	1.465.287

Fonte: MCTIC (2019)

Conforme já relatado em diversos trabalhos brasileiros, a maior contribuição das emissões nos anos anteriores à terceira comunicação nacional vinham do setor mudança de uso da terra e florestas. Isso indica que ações de mitigação, ou redução das emissões brutas nacionais, podem ser feitas de maneira eficiente, sem ser necessário mudar drasticamente a matriz industrial ou energética. Ações de redução de desmatamento e recuperação de áreas degradadas deram uma importante contribuição na redução da emissão de CO₂ no Brasil, uma vez que seu peso nas emissões era da ordem de 60% a 70% em 2000. Com a redução do desmatamento, o item mudança do uso da terra e floresta ficou responsável por 23% das emissões enquanto que agropecuária ficou com 34%.

É importante ressaltar que entre os anos 2005 e 2010, as emissões brasileiras, saíram de 2,1 bilhões de tCO₂e, para 1,3 bilhões de t CO₂e. A principal causa dessa redução foi a queda muito forte na taxa de desmatamento anual. Na Figura 1 está representada a evolução das emissões por setor, e em verde verifica-se a forte redução das emissões por desmatamento.



Fonte: MCTIC (2019)

Figura 1 - Evolução das emissões líquidas de CO₂e por setor

5 - Cenários climáticos futuros para o Brasil

Desde 1988 os cenários futuros para o Brasil vêm sendo estudados. Em função da resolução dos modelos do IPCC, e mais recentemente com o IPCC TAR, os estudos foram enriquecidos e muitas indicações podem ser feitas. Trabalhos de Ambrizzi (2007), Nobre; Salazar; Oyama (2007), Marengo *et al.* (2007), Artaxo *et al.* (2002), Dias *et al.* (1999) dentre outros, tem mostrado de maneira muito clara as tendências futuras para o clima no Brasil.

Neste capítulo, que não pretende-se dar uma visão exaustiva do assunto, selecionou-se o trabalho de Marengo *et al.* (2007) referente à “*Caracterização do clima atual e definições das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*”, completado pelos resultados do volume 1 do PBMC (2014), para mostrar os possíveis cenários futuros a partir dos resultados de análises e simulações dos modelos do IPCC TAR e AR4. As principais indicações, transcritas a seguir são baseados no *downscaling* do modelo HadAM3P do Hadley Centre de UK e dos modelos regionais de clima desenvolvidos no CPTEC/INPE e IAG/USP. As projeções feitas para a segunda metade do Século XXI (período 2071-2100) consideram os cenários extremos de altas emissões (A2) e de baixas emissões (B2):

1. *As projeções de aumento da temperatura média no ar à superfície para o Brasil indicam que os valores podem chegar até 4°C acima da média climatológica (1961-90) para 2100, dependendo no cenário de emissão de gases de efeito estufa e dos modelos climáticos globais do IPCC TAR e AR4. Os aumentos de temperatura projetados apresentam considerável variação regional. Por exemplo, na Amazônia o aquecimento poderá chegar até 8°C no cenário mais pessimista.*

2. *As projeções de mudança nos regimes e distribuição de chuva, derivadas dos modelos globais de IPCC TAR e AR4, para climas mais quentes no futuro não são conclusivas, e as incertezas ainda são grandes, pois dependem dos modelos e das regiões consideradas. Na Amazônia e Nordeste, ainda que alguns modelos climáticos globais apresentem reduções drásticas de precipitações, outros modelos apresentam aumento. A média de todos os modelos, por outro lado, é indicativa de maior probabilidade de redução de chuva nestas regiões como consequência do aquecimento global. As regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste não mostram mudanças perceptíveis, ou certo aumento até finais do século XX, mas as chuvas poderiam ser mais intensas.*

3. *Existem incertezas nas tendências observadas da variabilidade de extremos de clima no Brasil, excetuando talvez a região Sul, devido fundamentalmente à falta de informação confiável de longo prazo ou ao acesso restrito a este tipo de informação para grandes regiões, como por exemplo, Amazônia e Pantanal. As projeções de extremos para a segunda metade do Século XXI mostram, em geral, aumentos nos extremos de temperatura, como noites mais quentes, ondas de calor, e nos indicadores de eventos extremos de chuva.*

4. *Projeções climáticas para a segunda metade do Século XXI, para os cenários extremos de emissão de IPCC A2 e B2 fornecem mais detalhes sobre a distribuição e intensidade nas mudanças da temperatura e precipitação no Brasil e América do Sul. As incertezas ainda são grandes, pois, a diferença com as análises dos modelos globais de IPCC TAR e AR4, foi usado somente um modelo global e três modelos regionais para o downscaling dos cenários climáticos futuros (Tabela 2).*

Tabela 3. Aumento de temperatura do ar (°C) em 2100 representado pela média de 6 modelos climáticos globais do IPCC TAR para dois cenários de emissão (A2 – pessimista e B2- otimista) e para cada região do país considerada no estudo

Região	Cenário A2 (°C)	Cenário B2 (°C)
Amazônia	+ 5,3	+ 3,0
Nordeste	+ 4,0	+ 2,2
Pantanal	+ 4,6	+ 3,4
Sul (Bacia do Prata)	+ 3,5	+ 2,3

5. *Em relação ao fenômeno El Niño - Oscilação Sul (ENOS), as projeções climáticas mostram poucas evidências de mudanças na amplitude do fenômeno nos próximos 100 anos. Porém, há possibilidades de uma intensificação dos extremos de secas e enchentes que ocorrem durante eventos quentes de El Niño.*

6. *Estudos utilizando simulações do balanço hídrico para as regiões do Brasil, considerando as projeções de temperatura e chuva dos cenários futuros de clima gerados pelo projeto, sugerem no cenário de maiores emissões, uma tendência de extensão da deficiência hídrica por praticamente todo o ano para o Nordeste, a qual, no presente, acontece durante os meses de estiagem, isto é, tendência a "aridização" da região semi-árida até final do Século XXI. Para a Amazônia, o período de excesso de água observado no clima atual, durante a estação chuvosa, pode reduzir significativamente em climas futuros mais quentes, associados a um aumento de temperatura e de evaporação e uma redução das chuvas.*

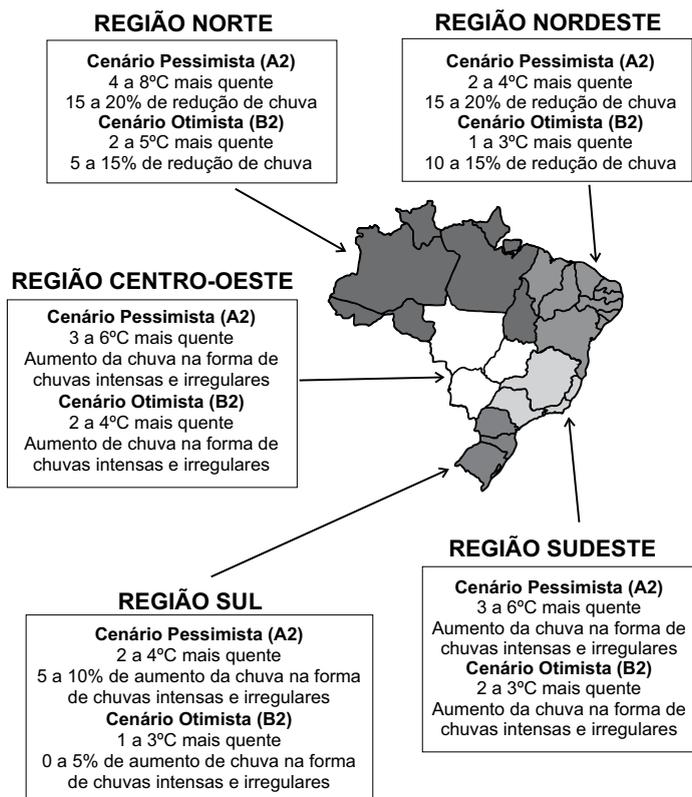
7. *Existem incertezas na possibilidade de ter mais furacões como o Catarina no Atlântico Sul devido ao aquecimento global.*

8. *No Brasil, poucos estudos foram feitos sobre o reflexo das mudanças climáticas e seus impactos na agricultura. Uma primeira tentativa de identificar o impacto das mudanças do clima na produção regional foi feita por Pinto et al. (1989; 2001), onde foram simulados os efeitos das elevações das temperaturas e das chuvas no zoneamento do café para os Estados de São Paulo e Goiás. Observou-se uma drástica redução nas áreas com aptidão agroclimática, condenando a produção de café nestas regiões.*

A Figura 2 sumariza as expectativas de aquecimento para o Brasil até o final do século.

Essas projeções feitas no período 2005-2007, continuam atualizadas. É muito impressionante o fato que, com relação ao item 5, referente ao fenômeno El Niño, como os fenômenos corridos no verão de 2010, 2014 e 2016 comprovam o estudado. Em São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador e Aracaju, chuvas intensas resultaram em eventos catastróficos de dimensões não observadas com frequência

que se abateram sobre estas cidades provocando um grande número de óbitos e mostrando claramente como nossas cidades não estão adaptadas aos eventos extremos projetados com pelo menos 5 anos de antecedência. Ao mesmo tempo o País viveu nos últimos 3 anos a maior crise hídrica da sua história.



Fonte: Marengo *et al.* (2014)

Figura 2 - Cenários do clima futuro para o Brasil até o final do século XXI

Avanços significativos também ocorreram no setor agrícola onde estudos mais detalhados foram feitos para as culturas de soja, milho, arroz, feijão, mandioca, cana de açúcar, café, girassol, algodão e canola, mostrando o custo da inação (ASSAD *et al.*, 2008). Ou seja, se nada for feito em termos de adaptação, as perdas na agricultura brasileira poderão chegar a mais de 5 bilhões de reais/ano, considerando o cenário A2 (Pessimista), já no ano de 2020. Outro fato importante é que contrariamente ao que se projetou nos anos 1990, nem toda agricultura tropical será atingida negativamente. Poderá haver uma expansão das lavouras de cana-de-açúcar e mandioca e uma retração das lavouras de soja, milho, arroz e feijão¹.

1 - Maiores discussões sobre os aspectos de uma nova geografia de produção do Brasil podem ser encontradas no site www.climaeagricultura.org.br.

Simultaneamente a estes estudos de vulnerabilidade na agricultura em função das alterações provocadas pelo aquecimento global, Ghini; Hamada; Bettiol (2008) vêm estudando os efeitos das mudanças climáticas nas doenças de plantas. Neste caso específico, são analisados os efeitos do clima futuro (efeitos na maioria dos casos são negativos), do aumento da temperatura sobre as culturas da batata, tomate, pimentão, melão, arroz, cereais de inverno no sul, milho, soja, banana, cana-de-açúcar, café, seringueira, eucalipto, dentre outras.

Um estudo detalhado sobre os cenários climáticos futuros para o Brasil, com forte viés para a agricultura, foi feito por Hamada *et al.* (2008) diferenciando para várias regiões, a possível variação de temperatura em função dos resultados dos modelos do IPCC, assim como foi feito no PBMC (2014).

Assim, depois do IPCC (2007), muitos trabalhos começaram a avançar no país, no sentido de melhor entender, principalmente, os efeitos do aquecimento na agricultura, que é um dos componentes principais no setor alteração do uso do solo, responsável pelas emissões de GEE. A agricultura está muito vulnerável aos efeitos do aquecimento global, sendo uma das maiores responsáveis pelo fenômeno, mas mantidas as condições de inação defendidas por diversos setores mais conservadores, será também umas das atividades mais atingidas devido a sua alta vulnerabilidade, tanto em termos de risco de produção com estabilidade quanto em termos de intensidade de doenças que poderão a ocorrer ameaçando o abastecimento de alimentos no futuro.

6 - Impactos na agricultura

A agricultura é um dos setores mais afetados por eventos naturais extremos. Com a mudança do clima, os riscos para a segurança alimentar e nutricional são multiplicados pelo esperado aumento na frequência e intensidade de extremos e desastres relacionados com o clima (FAO, 2015). O aumento da temperatura média também implica em alterações na precipitação, vento, dentre outros fatores.

As projeções dos efeitos das mudanças climáticas para 2050 no Brasil referentes à agricultura indicam que haveria perdas expressivas neste setor da economia. As regiões mais vulneráveis à mudança do clima no Brasil seriam a Amazônia e o Nordeste. Na Amazônia, o aquecimento pode chegar a 8°C em 2100, onde alguns modelos indicam a possibilidade de alteração da floresta Amazônica (chamada "savanização"). Haveria perdas expressivas para a agricultura em todos os estados, com exceção dos mais frios, no Sul-Sudeste, que passariam a ter temperaturas mais amenas.

Com exceção da cana-de-açúcar, todas as culturas sofreriam redução das áreas com baixo risco de produção, em especial soja (-34% a -30%), milho (-15%) e café (-17% a -18%) (Tabela 4). A produtividade cairia em particular nas culturas de subsistência no Nordeste (MARGULIS; DUBEUX, 2010).

Tabela 4. Perdas acarretadas pela mudança no clima na agricultura do Brasil (em Reais de 2008)

Tipo de cultura	Variação % da área de baixo risco (2050)	Impacto na produtividade média por região (%)		Perda econômica anual (R\$ milhões/ano)
		Centro-Oeste	Sul	
Arroz	- 12	- 12	44	530
Algodão	- 14	-	-	408
Café	- 17	-	-	1.597
Feijão	- 10	- 8	37	363
Soja	- 34	- 0,7	21	6.308
Milho	- 15	- 27	- 10	1.511
Cana de açúcar	139	66	34	-

Fonte: Adaptado de Margulis; Dubeux (2010)

A redução da área de baixo risco para a agricultura deve promover fortes perdas produção, sendo que o aumento de temperatura implica que, todas as culturas analisadas neste trabalho sofrerão impactos negativos (com exceção da cana-de-açúcar e da mandioca), apresentando uma diminuição de produção, que pode ser dramática em algumas regiões (PINTO *et al.*, 2008).

Considerando as condições esperadas para os próximos anos e dependendo das espécies, as respostas fisiológicas de culturas sugerem a dinâmica de crescimento será acentuada, com ligeiras modificações em desenvolvimento, tais como a floração e a frutificação (Da MATTA *et al.*, 2010). Além disso, destaca-se que as variações na qualidade dos alimentos num ambiente mais quente, com alta concentração de CO₂, espera-se por exemplo, a diminuição das concentrações de proteína e de nutrientes minerais, bem como a composição lipídica alterada (Da MATTA *et al.*, 2010).

Um estudo de modelagem climática (modelo HadCM3 usando o cenário de emissões A2) para as projeções de mudança de temperatura na agricultura brasileira para o ano de 2040, indica que existem alguns impactos positivos devido a mudanças de temperatura em função de aumentos de temperatura mínima, enquanto impactos negativos surgem a partir do estresse hídrico devido a aumento da evapotranspiração (SILVA *et al.*, 2014).

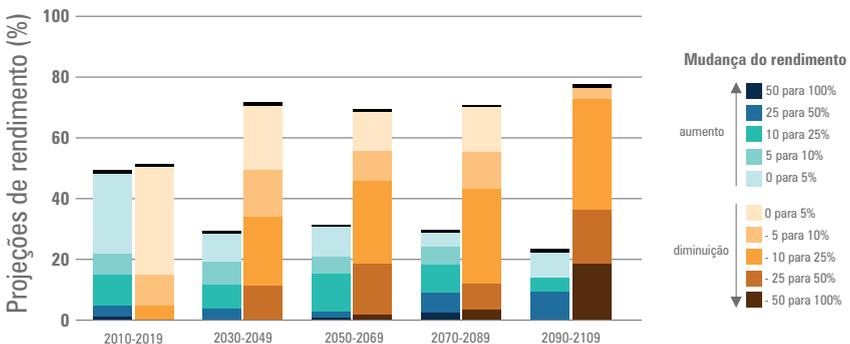
A metodologia utilizada na modelagem para se estimar as mudanças na temperatura pode ter impacto nos estudos de vulnerabilidade agrícola no Brasil. Estudos mostram que a temperatura estimada pela Modelo PRECIS-Br, sem a correção do filtro de *Kalman* terá um impacto sobre a determinação de evapotranspiração das culturas cultivadas nos meses de janeiro a março, menor do que a estimada com a correção feita pelo filtro (PORTO de CARVALHO; ASSAD; PINTO, 2011).

Uma análise do efeito das mudanças climáticas (com base no terceiro relatório do IPCC para 2040 a 2070 e 2070 a 2100) sobre os níveis de produção agrícola do milho, cana-de-açúcar e mandioca nos estados da região Nordeste do Brasil, indica que os níveis de produção das três culturas poderão ser superiores àqueles que poderiam vigorar caso não houvesse mudanças no clima.

Nos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco poderão apresentar perdas de produção nas três culturas, tanto no médio quanto no longo prazo. Mesmo num cenário otimista, verificou-se que as mudanças climáticas impactarão negativamente os níveis de produção dos municípios do sul e do centro-sul da Bahia.

Para os níveis de temperatura estimados, até 2100, a região Nordeste brasileira poderá apresentar aumentos de temperatura de até 3,4°C, sendo que a temperatura média futura está compreendida no intervalo de 28,37°C a 28,63°C. Com base nessas estimativas, nota-se que culturas como a mandioca, cujo plantio acontece em temperaturas médias entre 20°C e 27°C, estará muito suscetível ao clima, o que, diretamente, refletem em impactos econômicos para os estados produtores do Nordeste. Vale observar que em média, o nível de precipitação da Região Nordeste poderá se reduzir em cerca de 10%. Como a mudança climática avança ao longo do tempo, seu efeito sobre o rendimento das culturas é projetado para tornar-se cada vez mais negativa, sendo altamente incerta a magnitude deste efeito (PORTER *et al.*, 2014).

Esta progressão das mudanças e sua incerteza no cultivo de alimentos são ilustradas pela Figura 3. Sendo que depois de 2050, o risco de impactos mais graves no rendimento agrícola aumenta e depende do nível de aquecimento (IPCC, 2014).



Fonte: IPCC (2014)

Figura 3 - Projeção da mudança do rendimento das culturas devido às alterações climáticas ao longo do século XXI. (O valor considera diferentes cenários de emissões, para regiões tropicais e temperadas e para os casos de adaptação e não adaptação combinados, durante cinco intervalos de tempo no eixo. As alterações no rendimento das culturas são em relação aos níveis do final do século XX. Os dados para cada período de tempo somam 100%)

Observa-se uma grande variedade de projeções relacionando o aumento de temperatura maior que 3°C e produtividade para uma dada cultura em uma determinada região. Sendo que diferentes estudos para uma mesma região e cultura apresentam resultados de diferentes impactos (aumento e diminuição de produção). É arriscado, fazer uma análise com dados agregados, onde a gama de possíveis resultados não é claramente visível. Perdas de produtividade devido à alta temperatura que induzem abortamento de flores é uma questão importante a considerar, especialmente para o café e feijão. As temperaturas iguais ou superiores a 30°C - 34°C no momento da floração pode inibir a produção de pólen e formação do grão resultando em rendimentos instáveis de ano para ano, para o milho e soja (PORTER *et al.*, 2014).

Um aspecto importante no estudo da capacidade de adaptação agrícola (Tabela 5) é a identificação do limite de temperatura para cada cultura. Resultados do aumento da temperatura durante a floração, com estudos de caso feitos em outros países, indicam que tanto o aumento da temperatura local como global tem forte efeito na capacidade de adaptação. A maioria dos estudos utiliza temperatura local como a variável independente (PORTER *et al.*, 2014).

Tabela 5. Potenciais de adaptação para o setor na agricultura

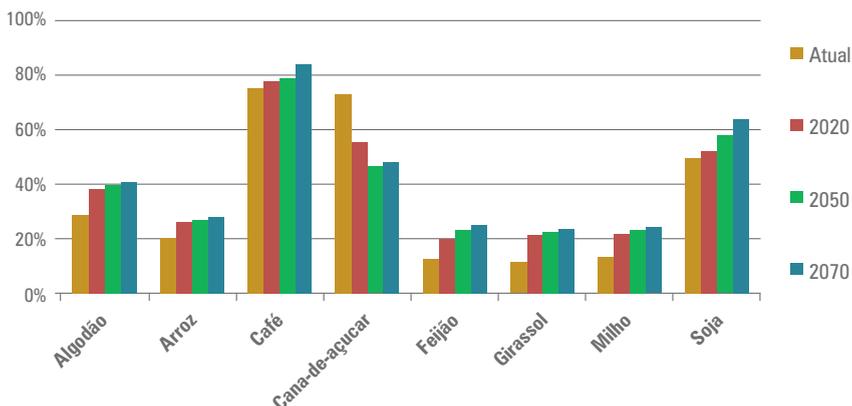
Adaptação	Opção de adaptação	Real ou percebida
Tolerância a seca e a resistência às pragas; aumentar os rendimentos.	Biotecnologia e culturas geneticamente modificadas.	Percepção do risco para a saúde e segurança públicas; riscos ecológicos associados à introdução de novas variáveis genéticas para ambientes naturais.
Fornecer uma rede de segurança financeira para os agricultores a assegurar a continuidade de empresas agrícolas.	Subsídio as perdas por seca seguro agrícola.	Cria o risco moral e as desigualdades distributivas se não for administrado corretamente.
Manter ou aumentar a produtividade das culturas; controlar pragas agrícolas oportunistas e espécies invasoras.	Aumento do uso de fertilizantes químicos e pesticidas.	O aumento do uso de nutrientes e poluição ao meio ambiente; impactos adversos da utilização de pesticidas sobre as espécies; aumento das emissões de gases de efeito estufa; aumento da exposição humana a poluentes.

Fonte: Adaptado do IPCC - AR5 WGII (2014)

A análise do risco de perda de produção² com probabilidade maior de 20%, foi feita para diferentes culturas (algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, feijão, girassol,

2 - Estudo realizado com modelo PRECIS para o cenário A2.

milho e soja) para um cenário atual (base 1976-2005), em 2020, 2050 e 2070 numa situação de aquecimento médio igual ou superior a 4°C para todos os municípios do Brasil. Os resultados indicam o impacto das alterações climáticas para cultura da cana-de-açúcar que diminui o risco de perda de produtividade: 72% dos municípios brasileiros possuem probabilidade maior de 20% de perda de produção num cenário atual, passando para 55% em 2020, 46% em 2050 e 48% em 2070 (Figura 4).



Fonte: Adaptado de Pinto *et al.* (2008)

Figura 4 - Distintos cenários para o risco de perda de produtividade de diferentes culturas no Brasil

O aumento de temperatura pode ter diferentes impactos em função dos estágios de desenvolvimento da planta ou lavoura. Sendo a sua identificação necessária para um melhor diagnóstico das consequências e recomendações apropriadas.

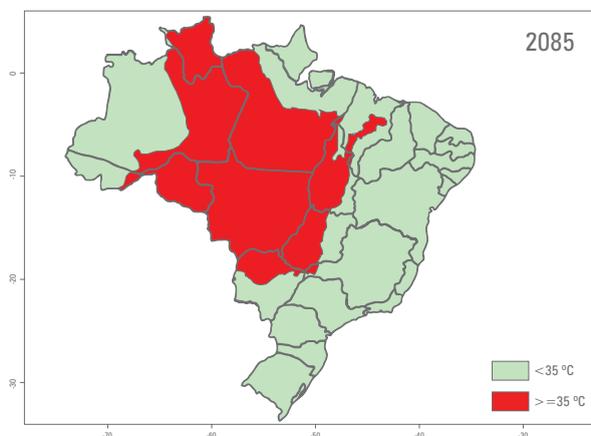
A temperatura limite média das culturas analisadas é de 37°C, sendo que o limite para temperatura máxima para o café é de 34°C e o arroz e o milho 45°C (Tabela 6).

Tabela 6 - Limites máximos de temperatura (°C) para culturas agrícolas

Limites máximos de temperatura (°C)			
Cana de açúcar	35	Feijão	35
Algodão	40	Girassol	40
Arroz	45	Milho	45
Batata	35	Soja	35
Café	34	Trigo	30

Fonte: Monteiro (2009)

A Figura 5 ilustra as regiões do Brasil com temperatura superior a 35°C no cenário RCP 8.5 para 2085, esse limite de temperatura atinge o limite de várias culturas.



Fonte: Assad; Ribeiro; Nakai (2016)

Figura 5 - Mapa do Brasil com o corte de temperatura acima de 35°C para o ano de 2085

Considerando um cenário de aumento de 4°C na temperatura nos próximos anos, poderá então ocorrer abortamento de flores de café, feijão, laranja, morte em frangos, abortamentos de prenhez em porcas e redução da produção de leite. Estima-se uma redução de mais de 90% na produção de milho safrinha e 80% na produção de soja na área de baixo risco (base 1990) (ASSAD; RIBEIRO; NAKAI 2016).

7 - Conclusões

O Brasil, do ponto de vista de marcos regulatórios e legislações, no que diz respeito ao aquecimento global, continua sendo um protagonista internacional. Várias leis, decretos, e planos setoriais estão em andamento e mostrando que é possível controlar o desmatamento, reduzindo as emissões de GEE, promovendo a intensificação da agropecuária, em praticamente todo o território brasileiro. Nos últimos anos houve uma substancial redução das emissões de gases de efeito estufa, principalmente devido a redução do desmatamento. Saímos de 2,1 bilhões de toneladas de CO₂e emitidos no inventário de 2005, para 1,3 milhões de toneladas no inventário de 2010. É um caminho correto. Mesmo não sendo discutido no texto, as metas previstas pelo INDC e comprometidas na COP 21 em Paris, já estão em andamento, principalmente no que diz respeito ao plano ABC (Agricultura de baixa emissão de carbono). Mas a questão principal é que o país está vulnerável, e caso não se consiga reduzir as emissões que hoje são responsáveis pela concentração de 410 ppm de CO₂ na atmosfera, poderemos nos próximos 20 anos atingir patamares superiores a 1,5°C, que foi o estabelecido em Paris. As consequências disso, seriam ameaça a segurança alimentar, e em alguns caso mais críticos, aumento da crise hídrica no País. O fato é que possuímos leis, planos, programas, recursos, estudos etc, mas pouca implementação. É preciso ficar claro que o problema das mudanças do clima tem efeito global, mas as soluções são locais. É preciso agir rápido para minimizar o aquecimento global nas próximas décadas.

Referências

AMBRIZZI, T.; ROCHA, R.; MARENGO, J. A.; PISNITCHENKO, I.; ALVES, L.; FERNANDEZ, J. P. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: projeções de clima usando três modelos regionais (Relatório 3)**. Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, fev. 2007.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q. Mudanças climáticas e a produção de grãos no Brasil: avaliação dos possíveis impactos. **Revista Plenarium**, p. 96-117, 2008.

ASSAD, E. D.; OLIVEIRA, A.F.; NAKAI, A.M.; PAVÃO, E.; PELLEGRINO, G.; MONTEIRO, J.E. Impactos e vulnerabilidades da agricultura brasileira às mudanças climáticas. In: _____. **Modelagem climática e vulnerabilidades setoriais à mudança do clima no Brasil**. Brasília: MCTI, cap.4, p. 127-187. 2016.

ASSAD, E.D.; RIBEIRO, R. R. R.; NAKAI, A.M. Assesments and how an increase in temperature may have an impact on agriculture in Brazil and mapping of the current and futures situations. In: NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. (Ed.) **Climate Change Risks in Brazil**. Switzerland: Springer Nature Switzerland AG. chapter 3. p. 31-65. 2019.

ARTAXO, P. J. V.; MARTINS, M. A.; YAMASOE, A. S.; PROCOPIO, T. M.; PAULIQUEVIS, M. O.; ANDREAE, P. G.; GATTI, L. V.; LEAL, A. M. C. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry seasons in Rondônia, **Amazônia**, 107, 8081, 2002.

Da MATTA, F. M.; GRANDIS, A.; ARENQUE, B. C.; BUCKERIDGE, M. S. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. **Food Res Intern.**, n. 43, p. 1814-1823. 2010.

DIAS, P. L. S.; TURC, B.; DIAS, M. A. F. S.; BRACONNOT, P.; JORGETTI, T. Mid-Holocene climate of tropical South America: a Model-Data approach. In: VIMEUX, F.; SYLVESTRE, F.; KHODRI, M. (Eds.). **Past climate variability in South America and surrounding regions**. Berlin: Springer, p. 259-281. 2009.

FAO. **The impact of natural hazards and disasters on agriculture and food security and nutrition**. Rome, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4434e.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Climate change and plant diseases. **Scientia Agrícola**, n. 65, p. 98 - 107. 2008. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000700015>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V.; MARENGO, J.; GHINI, R. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 27-73. 2008.

IPCC. **Climate change 2007: synthesis report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. (eds.) Geneva: IPCC, 2007. 104 p.

IPCC. **Climate change 2014: synthesis report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (eds.) Geneva: IPCC, 2014. 151 p.

MARENGO, J. A. **Caracterização do clima no Século XX e cenários climáticos no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos modelos globais de clima do IPCC (Relatório 1)**. Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, fev. 2006.

MARENGO, J. A.; ALVES, L.; VALVERDE, M.; ROCHA, R.; LABORBE, R. **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: projeções de clima futuro usando três modelos regionais (Relatório 5)**. Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, fev. 2007.

MARGULIS, S.; DUBEUX, C. B. S. **Economia da mudança do clima no Brasil: custos e oportunidades**. São Paulo: IBEP, 2010.

MCT, Ministério de Ciência e Tecnologia. **Inventário de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal**. Brasília: MCT, 1994.

MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa não controladas pelo Protocolo de Montreal: comunicação inicial do Brasil, parte II**. Brasília: MCT, 2004.

MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**. Informações gerais e valores preliminares. Brasília: MCT, 2009.

MCTI, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Terceira comunicação nacional**. Brasília: MCT, 2004. Disponível em: <<http://sirene.mcti.gov.br/publicacoes>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

MCTIC, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação. **Brazil's Third Biennial Update Report to United Nations Framework Convention on Climate Change** – UNFCCC. Brasil. 2019. Disponível em: <https://sirene.mctic.gov.br/portal/export/sites/sirene/backend/galeria/arquivos/2019/05/31/20180228_BRABUR3_ENG_FINAL.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2020.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, INMET, 2009.

NOBRE, C. A.; SALAZAR, L. F.; OYAMA, M. E. **Mudanças climáticas e alterações nos biomas da América do Sul até 2100** (Relatório 6). Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, fev. 2007.

PBMC, Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Base científica das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. In: AMBRIZZI, T., ARAUJO, M. (eds.). Rio de Janeiro: COPPE/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014. 464 p.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JR, J.; EVANGELISTA, S. R. M.; OTAVIAN, A. F.; AVILA, A. M. H. de; EVANGELISTA, B. A.; MARIN, F. R.; MACEDO JR, C.; PELLEGRINO, G. Q.; COLTRI, P. P.; CORAL, G. O papel do agronegócio da economia brasileira. In: DECONTO, J. G. (Org.). **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. 2 ed. Campinas: Embrapa, 2008.

PORTER, J.R.; XIE, L.; CHALLINOR, A.J.; COCHRANE, K.; HOWDEN, S.M.; IQBAL, M.M.; LOBELL, D.B.; TRAVASSO, M.I. Food security and food production systems. In: FIELD, C.B.; BARROS, V.R.; DOKKEN, D.J.; MACH, K.J.; MASTRANDREA, M.D.; BILIR, T.E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K.L.; ESTRADA, Y.O.; GENOVA, R.C.; GIRMA, B.; KISSEL, E.S.; LEVY, A.N.; Mac CRACKEN, S.; MASTRANDREA, P.R.; WHITE, L.L. (eds.). **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, chapter 7, p. 485-53. 2014.

PORTO de CARVALHO, J. R.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. Kalman filter and correction of the temperatures estimated by PRECIS model. **Atmospheric Research**, v. 102, n. 1 - 2, p. 218-226, 2011.

SILVA, V. P. da; VALENTIM, J. F.; VIANNA, M.; ASSAD, E. D. When enough should be enough: improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. **Global Environmental Change**, n. 28, p. 84 – 97, 2014.

CAPÍTULO

4

Caracterização da Seca Meteorológica no Estado do Tocantins

José Luiz Cabral da Silva Júnior¹; Daniel Lima Batista²; Juliana da Costa Santos³.

¹Prof. Dr. da Universidade Estadual do Tocantins - UNITINS; ²Engenheiro Ambiental, empresa BRK Ambiental I Saneatins; ³Engenheira Ambiental, Universidade Federal do Tocantins - UFT

1 - Introdução

O Estado do Tocantins ainda apresenta uma grande carência de informações e investimentos que possam auxiliar para um entendimento melhor sobre o clima e os fenômenos naturais de suas regiões e localidades. O Tocantins tem sua economia voltada para a pecuária de corte, agricultura e atualmente a fruticultura. A geração de conhecimento sobre fenômenos atmosféricos no Estado tem fomentado e subsidiado a cadeia produtiva alimentar, o planejamento agrícola, a prevenção e mitigação dos efeitos extremos dos fenômenos naturais, tais como a seca meteorológica.

A seca é um fenômeno meteorológico natural, gradual, que depende das condições climáticas que podem afetar a sua ocorrência, intensidade e impactos. Tendo o caráter nitidamente regional, reflete características meteorológicas, hidrológicas e socioeconômicas singulares, bem como os seus impactos (WILHITE, 1985; THEIS; RENCK, 2002, QUIRING, 2009).

O Índice Padronizado de Precipitação (SPI) é uma das ferramentas mais adequadas para quantificação da seca, sob o ponto de vista meteorológico. Tal quantificador vem sendo utilizado em diversos países do mundo, nos programas e ações governamentais de combate e mitigação à seca, entre eles, McKEE *et al.* (1993) que desenvolveram o índice SPI onde se quantifica o déficit ou o excesso de precipitação para diferentes escalas de tempo, tais como: mensal, trimestral, semestral e bienal. Este índice é capaz de monitorar essa anomalia meteorológica em diversas escalas de tempo, reconhecendo, portanto, diferentes tipos de seca em sua análise (BLAIN; BRUNINI, 2007).

Diante da necessidade de fornecer informações sobre a ocorrência das secas e suas características temporais no estado do Tocantins, o presente estudo buscou utilizar o Índice de Precipitação padronizado – SPI para a caracterização de períodos secos em diversas localidades do Estado.

2 - Procedimentos Metodológicos

2.1 - Estações pluviométricas homogêneas

Para a determinação da evolução temporal do índice SPI foram utilizadas séries climatológicas de precipitação mensal em 55 estações pluviométricas homogêneas no estado do Tocantins pertencentes à rede hidrológica nacional do banco de dados *on line* Hidro-web da Agência Nacional de Águas – ANA (Tabela 1).

Foi calculado o índice SPI na escala temporal: SPI – 3 meses (Outubro-Novembro-Dezembro) e (Janeiro-Fevereiro-Março); SPI – 6 meses (Outubro à Março) para as séries históricas de cada estação pluviométricas.

Após esta etapa os valores obtidos com o SPI foram agrupados em oito microrregiões, do Tocantins, conforme divisão do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, e o valor médio do SPI para as estações meteorológicas em sua microrregião representaram a evolução temporal do índice SPI por microrregião.

Tabela 1 - Identificações das estações pluviométricas (rede Hidrométrica – ANA) utilizadas no estado do Tocantins, suas coordenadas em décimos de graus e série histórica

Código	Nome	Lat(°)	Long(°)	Série histórica	Código	Nome	Lat(°)	Long(°)	Série histórica
547002	Itaguatins	-5,71	-47,05	1969 – 1990	950000	Caseara	-9,26	-49,95	1980 – 2009
548000	Araguatins	-5,63	-48,2	1974 – 2009	950002	Cangussu	-9,96	-49,46	1984 – 2009
548001	São Sebastião do TO	-5,25	-48,2	1984 – 2009	1047000	Jatobá	-9,98	-47,46	1974 – 2009
647000	Tocantinópolis	-6,28	-47,38	1969 – 2009	1047001	Novo Acordo	-9,95	-47,66	1972 – 2009
647001	Wanderlândia	-6,83	-47,96	1973 – 2009	1047002	Porto Girândia	-10,78	-47,79	1970 – 2009
648000	Xambioá	-6,4	-48,53	1969 – 2009	1047004	Ponte Alta do TO	-10,76	-47,53	1984 - 2009
648001	Ananás	-6,35	-48,66	1974 – 2009	1048000	Fátima	-10,75	-48,9	1972 - 2009
648002	Piraque	-6,66	-48,46	1974 – 2009	1048001	Paraíso do TO	-10,15	-48,88	1972 - 2009
649003	Porto Lemos	-6,86	-49,83	1985 – 2009	1048005	Taquarussu do Porto	-10,3	-48,15	1976 - 2009
747001	Goiatins	-7,7	-47,3	1972 – 2009	1048001	Pium	-10,43	-49,21	1983 - 2009
747009	palmeirante	-7,85	-47,85	1984 – 2009	1146000	Dianópolis	-11,61	-46,8	1972 - 2009
748001	Colônia	-7,86	-48,87	1973 – 2009	1147000	Almas	-11,56	-47,16	1974 - 2009
748002	Faz. Primavera	-7,55	-48,41	1974 – 2009	1147001	Natividade	-11,68	-47,71	1974 - 2009
748003	Muricilândia	-7,15	-48,46	1974 – 2009	1147002	Pindorama do TO	-11,13	-47,56	1974 - 2009

Continua...

Continuação

Código	Nome	Lat(°)	Long(°)	Série histórica	Código	Nome	Lat(°)	Long(°)	Série histórica
749000	Arapoema	-7,65	-49,5	1974 – 2009	1147003	Porto Alegre	-11,6	-47,33	1975 - 2009
749001	B. V. do Araguaia	-7,51	-49,35	1983 – 2009	1148000	Faz. Lobeira	-11,51	-48,28	1970 - 2009
847001	Itacajá	-8,63	-47,75	1973 – 2009	1149000	Dueré	-11,33	-49,26	1974 - 2009
847002	Campos Lindos	-7,96	-46,8	1984 – 2009	1149001	Formoso do Araguaia	-11,8	-49,51	1974 - 2009
848000	Colinas do TO	-8,5	-48,46	1972 – 2009	1149002	Gurupi	-11,73	-49,13	1972 - 2009
848001	Guaraí	-8,81	-48,51	1973 – 2009	1246000	Ponte Alta do Bom Jesus	-12,83	-46,46	1974 - 2009
848002	Itaporã do TO	-8,56	-48,68	1973 – 2009	1246001	Aurora do TO	-12,7	-46,4	1974 - 2009
848003	Tupiratins	-8,38	-48,11	1969 – 2009	1247000	Conceição do TO	-12,21	-47,31	1974 - 2009
849002	Araguacema	-8,8	-49,55	1974 – 2009	1247002	Rio da Palma	-12,4	-47,18	1974 - 2009
946003	Lizarda	-9,58	-46,66	1973 – 2009	1247005	Faz. Santa Rita	-12,58	-47,48	1984 - 2009
947001	Mansinha	-9,45	-47,31	1983 – 2009	1248001	Colonha	-12,38	-48,7	1974 - 2009
948000	Miracema do TO	-9,55	-48,38	1970 - 2009	1248003	Palmeirópolis	-13,33	-48,4	1978 - 2009
948001	Porto Real	-9,3	-47,91	1970 – 2009	1249000	Alvorada	-12,46	-49,11	1972 - 2009
949000	Abreulândia	-9,61	-49,15	1974 – 2009	1249001	Araguaçu	-12,91	-49,81	1974 - 2009
949001	Dois Irmãos do TO	-9,25	-49,5	1974 – 2009	1249002	Projeto Rio Formoso	-11,83	-49,76	1981 - 2007
					1249003	Barreira do Pequi	-12,83	-49,93	1984 - 2009

2.1 - Estimativa do Índice SPI

O SPI baseia-se na padronização da precipitação, correspondendo ao desvio da precipitação em relação à média para um período de tempo específico, dividido pelo desvio padrão do período, ou seja, representa o número de desvios padrão que o valor observado se desvia em relação à média, para uma variável aleatória normalmente distribuída segundo Mckee *et al.* (1993).

De acordo com Domingos (2006), matematicamente, o SPI corresponde à probabilidade cumulativa de um determinado acontecimento de precipitação ocorrer numa estação. O resultado computacional da precipitação padronização é linearmente proporcional ao déficit de precipitação e permite especificar a probabilidade, a percentagem da média e o déficit de precipitação acumulada.

i) Função de densidade de probabilidade

O cálculo do SPI consiste inicialmente em ajustar a função densidade de probabilidade gama, a uma dada distribuição de frequência do total de precipitação para uma dada estação. A distribuição gama é dada por:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$a > 0$, parâmetro de forma.

$\beta > 0$, parâmetro de escala.

$X > 0$, quantidade de precipitação.

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy, \text{ Função Gama} \quad \text{Equação (2)}$$

Os parâmetros a e β da função densidade de probabilidade gama, são estimados para cada estação para as escalas de tempo que interessam estudar e para cada mês do ano. Utilizam-se as soluções de máxima verossimilhança (THOM, 1966) para estimar a e β :

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad \text{Equação (3)}$$

$$\beta = \frac{x}{\alpha} \quad \text{Equação (4)}$$

$$\text{Onde: } A = \ln(x) - \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}. \quad \text{Equação (5)}$$

" n ", número de observações da precipitação e x é o valor médio dos dados de precipitação.

ii) Probabilidade cumulativa da quantidade de precipitação

Os parâmetros resultantes são utilizados para determinar a probabilidade cumulativa de um evento de precipitação observado para um determinado mês e para a escala de tempo desejada para uma dada estação.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad \text{Equação (6)}$$

Fazendo $t = x / \beta$, a equação de função gama, transforma-se na função gama incompleta:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-t} dx \quad \text{Equação (7)}$$

Visto a função gama $\Gamma(a)$ não estar definida para $x = 0$ e a distribuição de precipitação poder conter zeros, a probabilidade cumulativa toma o seguinte aspecto:

$$H(x) = q + (1 - q) G(x) \tag{Equação (8)}$$

Onde: q é a probabilidade de ter um zero. Se m for o número de zeros numa série de precipitação, Thom (1966) estipulou que q pode ser estimado por $\frac{m}{n}$.

iii) Padronização dos cálculos do SPI

A precipitação é a variável da função de distribuição gama. A função vai ter um desvio padrão e uma média que vão depender da precipitação característica da área.

De acordo com Domingos (2006), tem de se determinar o que é uma quantidade normal de chuva em cada zona, porque o normal para a estação A pode não ser o normal para a estação B . A solução consiste em transformar a função de probabilidade cumulativa gama, numa variável aleatória normalizada (Z) com média 0 e desvio padrão 1 . Deste modo obtém-se uma nova variável e a transformação é efetuada de maneira que cada valor da quantidade de precipitação na função gama, irá ter um valor correspondente na nova função Z . Assim, a probabilidade de a precipitação ser menor ou igual que qualquer quantidade de precipitação, será a mesma que a probabilidade que a nova variável seja menor ou igual que o valor correspondente à respectiva quantidade de precipitação.

A probabilidade cumulativa $H(x)$ é então transformada na variável aleatória normalizada (Z) com média 0 e desvio padrão 1 , que corresponderá ao valor de SPI. Este valor de Z ou SPI é obtido computacionalmente, usando uma aproximação descrita em Abramowitz; Stegun (1965) citado por Domingos (2006), que converte a probabilidade cumulativa na variável aleatória normalizada (Z).

$$Z = \text{SPI} = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0 < H \leq 0.5 \tag{Equação (9)}$$

$$Z = \text{SPI} = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0.5 < H(x) \leq 1.0 \tag{Equação (10)}$$

Onde: $t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)}$ para $0 < H(x) \leq 0.5$ Equação (11)

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)}$$
 para $0.5 < H(x) \leq 1.0$ Equação (12)

$C_0 = 2.515517$; $C_1 = 0.802853$; $C_2 = 0.010328$; $d_1 = 1.432788$; $d_2 = 0.189269$; $d_3 = 0.001130$

Quando ocorre evento seco, o SPI é igual ou menor a -1 e tem seu fim quando o índice torna-se positivo. Dentro de sua escala os valores menores ou iguais a -2 indicam seca extrema e os maiores ou iguais a 2 unidades extremas (Tabela 2).

Tabela 2 - Classificações dos períodos secos e úmidos do Índice de Precipitação Padronizado - SPI, segundo (McKee, 1993)

Escala - SPI	Categoria
$\geq 2,00$	Extremamente úmido
1,5 a 1,99	Muito úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente úmido
0,99 a -0,99	Próximo ao normal
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco
-1,50 a -1,99	Muito seco
$\leq -2,00$	Extremamente seco

3 - Resultados

3.1 - Evolução temporal do Índice de Seca nas Microrregiões do Tocantins

3.1.1 - Microrregião de Araguaína

Os valores do índice SPI para a microrregião de Araguaína foi composto por base na média dos dados das estações pluviométricas de Arapoema, Muricilândia, Piraquê, Porto Lemos, Wanderlândia e Xambioá.

Na Figura 1 encontram-se representadas as séries temporais SPI – 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) para a microrregião de Araguaína. Verifica-se uma maior ocorrência de valores secos para a série histórica da Microrregião de Araguaína, porém com maior ocorrência de períodos positivos (úmidos) com valores extremos. O SPI atingiu valor inferior a -1,0 em apenas uma ocasião nas duas escalas temporais. Considerando-se as duas escalas temporais SPI – 3 meses os principais períodos secos para a série histórica da microrregião de Araguaína foram:

- SPI – 3 meses (OUT-DEZ), no ano de 1991, o valor SPI (-1,34) é considerado como *Moderadamente Seco (Mos)*. O ano de 1982 apresentou valor SPI (-0,98).
- SPI – 3 meses (JAN-MAR), não apresentou valores abaixo de -1,0, porém o ano de 1984 registrou valor SPI (-0,98).

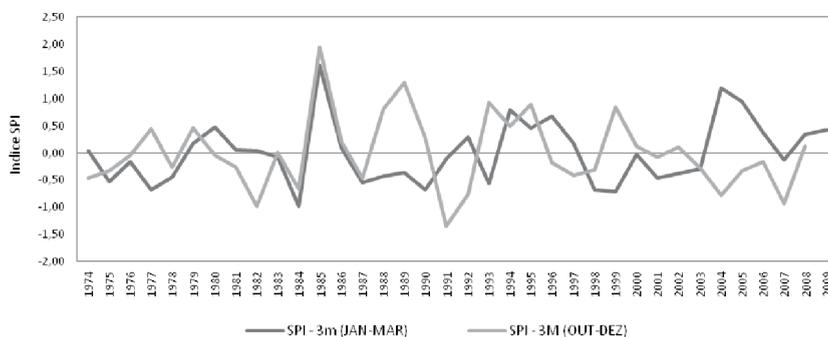


Figura 1- Evolução temporal do SPI- 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) para a série histórica (1974 – 2009) na microrregião de Araguaína

Na Figura 2 é apresentada a evolução temporal do índice SPI – 6 meses (OUT-MAR) para a microrregião de Araguaína. Nesta escala temporal verificou-se grande oscilação entre períodos positivos (úmidos) e negativos (secos), porém também com uma maior ocorrência de eventos negativos.

Como evidenciado nas escalas SPI – 3 meses para a mesma microrregião, houve uma maior ocorrência de extremos positivos (úmidos). Não foram registrados valores abaixo de -1,0. O maior extremo negativo registrado ocorreu no período 1992/93 com valor SPI (-0,83).

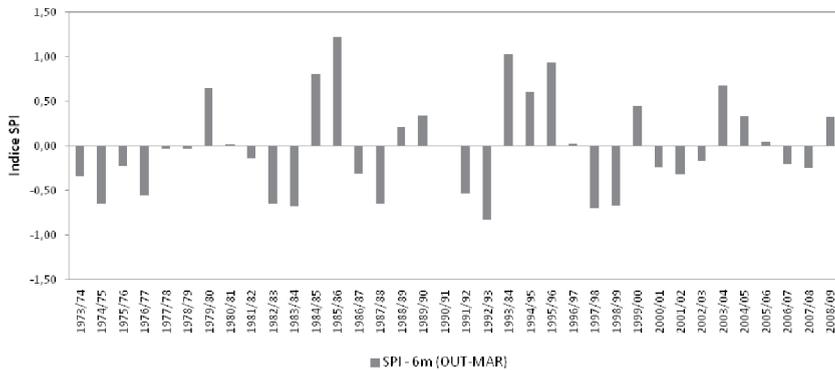


Figura 2 - Evolução temporal do SPI- 6 meses (OUT-MAR) para a série histórica (1973/74 – 2008/09) na microrregião de Araguaína.

3.1.2 - Microrregião do Bico do Papagaio

Os valores do índice SPI para a microrregião do Bico do Papagaio representam a média dos dados das estações pluviométricas de Ananás, Araguatins, Itaguatins, São Sebastião do Tocantins e Tocantinópolis.

São apresentadas na Figura 3 as séries temporais SPI – 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) para a microrregião do Bico do Papagaio, visualizando-se a evolução temporal do índice SPI. Onde verificou-se uma maior ocorrência de valores negativos para as escalas temporais SPI – 3 meses.

Uma maior ocorrência de eventos negativos foi notada na década de 80 com o índice SPI atingindo alguns valores abaixo de -1,0, conforme Figura 3. Considerando as escalas temporais SPI – 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) os eventos negativos abaixo de -1,0 e mais significativos para a microrregião do Bico do Papagaio estão descrito a seguir.

- SPI – 3 meses (OUT-DEZ), no ano de 1971 com valor SPI (-1,34), o ano de 1982 com valor SPI (-1,34) e 1992 com valor SPI (-1,41), todos considerados como períodos “*Moderadamente Seco*” (*Mos*). O ano de 1991 apresentou valor SPI (-1,56) período considerado “*Muito Seco*” (*MuS*).

- SPI – 3 meses (JAN-MAR), apresentou os anos de 1972, 1981, 1987 e 1993 com valores SPI respectivos (-1,02), (-1,01), (-1,43) e (-1,17), considerados períodos “Moderadamente Seco” (MoS).

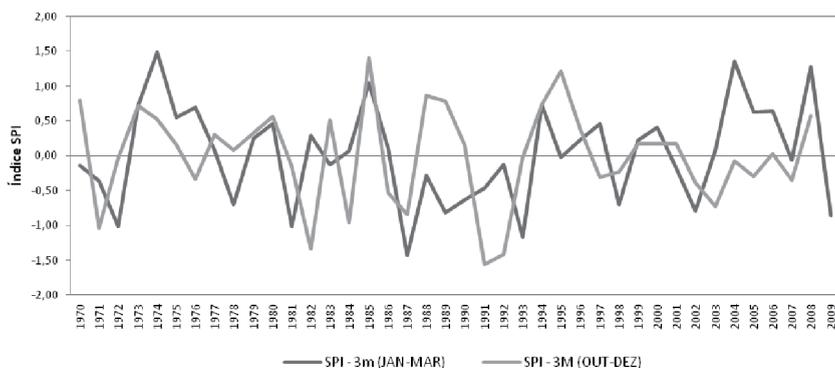


Figura 3 - Evolução temporal do SPI- 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) para a série histórica (1970 – 2009) na microrregião do Bico do Papagaio

A análise para a escala temporal que representa todo o período chuvoso (Outubro a Março) de forma a se verificar a evolução temporal do índice SPI – 6 meses (OUT-MAR) para a microrregião do Bico do Papagaio é apresentado na Figura 4.

Nesta escala temporal pode-se verificar grande incidência de períodos secos no fim da década de 80 e início da década de 90. E ainda um evento isolado no início da série histórica no período de 1971/72. Os eventos registrados com valores SPI abaixo de -1,0 ocorreram nos períodos de 1971/72 com valor SPI (-1,26), e 1992/93 com valor SPI (-1,39) considerados como períodos moderadamente Seco (MoS).

A escala temporal SPI – 6 meses acompanhou a tendência dos eventos negativos e positivos para os períodos menores dentro dos períodos 6 meses. As secas de 1971 para (OUT-DEZ) e 1972 para (JAN-MAR) refletiram na seca registrada para a escala 6 meses (OUT-MAR), Assim como no período 1992/93.

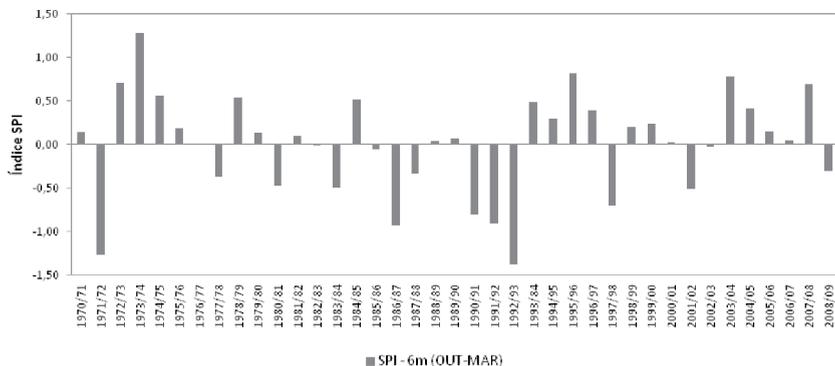


Figura 4 - Evolução temporal do SPI- 6 meses (OUT-MAR) para a série histórica (1970/71 – 2008/09) na microrregião do Bico do Papagaio

3.1.3 - Microrregião de Dianópolis

Os valores do índice SPI para a microrregião de Dianópolis representam a média dos dados das estações pluviométricas de Almas, Aurora do Norte, conceição do Tocantins, Dianópolis, Faz. Santa Rita, Natividade, Pindorama do Tocantins, Ponte Alta do Bom Jesus e Porto Alegre do Tocantins e Rio da Palma.

Na Figura 5 encontram-se representadas as séries temporais SPI – 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) para a microrregião de Dianópolis, visualizando-se a evolução temporal do índice SPI.

Nesta microrregião foi verificada, de acordo com a Figura 5, uma maior ocorrência de valores positivos (úmidos) para as escalas SPI – 3 meses. Os valores mais negativos (secos) foram verificados nos inícios das décadas de 80 e 90 e ainda extremos para os períodos de 2004 a 2007. Abaixo são apresentados os principais eventos secos verificados nos valores para o índice SPI.

- SPI – 3 meses (OUT-DEZ), no ano de 1982 e 1984 com valores SPI (-1,13) e (-1,05) respectivamente, ainda o ano de 2007 com valor SPI (-1,27) todos considerados como períodos *Moderadamente Seco (MoS)*.
- SPI – 3 meses (JAN-MAR), apresentou os anos de 1990 e 1993 com valores SPI respectivos (-1,29) e (-1,43), considerados períodos *Moderadamente Seco (MoS)*. Ainda o ano de 2009 com valore expressivo SPI (-0,98).

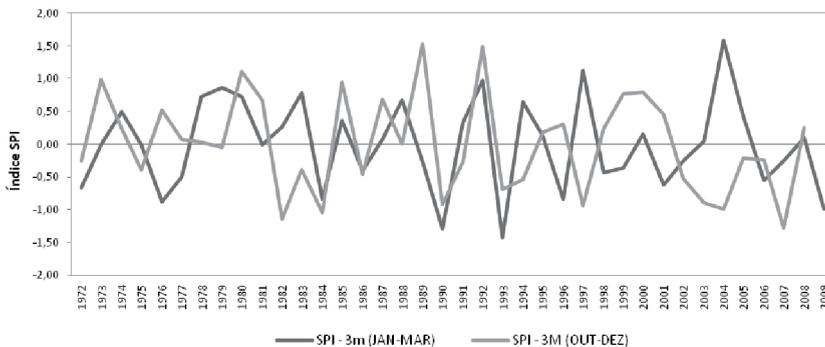


Figura 5 - Evolução temporal do SPI- 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) para a série histórica (1972 – 2009) na microrregião de Dianópolis

Na Figura 6 é apresentada a análise para a escala temporal que representa todo o período chuvoso (Outubro a Março) de forma a se verificar a evolução temporal do índice SPI – 6 meses (OUT-MAR) para a microrregião de Dianópolis.

De acordo ainda com a Figura 6 verificam-se ocorrências isoladas de valores extremos negativos, e uma maior incidência a partir do período 2004/05. Uma maior quantidade de períodos positivos foi registrada. Os eventos abaixo de -1,0

foram registrados nos períodos 1975/76 com valor SPI (-1,02), no período 1983/84 com valor SPI (-1,10) e ainda no período 1997/98 com valor SPI (-1,10), todos classificados como períodos *Moderadamente Seco (MoS)*. Os períodos secos registrados na escala SPI – 6 meses não se refletiram nos períodos registrados nas escalas SPI – 3 meses para os mesmos períodos.

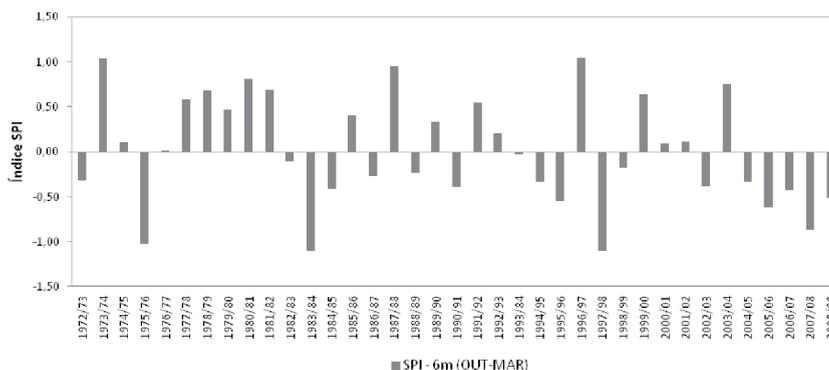


Figura 6 - Evolução temporal do SPI- 6 meses (OUT-MAR) para a série histórica (1972/73 – 2008/09) na microrregião de Dianópolis

A escala temporal SPI – 6 meses também acompanhou as tendências dos eventos negativos e positivos para os períodos menores dentro dos períodos de 6 meses. As secas de 1984 para (OUT-DEZ) refletiu na seca registrada para a escala SPI - 6 meses (OUT-MAR) 1983/84. Ainda períodos secos de 1975/76 e 1997/98 foram melhores representados nesta escala temporal, não atingindo valores inferiores a -1,0 para as escalas SPI - 3 meses. Outras ocorrências de secas nas escalas SPI – 3 meses não obtiveram mesmo resultado na escala SPI - 6 meses para o mesmo período.

3.1.4 - Microrregião de Gurupi

Os valores do índice SPI para a microrregião de Gurupi representam a média dos dados das estações meteorológicas de Alvorada, Colonha, Dueré, Gurupi e Palmeirópolis.

Na Figura 7 encontram-se representadas as séries temporais SPI – 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) para a microrregião de Gurupi, visualizando-se a evolução temporal do índice SPI.

De acordo com a Figura 7 verificou-se uma maior ocorrência de valores negativos (secos) para a escala SPI – 3 meses (OUT-DEZ) e positivos (úmidos) para a escala temporal SPI – 3 meses (JAN-MAR). Os eventos secos foram verificados ao longo de toda a série histórica para a microrregião de Gurupi. Uma maior frequência de eventos secos foi registrada na década de 90 para a escala SPI – 3 meses (OUT-DEZ). Ainda registraram-se picos de eventos secos na década de 80.

São apresentados a seguir os principais eventos secos verificados nos valores SPI para a série histórica da microrregião de Gurupi.

- SPI – 3 meses (OUT-DEZ), nos anos de 1982 e 1984 com valores SPI (-1,21) e (-1,16) respectivamente, considerados como períodos *Moderadamente Seco (MoS)*.

A proximidade territorial da microrregião de Gurupi com a microrregião de Dianópolis pode explicar a influência do período seco nos mesmos anos e para as mesmas escalas temporais e a influência da seca em toda a extensão territorial.

- SPI – 3 meses (JAN-MAR), apresentou valores secos para os anos de 1976 (-1,09), 1984 (-1,18), 1990 (-1,03), 1993 (-1,03) e em 1999 com valor SPI (-1,36), todos períodos considerados como *Moderadamente Seco (MoS)*.

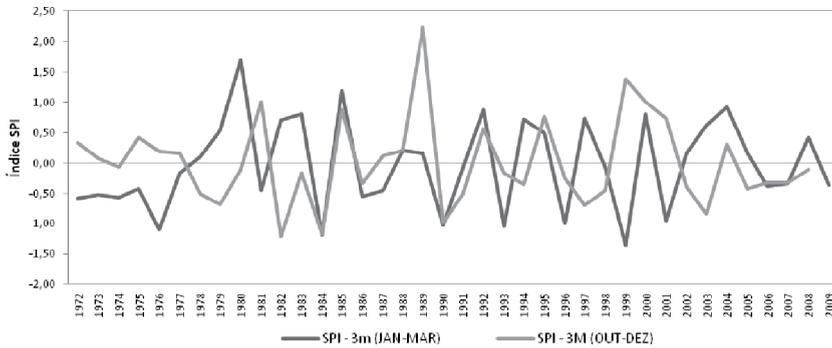


Figura 7 - Evolução temporal do SPI - 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) para a série histórica (1972 – 2009) na microrregião de Gurupi

Na Figura 8 é apresentada a análise para a escala temporal que representa todo o período chuvoso (Outubro a Março) de forma a se verificar a evolução temporal do índice SPI – 6 meses (OUT-MAR) para a microrregião de Gurupi.

De acordo com a Figura 8 verificam-se ocorrências isoladas de valores extremos negativos, e uma maior incidência de extremos positivos (úmidos). Os eventos abaixo de -1,0 foram registrados nos períodos de 1983/84 com valor SPI (-1,06), 1998/99 com valor SPI (-1,36) classificados como períodos *Moderadamente Seco (MoS)*. Os períodos secos registrados na escala SPI – 6 meses tiveram influência direta de períodos registrados nas escalas SPI – 3 meses (JAN-MAR) para a microrregião de Gurupi.

A escala temporal SPI – 6 meses também acompanhou as tendências dos eventos negativos e positivos para os períodos menores para a microrregião de Gurupi. As secas de 1983/84 e 1998/99 refletiram as secas registrada para a escala SPI - 3 meses (OUT-MAR) e (JAN-MAR) respectivamente. Outras ocorrências de secas nas escalas SPI – 3 meses não obtiveram mesmo resultado na escala SPI - 6 meses para o mesmo período.

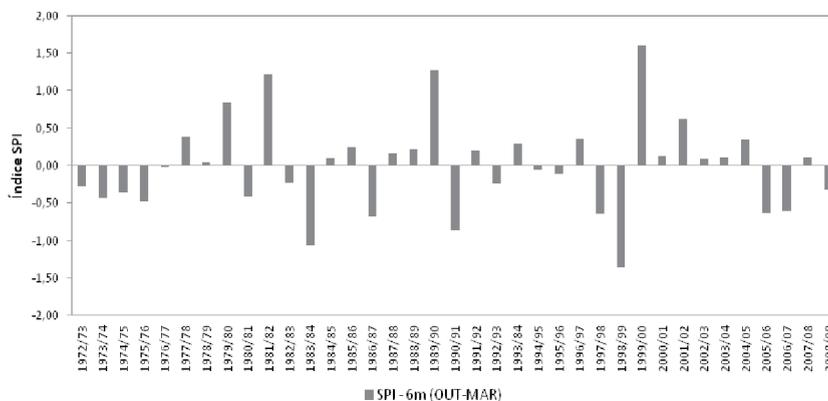


Figura 8 - Evolução temporal do SPI- 6 meses (OUT-MAR) para a série histórica (1972/73 – 2008/09) na microrregião de Gurupi

3.1.5 - Microrregião do Jalapão

Os valores do índice SPI para a microrregião do Jalapão representam a média dos dados das estações meteorológicas de Itacajá, Jatobá, Lizarda, Mansinha, Novo Acordo, Palmeirante e Ponte Alta do Tocantins.

Na Figura 9 é apresentado os valores SPI para as séries temporais SPI – 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) para a microrregião do Jalapão, visualizando-se a evolução temporal do índice SPI nestas escalas temporais.

De acordo com a Figura 9 verificou-se uma maior ocorrência de valores negativos (secos) para a escala SPI – 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR). Os eventos secos foram verificados ao longo de toda a série histórica para a microrregião do Jalapão.

Uma maior frequência de eventos secos foi registrada a partir da década de 90 para as duas escalas temporais. Ainda registraram-se picos de eventos secos no início da década de 80. São apresentados a seguir os principais eventos secos verificados nos valores SPI para as escalas SPI – 3 meses na série histórica da microrregião do Jalapão.

- SPI – 3 meses (OUT-DEZ), nos anos de 1982, 1991 e 2007 com valores SPI (-1,28), (-1,11) e (-1,17) respectivamente, considerados como períodos *Moderadamente Seco (Mos)*.
- SPI – 3 meses (JAN-MAR), apresentou valor seco para o ano de 1972 com valor SPI (-1,43), período considerado como *Moderadamente Seco (MoS)*. Ainda verificou-se o ano de 1984 com valor SPI (-0,94), bastante negativo.

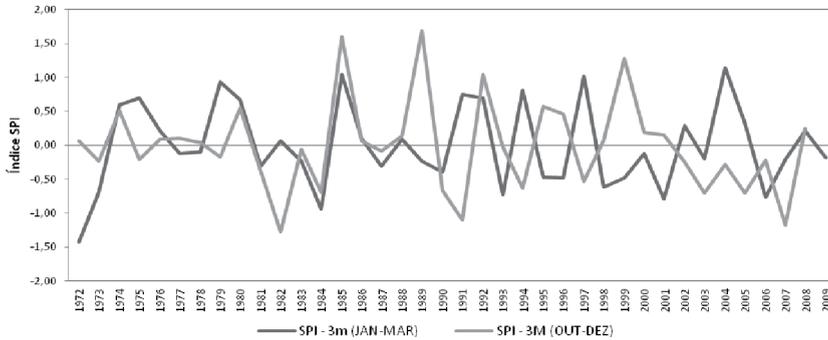


Figura 9 - Evolução temporal do SPI- 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) para a série histórica (1972 – 2009) na microrregião do Jalapão

Na Figura 10 é apresentada a análise para a escala temporal que representa todo o período chuvoso (Outubro a Março) de forma a se verificar a evolução temporal do índice SPI – 6 meses (OUT-MAR) para a microrregião do Jalapão.

De acordo com a Figura 10 verificam-se uma maior ocorrência de valores negativos. Os principais eventos foram registrados com maior frequência a partir da metade da década de 90. Os eventos abaixo de -1,0 foram registrados apenas no período de 2005/06 com valor SPI (-1,02), classificado como período *Moderadamente Seco (MoS)*. Os períodos secos registrados na escala SPI – 6 meses não tiveram influência direta de períodos registrados nas escalas SPI – 3 meses (JAN-MAR) e SPI – 3meses (JAN-MAR) para a microrregião do Jalapão.

A escala temporal SPI – 6 meses também representou as tendências dos eventos negativos e positivos para os períodos menores Na microrregião do Jalapão. As secas de 1984 para (OUT-DEZ) refletiu na seca registrada para a escala SPI - 6 meses (OUT-MAR) 1893/84. Ainda períodos secos de 1975/76 e 1997/98 foram melhores representados nesta escala temporal, não atingindo valores inferiores a -1,0 para as escalas SPI - 3 meses. Outras ocorrências de secas nas escalas SPI – 3 meses não obtiveram mesmo resultado na escala SPI - 6 meses para o mesmo período.

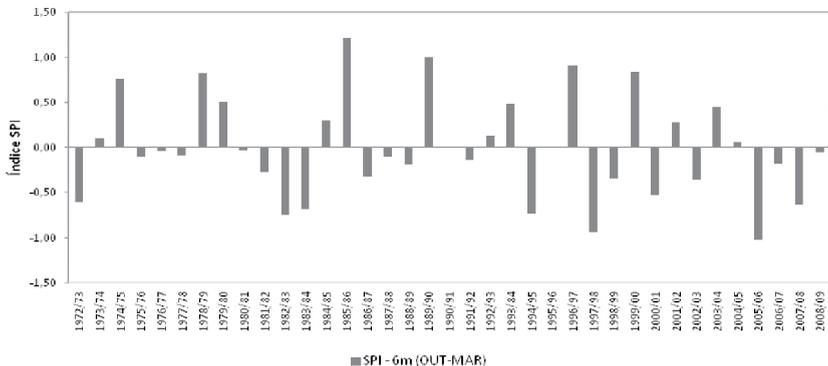


Figura 10 - Evolução temporal do SPI- 6 meses (OUT-MAR) para a série histórica (1972/73 – 2008/09) na microrregião do Jalapão

3.1.6 – Microrregião de Miracema

Os valores do índice SPI para a microrregião de Miracema representam a média dos dados das estações pluviométricas de Abreulândia, Araguacema, Cangussu, Caseara, Colinas do Tocantins, Colônia, Dois Irmãos do Tocantins, Guarai, Itaporã do Tocantins e Tupiratins.

De acordo com a Figura 11 verificou-se uma maior ocorrência de valores negativos (secos) para a escala SPI – 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR). Os eventos secos foram verificados ao longo de toda a série histórica para a microrregião de Miracema.

Uma maior frequência de eventos secos foi registrada a partir do início da década de 90 para as duas escalas temporais, registrando-se também uma diminuição de intensidades de períodos úmidos. Ainda registraram-se picos de eventos secos no início da década de 70. São apresentados a seguir os principais eventos secos verificados nos valores SPI para as escalas SPI – 3 meses na série histórica da microrregião de Miracema

- SPI – 3 meses (OUT-DEZ), nos anos de 1990, 1997 com valores SPI (-1,00) e (-1,21) respectivamente, considerados como períodos *Moderadamente Seco (Mos)*.
- SPI – 3 meses (JAN-MAR), apresentou valor seco para os anos de 1972 com valor SPI (-1,29), 1990 com valor SPI (-1,35), 1996 com valor SPI (-1,21) e o ano de 2001 com valor SPI (-1,11), período considerado como *Moderadamente Seco (MoS)*.

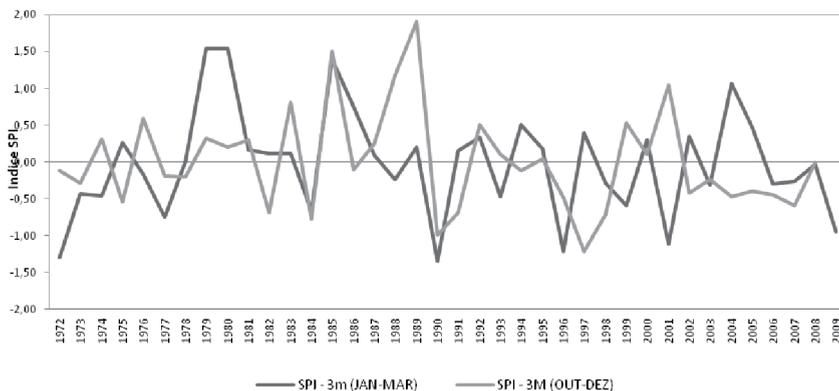


Figura 11 - Evolução temporal do SPI- 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) para a série histórica (1972 – 2009) na microrregião de Miracema

Na Figura 12 é apresentada a análise para a escala temporal SPI – 6 meses (OUT-MAR) que representa todo o período chuvoso (Outubro a Março) de forma a se verificar a evolução temporal do índice para a microrregião de Miracema.

De acordo com a Figura 12 verificam-se uma maior ocorrência de valores negativos para a escala SPI - 6 meses (OUT-MAR). Os principais eventos secos foram registrados com maior frequência a partir da metade da década de 90, fato também encontrado nas escalas SPI - 3 meses para a microrregião de Miracema. Não foram registrados valores SPI abaixo de (-1,0).

Porém foram verificados valores consonantes aos registrados para o mesmo período quando analisados nas escalas SPI de 3 meses. Destacam-se valores negativos consideráveis nos períodos de 1994/95, 1996/97 e 1997/98 com valores SPI abaixo de (-0,80).

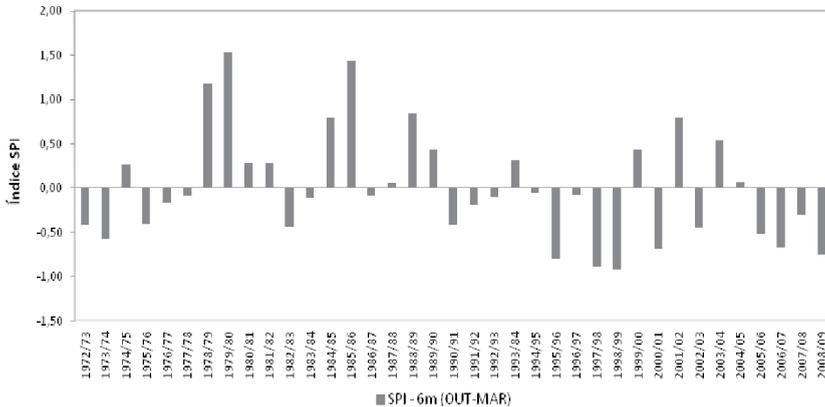


Figura 12 - Evolução temporal do SPI- 6 meses (OUT-MAR) para a série histórica (1972/73 – 2008/09) na microrregião de Miracema

3.1.7 - Microrregião de Porto Nacional

Os valores do índice SPI para a microrregião de Porto Nacional representam a média dos dados das estações pluviométricas de Miracema do Tocantins, Porto Gilândia, Porto Real e Taquarussu do Porto.

Na Figura 13 são apresentados os valores SPI para as séries temporais SPI – 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) para a microrregião de Porto Nacional, verificando-se assim a evolução temporal do índice SPI.

De acordo com a Figura 13 verificou-se uma maior ocorrência de valores negativos (secos) para a escala SPI – 3 meses (JAN-MAR) e maior ocorrência de valores positivos para a escala SPI – 3 meses (OUT-DEZ).

Foram verificados para a microrregião de Porto Nacional os valores mais extremos entre as microrregiões. Verificaram-se picos de eventos secos no início da série histórica (década de 70) e a partir da década de 90 onde se intensificou a ocorrência de eventos secos. São apresentados a seguir os principais eventos secos verificados para as escalas SPI – 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) na série histórica da microrregião de Porto Nacional.

- SPI – 3 meses (OUT-DEZ), nos anos de 1970 com valor SPI (-1,21), considerado como período *Moderadamente Seco (MoS)*, e ainda os anos de 1991 e 2007 com valores SPI (-1,55) e (-1,76) respectivamente, considerados como períodos *Muito Seco (MuS)*.
- SPI – 3 meses (JAN-MAR), apresentou valor seco para os anos de 1971 com valor SPI (-1,60), considerado como período *Muito Seco (MuS)*, e ainda os anos de 1990 com valor SPI (-1,41), 1993 com valor SPI (-1,01) e o ano de 1998 com valor SPI (-1,03), períodos considerados como *Moderadamente Seco (MoS)*.

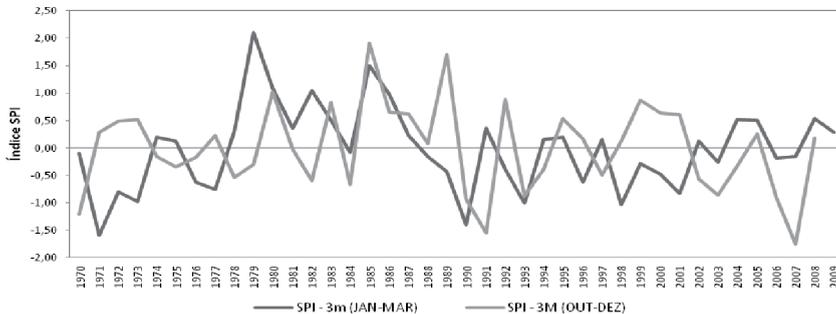


Figura 13 - Evolução temporal do SPI- 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) para a série histórica (1970 – 2009) na microrregião de Porto Nacional

Na Figura 14 é apresentada a análise para a escala temporal SPI – 6 meses (OUT-MAR) que representa todo o período chuvoso (Outubro a Março) de forma a se verificar a evolução temporal do índice para a microrregião de Porto Nacional.

De acordo com a Figura 14 verificam-se uma maior ocorrência de valores negativos para a escala SPI 6 meses (OUT-MAR).

Os principais eventos secos foram registrados com maior freqüência a partir da metade da década de 90 e para o início da série histórica na década de 70. A década de 80 marca um período de maior ocorrência de eventos acima da normal climatológica para a região (úmidos). Em três períodos foram registrados valores SPI abaixo de (-1,0), são eles: 1970/71 com valor SPI (-1,95) caracterizado como período *Muito Seco (MuS)*, 1991/92 valor SPI (-1,31) e 1997/98 valor SPI (-1,19) ambos considerados períodos *Moderadamente Secos (MoS)*. Os valores negativos (Secos) registrados nesta escala temporal foram também registrados para o mesmo período nas escalas menores SPI - 3 meses.

Para a microrregião de Porto Nacional os eventos de seca na escala SPI – 6 meses foram representados nas escalas SPI – 3 meses num mesmo período. Foram os períodos 1970/71, 1991/92 e 1997/98. Outros períodos secos nas escalas SPI - 3 meses não foram verificados na escala SPI - 6 meses.

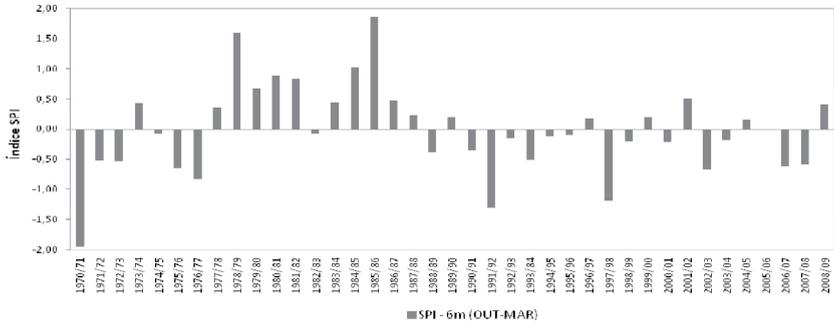


Figura 14 - Evolução temporal do SPI- 6 meses (OUT-MAR) para a série histórica (1970/71 – 2008/09) na microrregião de Porto Nacional

3.1.8 – Microrregião de Rio Formoso

Os valores do índice SPI para a microrregião de Rio Formoso representam a média dos dados das estações pluviométricas de Araguaçu, Barreira do Pequi, Fátima, Formoso do Araguaia, Paraíso do Tocantins, Pium e Projeto rio Formoso.

Na Figura 15 verificou-se uma maior ocorrência de valores negativos (secos) para a escala SPI – 3 meses (JAN-MAR) e SPI – 3 meses (OUT-DEZ). Foram verificados os maiores oscilações para períodos negativos (secos) a partir da década de 90 onde se intensificou a ocorrência de eventos secos. São apresentados a seguir os principais eventos secos verificados para as escalas SPI – 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) na série histórica da microrregião de Rio Formoso.

- SPI – 3 meses (OUT-DEZ), nos anos de 1990 com valor SPI (-1,54), considerado como período *Muito Seco (MuS)*, e o ano de 2007 com valor SPI (-1,01), considerado como período *Moderadamente Seco (MuS)*.
- SPI – 3 meses (JAN-MAR), apresentou valor seco para os anos de 1977 com valor SPI (-1,53), considerado como período *Muito Seco (MuS)*, e ainda o ano de 2001 com valor SPI (-1,00), período considerado como *Moderadamente Seco (MoS)*.

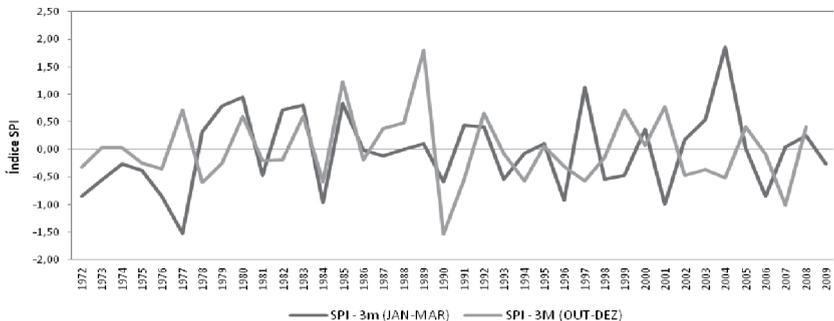


Figura 15 - Evolução temporal do SPI- 3 meses (OUT-DEZ) e (JAN-MAR) para a série histórica (1972 – 2009) na microrregião de Rio Formoso

Na Figura 16 é apresentada a análise para a escala temporal SPI – 6 meses (OUT-MAR) que representa todo o período chuvoso (Outubro a Março) de forma a se verificar a evolução temporal do índice para a microrregião de Rio Formoso.

De acordo com a Figura 16 verificam-se uma maior ocorrência de valores negativos para a escala SPI 6 meses (OUT-MAR). Os principais eventos secos foram registrados com maior frequência no início da década de 70 e a partir da década de 90 com alguns períodos intercalados muito positivos (úmidos). A década de 80 marca um período de maior ocorrência de eventos acima da normal climatológica para a região. Apenas um período foi registrado com valor SPI abaixo de (-1,0), no período de 1976/77 com valor SPI (-1,21) considerado como *Moderadamente Seco (MoS)*. Este período e os demais com valores negativos seguiram as tendências de eventos negativos para as escalas de três meses para a mesma região.

Para a microrregião de Rio Formoso os eventos de seca na escala SPI – 6 meses foram representados nas escalas SPI – 3 meses num mesmo período. O período de 1976/77 representou a seca para 1977 (JAN-MAR) os demais períodos para a escala SPI – 6 meses não acompanharam a tendência das escalas menores e não atingiram valores inferiores a -1,0.

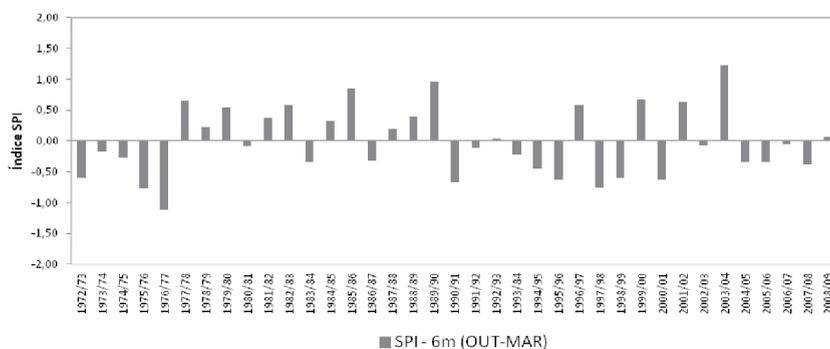


Figura 16 - Evolução temporal do SPI-6 meses (OUT-MAR) para a série histórica (1972/73–2008/09) na microrregião de Rio Formoso

3.2 - Percentagens de ocorrência de períodos secos identificados pelo índice SPI

Considerando-se a ocorrência dos períodos secos ao longo da série histórica para todas as microrregiões de estudo, é apresentada nas tabelas 3 a 5 a percentagem de ocorrências das categorias de seca pelo índice SPI em cada escala temporal.

Para a escala temporal SPI – 3 meses (OUT-DEZ) de acordo com a Tabela 3, verificou-se que todas as microrregiões apresentaram eventos de “seca moderada” (*MoS*) com maior ocorrência nas microrregiões de Dianópolis e Jalapão com 8,10 % e apenas três microrregiões apresentaram valores para categoria *Muito Seco (Mus)*, nomeadamente, Bico do Papagaio, Porto Nacional e Rio Formoso.

A categoria “Próximo a normal” (*PN*) apresentou a maior quantidade de eventos para as séries históricas sempre acima de 80 %.

Tabela 3 - Percentagem de ocorrência dos períodos de secas por microrregião para a escala temporal SPI – 3 meses (OUT-DEZ)

Microrregião	SPI - 3 meses (OUT-DEZ)			
	PN (%)	MoS (%)	MuS (%)	ExS (%)
Araguaína	88,88	2,77	—	—
Bico do Papagaio	84,61	7,69	2,56	—
Dianópolis	83,47	8,10	—	—
Gurupi	83,78	5,40	—	—
Jalapão	81,08	8,10	—	—
Miracema	83,78	5,40	—	—
Porto Nacional	82,05	2,64	5,12	—
Rio Formoso	89,18	2,70	2,70	—

PN – Próximo a normal; MoS – Moderadamente seco; MuS – Muito seco; ExS – Extremamente seco

Para a escala temporal SPI – 3 meses (JAN-MAR) de acordo com a Tabela 4, verificou-se que apenas a microrregião de Araguaína não apresentou valores abaixo de – 1,0, não caracterizando nenhuma categoria de seca.

As demais microrregiões apresentaram valores de “seca moderada” (MoS) com as microrregiões do Bico do Papagaio, Miracema e Gurupi com percentagens igual ou acima de 10 % das séries históricas. Ainda para esta escala temporal de SPI as microrregiões de Porto Nacional e Rio Formoso apresentaram as percentagens de eventos da categoria “Muito Seco” (MuS).

Tabela 4 - Percentagem de ocorrência dos períodos secos por microrregião para a escala temporal SPI – 3 meses (JAN-MAR)

Microrregião	SPI - 3 meses (JAN-MAR)			
	PN (%)	MoS (%)	MuS (%)	ExS (%)
Araguaína	94,44	—	—	—
Bico do Papagaio	80,00	10,00	—	—
Dianópolis	89,47	5,26	—	—
Gurupi	81,57	13,15	—	—
Jalapão	89,47	2,63	—	—
Miracema	78,94	10,52	—	—
Porto Nacional	80,00	7,50	2,50	—
Rio Formoso	89,47	2,63	2,63	—

PN – Próximo a normal; MoS – Moderadamente seco; MuS – Muito seco; ExS – Extremamente seco.

Para a escala temporal SPI – 6 meses (OUT-MAR) de acordo com a Tabela 5, verificou-se uma maior percentagem de ocorrências de períodos “próximo a normal” (PN). As microrregiões de Araguaína, Jalapão e Miracema não apresentaram eventos abaixo de -1,0. A microrregião de Porto Nacional foi a única a apresentar evento Muito Seco para esta escala temporal do índice SPI.

Tabela 5 - Percentagem de ocorrência dos períodos secos por microrregião para a escala temporal SPI – 6 meses (OUT-MAR)

Microrregião	SPI - 6 meses (OUT-MAR)			
	PN (%)	MoS (%)	MuS (%)	ExS (%)
Araguaína	97,44	—	—	—
Bico do Papagaio	92,30	5,12	—	—
Dianópolis	86,48	8,10	—	—
Gurupi	86,48	2,70	—	—
Jalapão	91,89	—	—	—
Miracema	91,89	—	—	—
Porto Nacional	84,61	5,12	2,56	—
Rio Formoso	94,59	2,70	—	—

PN – Próximo a normal; MoS – Moderadamente seco; MuS – Muito seco; ExS – Extremamente seco

De forma geral verificou-se que a maioria das microrregiões obteve acima de 80 % dos períodos dentro da categoria “*próximo a normal*” (PN), exceto a microrregião de Miracema com 78,94 %.

Pode-se verificar também que não houve ocorrência de eventos extremos “*Extremamente Seco*” (ExS) para nenhuma das regiões estudadas. A microrregião de Porto Nacional apresentou a maior quantidade de eventos secos entre as oito microrregiões estudadas. Os dados de percentagens presentes nas Tabelas 3 a 5 subtendem os valores para períodos úmidos, mas estes incluem-se na somatória para o total de 100 % da série histórica analisada.

4 - Considerações finais

- A seca no estado do Tocantins não ocorre de forma homogênea em todo o território, apresentando-se variável temporal em sua intensidade para cada microrregião;

- A modificação lenta das condições dinâmicas da atmosfera pode influenciar na caracterização de períodos secos pelo SPI, em anos onde não se estabeleceram fenômenos de escala global como, por exemplo, os fenômenos El Niño e La Niña;

- A utilização das escalas SPI – 3 meses apresenta-se mais sensível à representação de períodos secos, uma vez que vários períodos considerados secos na escala SPI – 6 meses não foram identificados.

- As regiões com o maior número de ocorrências de seca de qualquer intensidade se diferenciaram para cada escala temporal trabalhada. Na escala temporal SPI – 3 meses (OUT-DEZ), a microrregião do Bico do Papagaio com 10,25 % de secas para a série histórica; SPI – 3 meses (JAN-MAR), Gurupi com 13,15 % de secas para sua série histórica, e SPI – 6 meses (OUT-MAR), Dianópolis com 8,10 % de secas para sua série histórica.

A divisão e geração de valores SPI por microrregião tornam-se úteis e auxiliam ao gerenciamento e gestão de ações preventivas e mitigadoras dos efeitos socioambientais provocados pelas secas.

Referências

- BLAIN, G. C.; BRUNINI, O. Análise da escala temporal de monitoramento das secas agrícolas e meteorológicas no estado de São Paulo. **Rev. Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n.2, p. 255-261, 2007.
- BRASIL. **Projeto de desenvolvimento integrado da bacia do Araguaia - Tocantins**. Brasília: PRODIAT. 1982. 238p.
- DOMINGOS, S. I. S. **Análise do índice de seca Standardized Precipitation Index (SPI) em Portugal Continental e sua comparação com o Palmer Drought Severity Index (PDSI)**. 2006. 62 f. Tese (Licenciatura em Meteorologia) - Lisboa, 2006.
- Mc KEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. Drought monitoring with multiple time scales. Preprints, 9th CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 15-20 January, **Anais...**Dallas, TX, p. 233-236, 1995.
- QUIRING, S. M. Developing objective operational definitions for monitoring drought. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v.48, p.1217-1229, 2009.
- TADESSE, T.; JESSLYN, T.; BRONW, F.; HAYES, M. J. A New approach for predicting drought-related vegetation stress: integration satéllite, climate, and biophysical data over the U.S. central plains. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, n. 59, p. 144 – 153. 2005.
- THEIS, I. M.; RENCK, M. H. P. Insustentabilidade socioambiental do desenvolvimento regional no Brasil: análise crítica do caso da seca na região do Extremo Oeste de Santa Catarina In: IV COLÓQUIO SOBRE TRANSFORMACIONES TERRITORIALES: SOCIEDAD, TERRITORIO Y SUSTENTABILIDAD - PERSPECTIVAS DESDE EL DESARROLLO REGIONAL Y LOCAL, 2002, Montevideo. **Anais...** CD-ROM, 2002.
- THOM, H. C. S. **Some methods of climatological analysis**. Genève: World Meteorological Organization, 1966. 54 p. (WMO Technical Note, 81).
- WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. M. Understanding the drought phenomenon: the role of definition. **Water International**, n. 10, p. 111-120, 1985.

Mudanças Climáticas no Estado do Tocantins e Efeitos Potenciais nos Ecossistemas e Agroecossistemas

Humberto Ribeiro da Rocha¹, Rafael Cesário de Abreu² e Leonardo Moreno Domingues³

¹Professor do Departamento de Ciências Atmosféricas/IAG/Universidade de São Paulo; ²Meteorologista, MSc e Doutorando do Programa de Meteorologia do Departamento de Ciências Atmosféricas do IAG/Universidade de São Paulo; ³Meteorologista, Pós-doutorando e Pesquisador colaborador do Laboratório de Clima e Biosfera do IAG/Universidade de São Paulo

1 - Mudanças climáticas globais e regionais no Brasil

As mudanças climáticas globais são um fenômeno planetário notado nas últimas décadas e de grande impacto em diferentes áreas como a agricultura, os recursos hídricos e a biodiversidade, caracterizado por observações de tendências de aquecimento do ar na superfície em escala global, com base em medições instrumentais de estações meteorológicas de superfície e de perfis atmosféricos por radiosondagem (STOCKER *et al.*, 2013).

Enquanto o aquecimento global é um fato de constatação histórica, as projeções do clima feitas pelos modelos físicos do sistema terrestre se voltam para o futuro, na tentativa de sugerir como será a evolução do regime climático. As projeções indicam de forma dominante, um aquecimento em todo o globo ao longo do séc. 21, com mudanças também nos demais elementos climáticos como a chuva e a umidade do ar, além de outras variáveis (IPCC, 2013).

Estas projeções são estimativas estritamente experimentais, portanto sujeitas à incertezas, que por sua vez são geralmente enquadradas em três tipos (DESER *et al.*, 2012): i) incerteza da variabilidade interna do clima; ii) incerteza da variabilidade da resposta inter-modelos e iii) incerteza das forçantes externas. A variabilidade interna advém da imprevisibilidade do sistema climático natural, como por exemplo a limitada previsibilidade matemática do clima ou também chamada natureza caótica do sistema, e da forma de representação de interações entre grandes compartimentos do sistema climático, como o oceano e a atmosfera na baixa frequência temporal, dentre outros fatores. A segunda forma de incerteza, ocorre devido às diferentes respostas de cada modelo e que resultam com diferenças de simulação dos processos climáticos como por exemplo a distribuição de nuvens e absorção radiativa na atmosfera, fluxos de energia na superfície e processos de pequena escala, que comumente existem segundo diferentes formulações

físicas de cada modelo (SODEN *et al.*, 2018). O terceiro tipo de incerteza decorre da variabilidade das forçantes externas, ou seja a evolução temporal da concentração de gases estufa e ozônio na atmosfera, as mudanças de uso da terra e outras. Estas forçantes externas de gases na atmosfera foram inicialmente estabelecidas pelos chamados cenários de emissão ou *Special Report on Emissions Scenarios (SRES)* (NAKICENOVIC *et al.*, 2000) até o 4º relatório de avaliação do IPCC (AR4), e depois alteradas por condições definidas nos *Representative Concentration Pathways (RCP)* (VUUREN *et al.*, 2011) do 5º relatório de avaliação do IPCC (AR5), e então novamente modificadas pelos *Shared Socioeconomic Pathways (SSP)*, que por sua vez basearam-se em critérios de desenvolvimento sustentável e dependência de combustíveis fósseis etc (RIAHI *et al.*, 2017). Isto no todo, levou à uma marcante variabilidade de forçantes entre o histórico de projeções e que dificultou a comparação da sucessão histórica de simulações.

Tabela 1 - Cenários RCP com concentração atmosférica de CO₂-equivalente média aproximada entre 2080-2100 (VUUREN *et al.*, 2011), e projeções da mudança de temperatura (em °C) e da precipitação (em mm dia⁻¹ e % da média) média global em relação ao período 1986-2005

Cenários (RCP)	2.6	4.5	6.0	8.5
CO ₂ -equivalente (ppm)	400	570	650	1050
Mudança de temperatura global (°C)	1,0 ± 0,4	1,8 ± 0,5	2,2 ± 0,5	3,7 ± 0,7
Mudança de temperatura continentes (°C)	1,2 ± 0,6	2,4 ± 0,6	3,0 ± 0,7	4,8 ± 0,9
Mudança de precipitação global em (mm dia ⁻¹) e (% da média global)	0,07 (3%)	0,11 (4%)	0,12 (4%)	0,18 (7%)

Fonte: Adaptado de Collins *et al.* (2013)

Como exemplo dos RCP nos casos de projeções forçadas por concentrações atmosféricas de CO₂-equivalente, cada modelo foi forçado sob quantidades e evoluções temporais diferenciadas no século 21, quando entre 2080-2100 atingiram distintos e crescentes níveis por RCP, desde 400 até 1050 ppm (Tabela 1). As projeções de aumento da temperatura média mostraram pouca diferença entre os RCP até aproximadamente o ano 2050 (COLLINS *et al.*, 2013), a partir de quando diferenciaram-se bastante e em proporção com o acúmulo de CO₂ (Tabela 1): o aquecimento médio global variou desde 1,0°C a 3,7°C, e nas áreas continentais foi um pouco mais pronunciado de 1,2°C a 4,8°C. No caso das áreas continentais nota-se uma incerteza inter-modelos progressiva com os cenários, se suposto o desvio-padrão, variando de 0,6°C a 0,9°C (Tabela 1), e uma incerteza de forçantes de 1,5°C, suposto o desvio-padrão das médias de todos os cenários.

É marcante também que as mudanças da precipitação média global em 2080-2100 mostraram-se diretamente proporcionais às mudanças de temperatura, tendo variado de 0,07 a 0,18 mm.dia⁻¹ (ou aproximadamente 3% a 7% da precipitação média) entre os RCP 2.6 e 8.5 respectivamente (COLLINS *et al.*, 2013). Apesar destas relações de proporcionalidade entre as mudanças de precipitação com as de temperatura, reportou-se todavia uma grande dispersão de resposta inter-modelos. Segundo os autores, a elasticidade ou variação percentual da precipitação em relação à variação da temperatura média global para as áreas continentais mostrou grande dispersão, entre -4 a 4 % °C⁻¹ para o RCP2.6, e de 0 a 4 % °C⁻¹ para o RCP8.5. Para ilustrar de forma simples, a elasticidade de ± 1 % °C⁻¹ significa que, para cada 1°C de aumento de temperatura corresponderia a ± 1 % de variação da precipitação média anual.

Nas áreas continentais estas taxas de elasticidade da precipitação, assim como os percentuais de variação da precipitação reportados no final do século 21 (Tabela 1), podem parecer modestos, todavia em escala regional e inclusive na América do Sul, as projeções de variação de precipitação reportadas foram muito mais pronunciadas, com casos mostrando ora aumento ou redução, conforme os setores regionais específicos do continente e em particular no Brasil (MAGRIN *et al.*, 2014; PBMC, 2014). Conforme Magrin *et al.* (2014), para os anos 2080-2100 o aumento de temperatura foi projetado para aproximadamente 2°C em quase todo o Brasil no RCP2.6, mas que atingiu 3°C no RCP8.5 com ênfase nas regiões interioranas. Para a precipitação, por exemplo na região sul do Brasil, Uruguai e centro-leste da Argentina, reportou-se um aumento de 10% a 30% da chuva no RCP8.5 sob forte concordância dos modelos, mas no RCP2.6 notou-se pouca ou nenhuma variação de precipitação. Para a região da Amazônia oriental em continuidade com a Venezuela, projetou-se redução de até 20% da chuva no RCP8.5 mas sem mudança expressiva no RCP2.6. No Sudeste do Brasil as variações de chuva foram modestas no RCP2.6, enquanto no RCP8.5 foram mais expressivas mas que onde todavia não mostrou consenso (se de aumento ou redução significativa) dentre as respostas de todos os modelos (MAGRIN *et al.*, 2014).

2 - Efeitos potenciais das mudanças climáticas na produtividade e no balanço hídrico

Dentre as variáveis hidrometeorológicas cuja variabilidade temporal em escala espacial local notavelmente influencia a produtividade vegetal destacam-se a radiação solar, a temperatura e o déficit de umidade do ar, a concentração de CO₂ atmosférico, a precipitação e a umidade do solo. Estas variáveis controlam a produtividade primária líquida (PPL) pelos mecanismos de fotossíntese e

respiração na folha, e de evapotranspiração no sistema solo-vegetação (ET), sendo ambos os fenômenos de ocorrência simultânea que marcam tanto o incremento de biomassa como a autoproteção da planta ao aquecimento excessivo. Uma das principais questões científicas é exatamente conhecer como se quantifica a relação de dependência da PPL e ET com o clima, uma vez que essa relação depende fundamentalmente da espécie vegetal e seu mecanismo fotossintético e caminho de aclimação, além de fatores exógenos à planta como a disponibilidade de nutrientes e capacidade de água disponível no solo; episódios de fogo, herbivoria e interações planta-animal; e no caso específico de culturas também do manejo e da própria introdução de novas variedades adaptadas.

Vários efeitos potenciais decorrentes das mudanças climáticas são reportados, e que de forma geral, supondo-se *a priori* inalterada a chuva, indicam que: (i) o aquecimento do ar tende a estimular a PPL e a ET, mas até um nível de temperatura ótima (que varia conforme a planta), e que a partir daí o aquecimento vem a reduzir a PPL; (ii) altas taxas de ET podem promover a depleção da umidade do solo a um estado o baixo necessário para limitá-la substancialmente por estresse hídrico; (iii) o enriquecimento atmosférico de CO₂ ambiente (chamado de e-CO₂) tende a aumentar a PPL (IDSO; IDSO, 1994), e reduzir a condutância estomática (g_s) e portanto a componente de transpiração da ET, de forma a promover aumento da eficiência do uso da água (EUA) ou maior acúmulo de biomassa por quantidade de água utilizada, como um benefício mais esperado nas espécies arbóreas e em espécies de mecanismo fotossintético C3 (AINSWORTH; ROGERS, 2007). A condutância estomática (g_s) é a quantificação da facilidade ou dificuldade com que o vapor d'água é perdido da folha, para uma certa umidade relativa do ar ambiente: ao aumento (redução) de g_s associa-se uma maior (menor) abertura da cavidade estomática que controla as perdas de água da planta por transpiração.

Ainda como potencial decorrência do e-CO₂ pode ocorrer uma "economia de umidade do solo", pelo aumento da água no solo devido à redução da transpiração (MORGAN *et al.*, 2011). Neste caso há muito tempo já se antecipava decorrer deste efeito também um aumento da vazão hidrológica em escala de microbacia (IDSO; BRAZEL, 1984). Por outro lado todavia é também possível ocorrer efeitos de retroalimentação negativa que compensem demais efeitos: (i) o acréscimo de área foliar resultante do aumento da PPL e que por sua vez aumenta a ET; (ii) a aclimação da planta (WALTER *et al.*, 2015), como um processo de autoregulação vegetal onde a fotossíntese não tende a aumentar devido à limitação funcional de armazenamento de carboidratos acompanhada por limitantes de nutrientes como o nitrogênio (BASLAM *et al.*, 2020; TORETI *et al.*, 2020).

2.1. Efeitos em culturas

Estudos com experimentos controlados de aquecimento do ar como perturbação isolada são escassos no Brasil. Nos casos reportados notam-se o aumento da PPL e da ET em gramíneas, e na leguminosa *S. capitata* também mas sob restrição hídrica (Tabela 2).

Tabela 2 - Efeitos de aquecimento do ar em experimentos controlados na produtividade primária líquida (PPL), evapotranspiração (ET) e condutância estomática (gs)

Espécies	PPL	gs	ET	Contornos, limitantes e outros
C4 gramíneas ^[1]	-	sim	sim	+ 3°C, sem estresse hídrico
C4 capim-mombaça ^[2]	inalterado	inalterado	aumento	+ 2°C
C3 <i>S. capitata</i> ^[3, 4]	aumento	inalterado	-	+ 2°C, aumento área foliar, limitação de estresse hídrico

^[1] Faria (2015); ^[2] Habermann *et al.* (2019); ^[3] Martinez *et al.* (2014); ^[4] Camargo-Bortolin *et al.* (2020)

Em escala global as investigações e revisões do aquecimento isoladamente reportam que de forma geral as regiões semi-áridas e regiões quentes de baixa latitude terão queda de safra agrícola devido ao estresse de temperatura e água, enquanto as regiões mais frias podem se beneficiar do aumento de temperatura, segundo Ruane; Rosenzweig (2019).

O efeito do aquecimento em culturas no Brasil é citado como benefício na maior parte das regiões produtoras de arroz e milho do estado do Rio Grande do Sul, devido à redução de perdas por geadas (STRECK *et al.* 2012; WALTER *et al.* 2014), todavia sob a alteração na duração dos estágios fenológicos e possível danos pelo prolongamento do ciclo das pragas no milho. Os efeitos de estresse termo-hídrico com modelos simples foram utilizados por Assad *et al.* (2008) supondo aquecimento de 2 a 5°C, mostrando riscos de pequena migração das zonas de baixo risco climático de cana-de-açúcar, mandioca e café em direção ao sul do Brasil devido principalmente à acomodação do excesso térmico. Os autores verificaram também, o aumento do risco climático da soja no sul do Brasil por elevação do estresse hídrico, e no estado do Tocantins, o aumento do risco para as culturas de arroz, feijão, milho, algodão, girassol e mandioca, devido ao estresse hídrico no norte do Estado. Para a cana-de-açúcar, os autores indicaram setores do Tocantins com aumento do risco e necessidade de irrigação de emergência, em concordância com Collicchio *et al.* (2007).

Os efeitos do e-CO₂ em experimentos controlados mostraram recorrente e expressivo aumento da PPL e da EUA, conforme reportado para várias plantas existentes no Brasil, e ocorrendo também nas espécies C4 onde os efeitos são menos esperados (Tabela 3).

Tabela 3 - Efeitos do e-CO₂ em experimentos controlados na produtividade primária líquida (PPL), condutância estomática (g_s) e eficiência do uso da água (EUA) em espécies C3 ou C4 (1ª coluna)

(C3 ou C4) Plantas	PPL	g _s	EUA	Contornos
C3 Arroz ^[1]	+16%	-	-	+200 ppm
C3 Soja ^[2]	aumento	-	-	550 ppm
C3 Café ^[3]	+13%	-	aumento	550 ppm
C3 Bambú ^[4]	+77%	-40%	+62%	550 ppm
C4 Cana-de-açúcar ^[5]	+30%	-37%	+62%	720 ppm
C4 <i>P. maximum</i> ^[6]	+25%	-26%	+71%	660 ppm
C4 <i>U. decumbens</i> , <i>M. maximus</i> ^[7]	inalterado	redução	aumento	-
C4 <i>U. brizantha</i> ^[7]	aumento	redução	aumento	-

^[1] Yang *et al.* (2006); ^[2] Bernacchi *et al.* (2005); ^[3] Ghini *et al.* (2015); ^[4] Grombone-Guaratini *et al.* (2013); ^[5] Souza *et al.* (2008); ^[6] Habermann *et al.* (2019); ^[7] Faria (2015)

2.2. Efeitos em espécies e ecossistemas do Cerrado

Estudos de e-CO₂ em espécies do Cerrado são apenas incipientes até o presente. Aidar *et al.* (2002) investigou plântulas de Jatobá com até 720 ppm de incremento e reportou aumento da PPL e EUA em torno de 35%, além do aumento de área foliar. Souza *et al.* (2016, 2019) compararam o crescimento de 4 árvores nativas do Cerrado sob e-CO₂, e alternaram o estresse hídrico entre amostras, reportando em todas o aumento da PPL, redução da transpiração (mesmo com irrigação) e aumento da EUA, com maior ganho de biomassa sob condição de baixo estresse hídrico.

Na escala do bioma Cerrado, Bustamante *et al.* (2012) utilizou projeções climáticas de 3 modelos no cenário SRES-A2 (MARENGO *et al.*, 2009), que indicavam uma expressiva redução da precipitação regional variando de 20% a 70% (nos casos otimistas e pessimistas) para 2100 respectivamente, associado ao aumento da extensão da estação seca. Os autores sugeriram que esta condição pode alterar o equilíbrio das plantas lenhosas, especialmente as plantas perenifólias que no cerrado tem sistema radicular raso até 1m, e seriam penalizadas pelo intensificação do estresse hídrico. E ainda, haveria de forma geral no bioma uma redução da PPL decorrente do estresse termo-hídrico que sobrepujaria os potenciais ganhos pelo e-CO₂, segundo também interpretou Bonan (2008) como o principal mecanismo de impacto nas savanas.

Os efeitos de mudanças climáticas no Cerrado foram discutidos também com modelos de nicho ecológico, que são preditores de migração espacial e extinção de espécies em conformidade com estados climáticos no presente e no futuro.

Nestes trabalhos Siqueira; Peterson (2003) sugeriram que de 39 a 48% de espécies de árvores poderiam ser extintas no total de 162 analisadas. Velazco *et al.* (2019) aprofundou esta abordagem para todas as savanas centrais da América do Sul, e analisou 1553 espécies (151 árvores, 450 arbustivas, 275 sub-arbustivas, 88 lianas e 589 herbáceas), tendo reportado que entre 2050 a 2080 mesmo no cenário mais otimista (RCP 4.5) as espécies perderão de 34% a 40% de sua distribuição espacial, respectivamente, com extinção de 15 a 21 espécies, e que as perdas seriam ainda maiores no cenário RCP 8.5.

3. Padrões probabilísticos de mudanças climáticas e do balanço hídrico no estado do Tocantins

As projeções de aquecimento para a região do estado do Tocantins situaram-se aproximadamente entre 1°C a 3°C para 2050, e no final do séc. 21, entre 1°C a 5°C, para os cenários RCP 2.6 e 8.5 respectivamente, conforme Magrin *et al.* (2014). Ao interpretar aqueles autores, notou-se que as variações de precipitação na região mostraram-se sob uma pronunciada incerteza, seja por divergência entre os modelos e/ou por respostas pouco expressivas, o que abriu um questionamento para se verificar melhor a informação. Nesta construção foram utilizadas as saídas de simulações de 37 modelos do Coupled Model Intercomparison Project/Phase 5 (CMIP5) (TAYLOR *et al.*, 2012), a partir do que a primeira ação foi interpolar as saídas para uma grade comum de resolução espacial 0,5°x0,5°, e a média dos membros por modelo calculada sobre um retângulo limitado aproximadamente pelo perímetro do estado do Tocantins. Para cada modelo foi calculada a elasticidade ϵ_X de uma variável X em relação à temperatura T:

$$\epsilon_X = \frac{1}{\bar{X}} \frac{\Delta X}{\Delta T} \quad (1)$$

Onde: ΔX e ΔT são as variações temporais de X e T, e \bar{X} a média de X, em um certo intervalo temporal.

As diferenças ΔX e ΔT foram estimadas como a diferença da média no clima futuro (2075-2099 no cenário RCP 8.5) menos a média no intervalo histórico (1980-2004), e \bar{X} estimada no intervalo completo (1980-2099). A elasticidade da variável X é interpretada de forma simples: o valor de ϵ (em % °C⁻¹) significa que para cada 1°C de aumento de temperatura média anual no futuro corresponde-se ϵ % de mudança de X em relação ao clima histórico. Tendo-se como exemplo a precipitação, se $\epsilon = -10$ % °C⁻¹, então para o aquecimento futuro de 1°C da temperatura média, a mudança de precipitação é de -10%, para o aquecimento de 2°C é de -20% e assim proporcionalmente. Sendo assim, tomando-se a precipitação média de 1600 mm a⁻¹ no clima histórico (SOUSA; DIAS, 2012), no 1º caso a mudança de precipitação, seria de -160 mm a⁻¹ e no 2º de -320 mm a⁻¹.

Os resultados estão visualizados no mapa de calor de probabilidades das elasticidades de um conjunto de variáveis em relação à temperatura média (Figura 1). As probabilidades são calculadas com base no número de modelos que apresentam uma elasticidade compatível com um dos intervalos estabelecidos. Mostra-se a variação das faixas de elasticidade calculadas (escala inferior, inferior a $-20\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ até superior a $20\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), e a probabilidade de cada faixa (escala de cores e valor exato por faixa). Para uma variável qualquer, a soma das probabilidades ao longo das faixas de elasticidade é aproximadamente igual a 100%.

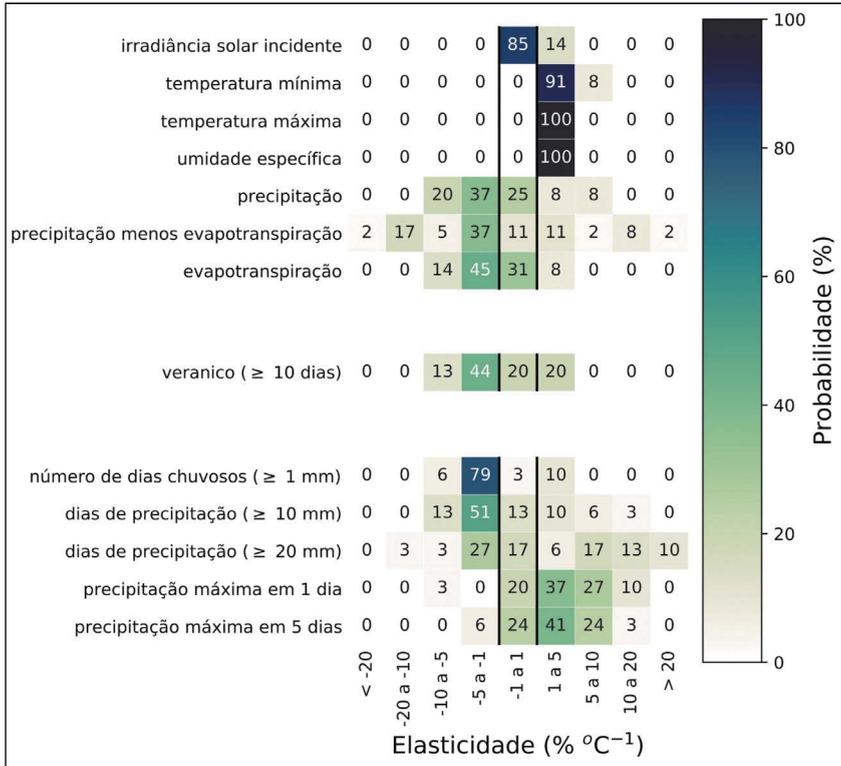


Figura 1 - Mapa de calor de probabilidade das elasticidades de um conjunto de variáveis (coluna da esquerda) em relação à temperatura média. Faixas de elasticidade na escala inferior (< -20 até $> 20 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) e Probabilidade (em %) na escala de cores com valor exato no cruzamento elasticidade versus variável.

Este trabalho buscou sugerir informações do padrão das mudanças climáticas no estado do Tocantins, de uma forma, tanto concisa, quanto abrangente, de forma a ser útil para alcançar uma discussão prática dos limitantes climáticos na agricultura e recursos naturais nas próximas décadas. Assim arbitrou-se como meta discutir o impacto (aumento ou redução) de cada variável para as mudanças de temperatura média de 1°C e 2°C respectivamente, considerando-as prováveis de

ocorrer nos próximos 50 anos dentro da grande amplitude provida pelos cenários de emissão. Os impactos por variável foram avaliados conforme o valor médio da faixa de elasticidade (cf a Figura 1) e respectivamente igual a: $\pm 3\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para a faixa de ± 1 a $\pm 5\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $\pm 7,5\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para a faixa de ± 5 a $\pm 10\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $\pm 15\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para a faixa de ± 10 a $\pm 20\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; e $\pm 25\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para a faixa > 20 ou $< -20\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

A estimativa do impacto em valor absoluto da variável, tomou como referência o tempo presente segundo as normais climatológicas no intervalo de 1981-2010 do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (DINIZ *et al.*, 2018), e para a irradiância solar incidente segundo Pereira *et al.* (2016).

Em suma, as discussões a seguir informarão intervalos de impacto (por faixa de elasticidade e sua probabilidade de ocorrência) decorrentes de supostos 1°C e 2°C de aquecimento da temperatura média, respectivamente. A faixa de elasticidade e sua probabilidade decorrem da incerteza de resposta entre modelos, e a variação de 1°C a 2°C ilustra uma condição de aquecimento temporalmente crescente nas próximas décadas.

A temperatura máxima diária mostrou que 100% dos modelos indicaram um aumento na faixa de $3\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, o que sugere um aumento de $\approx 1,0^\circ\text{C}$ a $2,0^\circ\text{C}$, coincidente com o aumento da temperatura média segundo as premissas definidas.

A temperatura mínima diária mostrou sistemático aumento e com maior ocorrência na faixa de elasticidade de $3\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e secundariamente de $7,5\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, sugerindo aumentos respectivos de $\approx 0,7^\circ\text{C}$ a $1,4^\circ\text{C}$ com 91% de probabilidade, e de $\approx 1,7^\circ\text{C}$ a $3,5^\circ\text{C}$ com 8% de probabilidade.

A umidade específica diária mostrou-se 100% provável de aumentar na taxa de $3\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, o que sugere o aumento de $\approx 0,5 \text{ g kg}^{-1}$ a $1,0 \text{ g kg}^{-1}$, que é um incremento modesto, mas significativo se comparado à média anual de referência igual a $16,5 \text{ g kg}^{-1}$.

A irradiância solar incidente mostrou pequeno mas significativo aumento na faixa de elasticidade de $3\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, entre ≈ 6 a 13 W m^{-2} com 14% de probabilidade, supondo-se neste caso a média anual histórica igual a 213 W m^{-2} . Foi de 85% a probabilidade de pouca alteração da radiação solar incidente.

A precipitação anual (P) mostrou maior ocorrência de elasticidade na faixa até -3 e $-7,5\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, e secundariamente nas faixas de 3 e $7,5\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, o que indicou respectivamente uma redução da chuva no intervalo de ≈ -50 a -250 mm a^{-1} com 57% de probabilidade, e de aumento de chuva no intervalo de 50 a 250 mm a^{-1} com 16% de probabilidade, sendo de 25% a probabilidade de pouca alteração da chuva.

Os episódios de estiagem (veranico ≥ 10 dias) diminuíram com 57% de probabilidade em faixas de elasticidade de -3 e $-7,5\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, e aumentando com 20% de chance na taxa de $3\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, o que em ambas as condições indicou uma variação muito modesta aquém de 1 episódio.

O total de dias chuvosos ($P > 1 \text{ mm d}^{-1}$) predominantemente diminuiu, em faixas de elasticidade de -3 e $-7,5\% \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, e aumentou minoritariamente na taxa de $3\% \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Isso indicou respectivamente a redução de ≈ -3 a -15 dias chuvosos com 85% de probabilidade, e aumento de ≈ 3 a 6 dias chuvosos com 10% de probabilidade, sendo de 3% a probabilidade de pouca alteração. As distribuições das faixas de probabilidade do total de dias chuvosos para $P > 1$ e $P > 10 \text{ mm d}^{-1}$ foram semelhantes, ou seja, os dias de chuva leve também mostraram maior chance de redução.

Na direção oposta, o total de dias de chuva forte ($P > 20 \text{ mm d}^{-1}$) aumentou na maior parte nas faixas de elasticidade de 3 até $25\% \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, e reduziram em menor proporção na taxa de $-3\% \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, o que indicou respectivamente o aumento de $\approx 0,4$ a 6 dias com 46% de probabilidade, e redução de até 1 dia com 27% de probabilidade, sendo de 17% a probabilidade de pouca alteração. Estas variações absolutas foram calculadas aproximadamente com base na climatologia de dias chuvosos acima de 35 mm d^{-1} . As probabilidades de precipitação máxima (em 1 dia ou em 5 dias) foram distribuídas de forma semelhante às dos dias de chuva forte, ou seja, com maior chance de aumento.

A evapotranspiração (ET) anual mostrou ocorrência de elasticidade em faixas aproximadamente semelhantes à precipitação, ou seja primariamente de -3 e $-7,5\% \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e secundariamente na faixa de $3\% \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, o que indicou respectivamente sua redução entre ≈ -30 a -150 mm a^{-1} com 59% de probabilidade, e de aumento no intervalo de 30 a 60 mm a^{-1} com 8% de probabilidade, sendo de 31% a probabilidade de pouca alteração da ET. Neste caso foi suposta a ET média anual histórica de 1000 mm a^{-1} .

O saldo hídrico anual de precipitação menos a evapotranspiração ($= P - ET$), situou-se predominantemente em redução, nas faixas de elasticidade de -3 , $-7,5$ e $-15\% \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, respectivamente, e secundariamente na faixa de aumento de $3\% \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, o que indicou principalmente uma queda entre ≈ -20 a -195 mm a^{-1} , com 59% de probabilidade, e de aumento no intervalo de 20 a 39 mm a^{-1} , com 11% de probabilidade, sendo de 31% a probabilidade de pouca alteração.

Conclusões

Este texto traz resultados de probabilidades de projeções climáticas para um conjunto de variáveis hidrometeorológicas anuais médias no estado do Tocantins, baseado na premissa fundamental de ser muito alta a probabilidade de ocorrer um aumento da temperatura média do ar entre 1°C a 2°C até o final do século 21. As probabilidades das projeções de certa forma não estão rigidamente vinculadas à um ou outro cenário de emissão, pois levaram em conta a taxa de sensibilidade ao aumento de temperatura (ou elasticidade), muito embora o cálculo tenha utilizado dados do cenário de maior acúmulo de CO₂ para viabilizar escala de variabilidade simulada do sistema climático global.

Os prognósticos indicaram um aumento da temperatura máxima diária semelhante à da temperatura média, e da temperatura mínima levemente superior. A irradiância solar incidente mostrou pouca variação no futuro, todavia com uma pequena mas significativa probabilidade de aumento (14%), o que pode se associar à possível redução da nebulosidade média, e até mesmo da precipitação média conforme se verificou nos resultados, embora estas dependências ainda necessitem ser avaliadas apropriadamente.

A umidade específica mostrou pequeno mas significativo aumento no futuro (aproximadamente 5%), o que sugere que a umidade relativa do ar não cairá em exata relação conforme o aquecimento, ou até mesmo aumente ou não expresse variação significativa, embora esta avaliação não foi avaliada no contexto deste trabalho.

A redução da chuva foi o quadro com maior probabilidade de ocorrência (57%), em torno de até -250 mm a⁻¹ e que é um montante considerável se comparado com as anomalias históricas de anos secos na região. Este padrão de redução é o oposto das médias globais, o que todavia não é incoerente mas um precioso detalhe da variabilidade regional das mudanças climáticas. A redução da ET foi semelhante à da precipitação, assim provavelmente efeito desta e também do e-CO₂, uma vez que a irradiância solar não se alterou ou até aumentou mesmo sob probabilidade menor. Este quadro sugere uma intensificação do estresse hídrico no futuro, principalmente devido à redução da chuva e apesar da autoregulação da ET pelo e-CO₂, caracterizando uma situação de maior déficit forçado pelo aumento da evapotranspiração potencial. Finalmente notou-se uma forte redução do saldo hídrico (P-ET), apesar da redução da ET, o que significa uma redução da disponibilidade hídrica superficial, com quedas substanciais de até -195 mm a⁻¹ ou \approx 30% da vazão média anual. Esta projeção hídrica no futuro mostrou-se ainda influenciada pela redução do total de dias chuvosos e/ou com chuva leve, mas sob aumento do total de dias de chuva forte, sob um padrão que a propósito nota-se muito nas projeções climáticas das regiões tropicais úmidas e sub-úmidas.

Esta alteração da distribuição de intensidade de chuva concorre para o aumento do escoamento superficial direto em relação à vazão total, o que reduz a efetividade da infiltração de água e da recarga hídrica tanto do solo como dos aquíferos, e que finalmente retroalimenta o mecanismo de estresse hídrico da vegetação.

Além de uma muito simples mas prática revisão científica dos impactos potenciais das mudanças do clima na produtividade e no balanço hídrico da superfície, o propósito deste texto foi trazer algumas informações mais específicas sobre as projeções climáticas no estado do Tocantins de forma probabilística, de modo que uma certa variabilidade da incerteza esteja inserida nas assertivas mais contundentes da discussão dos resultados. A revisão da literatura científica foi feita em paralelo, e apesar de modesta e com ênfase nas plantas existentes no Brasil, sugere que os impactos da temperatura e do enriquecimento de CO₂ podem influenciar muito além de expectativas teóricas, reconhecendo-se neste fato as lacunas de conhecimento que a pesquisa em ecofisiologia vegetal e ecidrologia poderão preencher visando melhorar a previsibilidade dos sistemas de solo-vegetação-atmosfera.

A conclusão deste texto é ter mostrado uma breve atualização e revisão da relevância dos efeitos das mudanças climáticas no estado do Tocantins, em especial na funcionalidade hídrico-produtiva da vegetação, que mostrou a redução da disponibilidade hídrica como um caráter dominante nas próximas décadas, e cujos efeitos envolvem possivelmente a maioria dos ecossistemas nativos e agroecossistemas regionais.

Para os ecossistemas nativos a situação tem alta criticidade, uma vez que a migração e principalmente a extinção de espécies pode ser irreversível na prática, e com desdobramentos igualmente substanciais na cadeia ecológica.

Para os agroecossistemas resta minimamente pensar em alternativas como manejos específicos e práticas agroecológicas, e obviamente a utilização da informação da previsibilidade do tempo e do clima para auxiliar no planejamento cotidiano, cabendo ao tomador de decisão de políticas públicas acompanhar o regime climático nos próximos anos, e avaliar riscos e medidas preventivas que contemplem a adaptação às variantes climáticas.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem pelos recursos de projetos de pesquisa que auxiliaram na construção deste trabalho, em particular à CAPES/Agência Nacional de Águas (88887.144979/2017-00) e Fapesp (2019/23853-5).

Referências

AIDAR, M. P. M.; MARTINEZ, C. A.; COSTA, A. C. *et al.* Effect of atmospheric CO₂ enrichment on the establishment of seedlings of Jatobá, *Hymenaea Courbaril* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae). **Biota Neotrop.**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 1-10. 2002.

AINSWORTH, E. A.; LONG, S. P. What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. **New Phytologist**, v. 165, p. 351– 372. 2005.

AINSWORTH, E. A.; ROGERS, A. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO₂]: mechanisms and environmental interactions. **Plant, Cell & Environment**, v. 30, p. 258-270. 2007.

ASSAD, E. D. *et al.* Mudanças climáticas e a produção de grãos no Brasil: avaliação dos possíveis impactos. **Plenarium**, Brasília, v.5, n.5, p. 96 - 117, Biblioteca Digital da Camara dos Deputados, 2008.

BASLAM, M.; TOSHIKI, M.; HODGES, M.; PRIESACK, E.; HERRITT, M. T.; ARANJUELO, I.; SANZ-SÁEZ, A. Photosynthesis in a changing global climate: scaling up and scaling down in crops. **Front. Plant Sci.**, v. 11, 2020. doi: 10.3389/fpls.2020.00882.

BATES, B.; KUNDZEWICZ, Z. W.; WU, S.; PALUTIKOF, J. Climate change and water 2008, **IPCC Technical Paper VI** - ISBN 978-92-9169-123-4.

BERNACCHI, C. J.; MORGAN, P. B.; ORT, D. R. *et al.* The growth of soybean under free air [CO₂] enrichment (FACE) stimulates photosynthesis while decreasing in vivo Rubisco capacity. **Planta**, v. 220, p. 434–446. 2005.

BONAN, G. B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. **Science**, v. 320, n. 5882, p. 1444-1449. 2008.

BUSTAMANTE, M. M. C. *et al.* Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. **Braz. J. Biol.** [online], v.72, n.3. 2012.

CAMARGO-BORTOLIN, L. de; HABERMANN, E.; VICENTE, P.; BARBOZA, A.; GROppo, M.; PRADO, C.; MARTINEZ, C. Rising CO₂ in the field does not offset warming or drought constraints on leaf growth of a C3 forage. **Experimental Agriculture**, v. 56, n. 2, p. 265-279. 2020.

COLLICCHIO, E.; ROCHA, H. R.; VICTORIA, D. C.; PEREIRA, A. R.; TOLEDO, A. M. A. Zoneamento de aptidão agroclimática para a cana-de-açúcar no estado do Tocantins. **Revista Ciência Agroambiental**, Palmas, v. 2, p. 59 - 68, 2007.

COLLINS, M.; KNUTTI, R.; ARBLASTER, J.; DUFRESNE, J.-L.; FICHEFET, T.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GAO, X.; GUTOWSKI, W.J.; JOHNS, T.; KRINNER, G.; SHONGWE, M.; TEBALDI, C.; WEAVER, A. J.; WEHNER, M. Long-term Climate Change: projections, commitments and irreversibility. In: **Climate Change 2013: the physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. -K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.

DESER, C. *et al.* Uncertainty in climate change projections. **Climate Dynamics**, v. 38, p. 527–546, 2012.

DINIZ, Francisco de Assis; RAMOS, Andrea Malheiros; REBELLO, Expedito Ronald Gomes. Brazilian climate normals for 1981–2010. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.53, n.2, p.131-143, fev. 2018.

FARIA, A. P. **Ecophysiological responses of brazilian Cerrado invasive grasses to increases in CO₂ concentration and temperature**. 2015. 89 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2015.

FISHER, R. A.; WILLIAMS, M.; COSTA, A. C. L. *et al.* The response of an Eastern Amazonian rain forest to drought stress: results and modeling analyses from a through-fall exclusion experiment. **Global Change Biology**, v. 13, n.11, p. 2361 – 2378, 2007. doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01417.x.

GHINI, R.; TORRE-NETO, A.; DENTZIEN, A. F. M. *et al.* Coffee growth, pest and yield responses to free-air CO₂ enrichment. **Climatic Change**, v. 132, p. 307–320. 2015.

GROMBONE-GUARATINI, M. T.; GASPAR, M.; OLIVEIRA, V. F.; TORRES, M. A. M. G.; NASCIMENTO, A. do; AIDAR, M. P. M. Atmospheric CO₂ enrichment markedly increases photosynthesis and growth in a woody tropical bamboo from the Brazilian Atlantic Forest. **New Zealand Journal of Botany**, v. 51, n. 4, p. 275-285, 2013.

HABERMANN, E.; SAN MARTIN, J. A. B.; CONTIN, D. R.; BOSSAN, V. P.; BARBOZA, A.; BRAGA, M. R. *et al.* Increasing atmospheric CO₂ and canopy temperature induces anatomical and physiological changes in leaves of the C₄ forage species *Panicum maximum*. **PLoS ONE**, v. 14, n. 2, 2019.

IDSO, S. B.; BRAZEL, A. Rising atmospheric CO₂ concentration may increase streamflow. **Science**, v. 312. 1984.

IDSO, K.; IDSO, S. B. Plant responses to atmospheric CO₂ enrichment in the face of environmental constraints: review of past 10 years research. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 69, p. 153-203 1994.

IPCC, 2013. Annex I: Atlas of global and regional climate projections [van OLDENBORGH, G. J.; COLLINS, M.; ARBLASTER, J.; CHRISTENSEN, J. H.; MAROTZKE, J.; POWER, S. B.; RUMMUKAINEN, M.; ZHOU, T. (eds.)]. In: **Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. -K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.

MAGRIN, G. O.; MARENGO, J. A.; BOULANGER, J. P.; BUCKERIDGE, M. S.; CASTELLANOS, E.; POVEDA, G.; SCARANO, F. R.; VICUÑA, S. Central and South America. In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [BARROS, V.R.; FIELD, C. B.; DOKKEN, D. J.; MASTRANDREA, M. D.; MACH, K. J.; BILIR, T. E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K. L.; ESTRADA, Y. O.; GENOVA, R. C.; GIRMA, B.; KISSEL, E. S.; LEVY, A. N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P. R.; WHITE, L. L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1499-1566. 2014.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R. P.; ALVES, L. M.; CUADRA, S. V.; VALVERDE, M. C.; TORRES, R. R.; SANTOS, D. C.; FERRAZ, S. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate Dynamics**, v. 35, n. 6, p. 1073-1097. 2010.

MARTINEZ, C. A.; BIANCONI, M.; SILVA, L.; APPROBATO, A.; LEMOS, M.; SANTOS, L.; MANCHON, F. Moderate warming increases PSII performance, antioxidant scavenging systems and biomass production in *Stylosanthes capitate* Vogel. **Environmental and Experimental Botany**, v.102, p. 58–67. 2014.

MORGAN J. A.; LECAIN, D. R.; PENDALL, E. *et al.* C₄ grasses prosper as carbon dioxide eliminates desiccation in warmed semi-arid grassland. **Nature**, v. 476, p. 202–205. 2011. 10.1038/nature10274

NAKICENOVIC, N.; ALCAMO, J.; GRUBLER, A.; RIAHI, K.; ROEHRL, R.; ROGNER, H. H.; VICTOR, N. **Special Report on Emissions Scenarios (SRES), A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L. de; RÜTHER, R.; ABREU, S. L. de; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. de. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

PBMC. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Base científica das mudanças climáticas**: contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. In: AMBRIZZI, T.; ARAUJO, M. (eds.). Rio de Janeiro: COPPE-UFRJ, 2014. 464 p.

RIAHI, K. *et al.* The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 153 – 168. 2017.

RUANE, A. C.; ROSENZWEIG, C. Climate change impacts on agriculture. In: PINGALI, P.; SERRAJ, R. (Eds.) **Agriculture & Food Systems to 2050**: global trends, challenges and opportunities. New Jersey: World Scientific Publishing. chapter 5, v. 2. p. 161-191, 2019.

SODEN, Brian J.; COLLINS, William D.; FELDMAN, Daniel R. Reducing uncertainties in climate models. **Science**, v. 361, n. 6400, p. 326-327. 2018. DOI: 10.1126/science.aau1864

SOUSA, P. A. B. de; BORGES, R. S. T.; DIAS, R. R. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública - SEPLAN. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico - DZE. **Atlas do Tocantins**: subsídios ao planejamento da gestão territorial. 6. ed. rev. atu. Palmas: Seplan, 80 p. 2012.

SOUZA, A. P. de; GASPAR, M.; SILVA E. A. da; ULIAN, E. C.; WACLAWOVSKY, A. J.; NISHIYAMA, M. Y. JR.; SANTOS, R. V. dos, TEIXEIRA, M. M.; SOUZA, G. M.; BUCKERIDGE, M. S. Elevated CO₂ increases photosynthesis, biomass and productivity, and modifies gene expression in sugarcane. **Plant Cell Environ.** v. 31, n. 8, p.1116-27. 2008. doi: 10.1111/j.1365-3040.2008.01822.x.

SOUZA, J. P.; MELO, N. M. J.; HALFELD, A. D.; VIEIRA, K. I. C.; ROSA, B. L. Elevated atmospheric CO₂ concentration improves water use efficiency and growth of a widespread Cerrado tree species even under soil water deficit. **Acta Botanica Brasilica**, v. 33, p. 425-436, 2019.

SOUZA, J. P.; MELO, N. M. J.; PEREIRA, E. G.; HALFELD, A. D.; GOMES I. N.; PRADO C. H. B. Responses of woody Cerrado species to rising atmospheric CO₂ concentration and water stress: gains and losses. **Functional Plant Biology**, v. 43, p.1183-1193, 2016.

STOCKER, T. *et al.* **Climate change 2013**: the physical science basis. The Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5). Cambridge University Press, Cambridge, University Press, New York. 2013.

SIQUEIRA, M. F.; PETERSON, A. T. Consequences of global climate change for geographic distributions of Cerrado tree species. **Biota Neotropica**, v. 3, n. 2, p. 1-14. 2003.

STRECK, N. A.; SILVA, S. D. da; LANGNER, J. A. Assessing the response of maize phenology under elevated temperature scenarios. **Rev. Bras. Meteorol.**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 1-12. 2012.

TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. A. An overview of CMIP5 and the experiment design. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 4, p. 485-498. 2012.

TORETI, A.; DERYNG, D.; TUBIELLO, F. N.; KIMBALL, B. A.; MOSER, G.; BOOTE, K.; ASSENG, S.; PUGH, T. A. M.; VANUYTRECHT, E.; PLEIJEL, H.; WEBBER, H.; DURAND, J. L.; DENTENER, F.; CEGLAR, A.; WANG, X.; BADECK, F.; LECERF, R.; WALL, G. W.; VAN DEN BERG, M.; HOEGY, P.; LOPEZ-LOZANO, R.; ZAMPIERI, M.; GALMARINI, S.; O'LEARY, G. J.; MANDERSCHIED, R.; MENCOS CONTRERAS, E.; ROSENZWEIG, C. Narrowing uncertainties in the effects of elevated CO₂ on crops. **Nature Food**, v. 1, n. 12, p. 775-782. 2020.

VELAZCO, S. J. E.; VILLALOBOS, F.; GALVÃO, F.; DE MARCO JÚNIOR, P. A dark scenario for Cerrado plant species: effects of future climate, land use and protected areas ineffectiveness. **Diversity & Distributions**, v. 25, n. 4, p. 660–673. 2019.

VUUREN, D. P. V. *et al.* The representative concentration pathways: an overview. **Climatic Change**, v. 109, p. 5-31. 2011.

WALTER, L. C.; STRECK, N. A.; ROSA, H. T. *et al.* Mudanças climáticas e seus efeitos no rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 49, n. 12, p. 915-924. 2014.

WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; STRECK, N. A. Mecanismos de aclimação das plantas à elevada concentração de CO₂. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.9, p. 1564-1571. 2015.

YANG, L.; HUANG, J.; YANG, H.; DONG, G.; LIU, G.; ZHU, J.; WANG, Y. Seasonal changes in the effects of free-air CO₂ enrichment (FACE) on dry matter production and distribution of rice (*Oryza sativa* L.). **Field Crops Research**, v. 98, n. 1, p. 12–19. 2006.

Cenários Prospectivos de Mudanças Climáticas para o Estado do Tocantins

Erich Collicchio¹; Humberto Ribeiro da Rocha²; Daniel de Castro Victória³ e André de Moura Andrade⁴

¹Prof. Associado II da Universidade Federal do Tocantins - UFT; ²Professor do Departamento de Ciências Atmosféricas/IAG/Universidade de São Paulo; ³Pesquisador da Embrapa Agricultura Digital e ⁴Engenheiro Ambiental, Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins - Semarh

1- Introdução

As condições climáticas influenciam diretamente nas atividades humanas, seja na produção agrícola, no sistema econômico, como também no bem-estar da população e nas suas relações sociais. Assim, o ser humano é dependente das condições que o clima lhe impõe e, está sujeito as suas variações, sejam elas positivas ou negativas.

O estado do Tocantins está sob domínio do clima tropical semiúmido, predominante na região central do Brasil, sendo caracterizado por ocorrer um período estacional seco e outro chuvoso. Apresenta normalmente uma estação com estiagem de cerca de 4 a 5 meses, e a ocorrência de chuvas concentradas no verão. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é considerado do tipo Aw – Tropical de verão úmido e período de estiagem no inverno (ROLDÃO; FERREIRA, 2019; SEAGRO, 2019).

A regionalização climática do Estado do Tocantins foi realizada adotando-se o Método de Thornthwaite (1948), que resultou na ocorrência de três grandes regiões climáticas: a) Clima úmido com moderada deficiência hídrica (B1wA'a'); b) Clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica (C2wA'a''); e c) Clima úmido subúmido com pequena deficiência hídrica (C2wA'a'). O tipo Clima C2wA'a'', apresenta a maior abrangência, estando distribuído em quase todo o Estado, com exceção das regiões localizadas no Bico do Papagaio (norte), oeste/sudoeste e parte do sudeste. Quanto ao tipo Clima B1wA'a', apresenta a segunda maior área de ocorrência, o qual corresponde a duas regiões descontínuas, sendo uma localizada na parte oeste/sudoeste do Estado, abrangendo de sul a norte da Ilha do Bananal e a outra envolvendo a região norte. Já a ocorrência do tipo Clima C2wA'a', com menor predominância, abrange a região sudeste do Estado (TOCANTINS, 2012).

Roldão; Ferreira (2019) realizaram outra classificação do clima, considerando 56 localidades do Estado, utilizando o mesmo método e associando-o aos valores das classes de índice de umidade (Iu) de cada tipo climático, Os tipos climáticos pelo

método são: a) Semiúmido seco (C1); b) Semiúmido (C2); c) Úmido (B1); d) Úmido (B2) e e) Úmido (B3). O tipo climático Úmido (B1) apresenta predominância no Tocantins, sendo constatado em 61% das localidades estudadas, distribuídas por todo o território. O clima Úmido (B2), é o segundo com maior ocorrência, estando presente na parte central e estendendo-se para o oeste e noroeste, sendo notado uma pequena área no sudeste do Estado. Não foi observado a ocorrência do clima tipo C1.

O aprimoramento do conhecimento acerca das características climáticas do estado do Tocantins, especialmente temperatura do ar, pluviosidade e outras variáveis do balanço hídrico é necessário e diretamente aplicável à busca de melhor entendimento sobre as tipologias de vegetação nativa, regimes fluviais e ocupação das terras, especialmente quanto aos processos produtivos relacionados às *commodities* agrícolas (ROLDÃO; FERREIRA, 2019).

Ao mesmo tempo, as mudanças climáticas que estão acontecendo no planeta, as quais são resultantes em grande parte das atividades humanas não sustentáveis, poderão refletir em amplos impactos nos sistemas naturais e antrópicos. Destaca-se que os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), têm constatado o crescente volume de emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE), sendo observado os maiores registros da história no período mais recente (IPCC, 2007; IPCC, 2013; IPCC, 2021).

Nesse contexto, torna-se primordial entender seus processos, bem como realizar estudos considerando cenários futuros para o clima (SOUZA; MANZI, 2014; BRASIL, 2016; MARENGO; CHOU, 2017; ASSAD *et al.*, 2020).

“Tais alterações climáticas terão amplos efeitos no Brasil e no mundo, atingindo áreas diversas, como recursos hídricos, agricultura, energia, infraestrutura urbana e costeira, transportes e saúde, dentre outras” (ASSAD *et al.*, 2020).

Para a realização de estudos de projeções de mudanças do clima, são utilizados modelos climáticos distintos e um conjunto de cenários com especificidades relacionadas aos relatórios de avaliação do IPCC (NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2008; FBMC, 2010; CUBASCH *et al.*, 2013; MARENGO; CHOU, 2017).

As projeções de mudanças no sistema climático são produzidas usando uma hierarquia de modelos climáticos que vão desde modelos climáticos simples, passando por modelos de média complexidade, até modelos de categoria Sistema Terrestre (Earth System Models – ESM). Esses modelos simulam mudanças com base em um conjunto de cenários de forçantes antrópicas. Os cenários, chamados SRES (Special Report Emission Scenarios), que foram considerados para gerar as projeções de clima no Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) TAR e AR4 em 2007 e 2011, respectivamente, foram utilizados pelos modelos climáticos globais no âmbito do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados – Fase 3 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 3 – CMIP3) do World Climate Research Programme (WCRP). Outro conjunto de cenários, os chamados Trajetórias de Concentração Representativa (Representative Concentration Pathways - RCP), foi utilizado pelos modelos climáticos globais, no âmbito do CMIP5. Essas projeções e simulações subsidiaram o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC AR5 (Fifth Assessment Reports) apresentados nos relatórios dos Grupos de Trabalho I (MARENGO; CHOU, 2017).

Os modelos matemáticos do sistema climático global são as melhores ferramentas para realizar projeções de cenários prováveis de mudanças climáticas para o futuro (NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2008; FBMC, 2010). Isso porque esses modelos consideram quantitativamente o comportamento dos compartimentos climáticos, vegetação, ciclagem biogeoquímica, dentre outros, bem como suas interações (FBMC, 2010). Contudo, existem fontes de incertezas inerentes às projeções do clima, associadas a estes modelos.

Entretanto, o Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC (2013), que refere-se às bases das ciências físicas, aponta que houve o aumento do grau de conhecimento do sistema climático em relação ao Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do IPCC, devido ao maior número de observações, com melhor qualidade, maior diversidade, maior cobertura geográfica, e melhor tratamento dos dados.

Outros modelos climáticos com resolução mais alta, foram incorporados aos estudos, bem como houve o aprimoramento dos modelos tornando-os mais realistas e com isso, favorecendo a melhor caracterização das incertezas.

Ressalta-se que ocorreu o aumento da resolução geográfica e vertical dos modelos climáticos globais, utilizados como referências nos relatórios de avaliação do IPCC desde 1990 (LENART, 2008; CUBASCH *et al.*, 2013).

Como exemplos de modelos climáticos com maior resolução, cita-se os modelos climáticos regionais (MCR), Eta MIROC5 e Eta HadGEM2 ES, aplicados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esses modelos são resultantes do *downscaling* de dois modelos climáticos globais de mudanças climáticas, o MIROC5 (Model for Interdisciplinary Research on Climate) e o HadGEM2 ES (Hadley Centre Global Environmental Model version 2 Earth System), respectivamente.

Nesse contexto, o IPCC (2021) destaca que, “os modelos climáticos continuam a melhorar, tornando-se mais aperfeiçoados na captura de processos complexos e de pequena escala e na simulação das condições climáticas médias atuais”.

Diante do exposto, o presente capítulo tem como objetivo de realizar um breve estudo das condições climáticas atuais e de projeções de cenários climáticos futuros do estado do Tocantins, considerando os resultados de dois modelos climáticos e de dois cenários distintos, utilizados em cada um dos relatórios de avaliação do IPCC, AR4 e AR5, para o período de 2021 a 2050.

2 - Procedimentos metodológicos

A área de estudo compreende o limite político-administrativo do estado do Tocantins, localizado na região Norte do Brasil, que apresenta uma área total de 277.620 km².

Para a realização deste estudo, foi utilizado o banco de dados meteorológicos do Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais da Universidade Federal do Tocantins – LAMAM/UFT, organizado por Collicchio (2008), proveniente de 110 estações meteorológicas e pluviométricas localizadas no Tocantins e estados circunvizinhos, compreendidas entre os paralelos 4°30' e 13°30' S e meridianos 45°30' e 51°30' W (Figura 1).

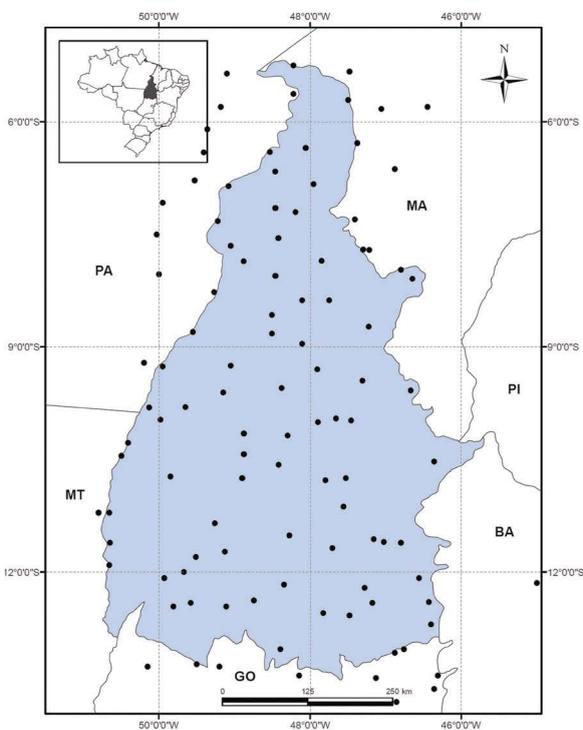


Figura 1 – Distribuição das estações meteorológicas e pluviométricas no estado do Tocantins e no seu entorno

Com base nesse banco de dados, foi apresentada uma análise da situação do clima atual, bem como serviu para projetar o clima do estado do Tocantins para o período de 2021 – 2050, tendo como referência os resultados da combinação de modelos climáticos e cenários futuros, para o referido período, relativos ao Quarto Relatório de Avaliação (AR4) e Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC (Figura 2).

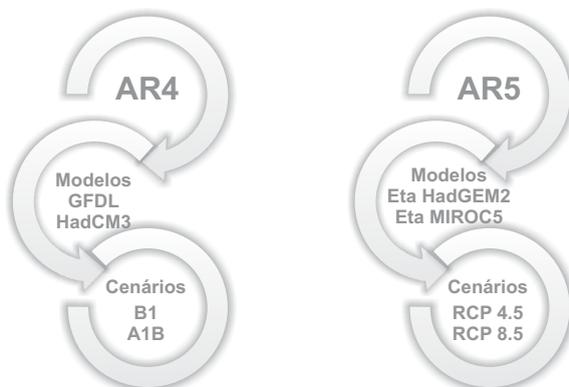


Figura 2 - Esquema mostrando os modelos climáticos e seus respectivos cenários de mudanças climáticas, considerando o Quarto e Quinto Relatórios de Avaliação do IPCC (AR4 e AR5)

Na primeira parte deste capítulo, estudou-se o clima atual e as projeções do clima do Tocantins, considerando o Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (AR4).

Apoiado nos dados observacionais, obteve-se a climatologia atual do Estado, a partir das estimativas das evapotranspirações potenciais pelo método de Thornthwaite (1948) e o cálculo do balanço hídrico climatológico (BHC) de Thornthwaite; Mather (1955), de cada localidade, conforme simplificado por Pereira (2005). Para calcular o balanço hídrico, considerou-se a capacidade de água disponível do solo ($CAD = 100 \text{ mm}$). Esse procedimento foi executado por meio da interface desenvolvida por Victoria *et al.* (2007), que utilizaram a calculadora de mapas do GRASS GIS, onde gerou-se mapas das temperaturas médias mensais e anuais, precipitações mensais e anuais e deficiências hídricas médias mensais e anuais, sendo esse último parâmetro resultante do BHC.

Com relação às projeções dos possíveis reflexos do clima futuro no estado do Tocantins, considerando o Relatório de Avaliação AR4, foram usados os dados de dois modelos climáticos (Atmosphere-Ocean General Circulation Models - AOGCM) que participaram dos estudos do IPCC (2007), considerando dois cenários de emissões.

Utilizou-se os dados de saída dos modelos Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL - CM 2.1), do National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA, dos Estados Unidos e do Hadley Centre Coupled Model, version 3 (HadCM₃), do Hadley Centre for Climate Prediction and Research, da Inglaterra, por serem discordantes quanto às estimativas de temperatura e especialmente de precipitação. Os dados provenientes dos modelos GFDL e HadCM₃ foram relacionados aos cenários de emissões B₁ (cenário de baixa emissão - otimista) e A₁B (cenário intermediário), com projeções do clima para o período entre 2021 e 2050.

Visto que os dados referentes ao clima presente simulado pelos modelos, apresentam desvios em relação aos do clima observado, foi necessário fazer um procedimento de correção com o objetivo de adequar os dados simulados à realidade, utilizando-se o método conforme adotado por Minguéz *et al.* (2004) e Salati *et al.* (2007).

A partir dos dados corrigidos, procedeu-se as estimativas das evapotranspirações potenciais e o cálculo do balanço hídrico climatológico, conforme descrito anteriormente, obtendo-se assim, as temperaturas médias mensais e anuais, precipitações mensais e anuais e deficiências hídricas médias mensais e anuais para o período de 2021 e 2050, com base nos modelos GFDL e HadCM₃, relacionados aos cenários B₁ e A₁B,

As projeções de clima futuro de acordo com os dois modelos e dois cenários usados para o período do estudo, resultou em quatro simulações por parâmetro climático analisado.

Para a realização das projeções do clima para o estado do Tocantins, considerando o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5), foram executadas as etapas descritas de forma resumida, conforme a seguir.

Os dados adquiridos dos dois modelos regionalizados, Eta MIROC5 e Eta HadGEM2 ES, disponibilizados pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foram recortados para as dimensões geográficas e temporal de interesse, que referem-se ao estado do Tocantins e ao período de 2021 a 2050.

As médias mensais de temperatura e precipitação desses arquivos multidimensionais foram realizadas e suas correções com as médias dos dados observacionais amostrados de 110 estações espacializadas, foram feitas pelo método de Lenderink *et al.* (2007), para diminuir os erros tendenciais das variáveis estimadas, em relação às séries históricas consistidas.

Em seguida, procedeu-se o balanço hídrico de Thornthwaite; Mather (1995), utilizando a CAD = 150 mm, com uma rotina algorítmica em *Python*, desenvolvida por Victoria *et al.* (2007), e adaptada para a interface no sistema de informações geográficas, ArcGIS.

Assim sendo, foram obtidas as temperaturas médias mensais e anuais, precipitações mensais e anuais e deficiências hídricas médias mensais e anuais, entre os anos de 2021 e 2050, para os cenários tendencial (RCP 4.5) e pessimista (RCP 8.5), considerando os modelos Eta HadGEM 2 ES e Eta MIROC5.

O uso de dois níveis de emissões, RCP 4.5 e RCP 8.5, e os dois modelos climáticos, resultaram em quatro simulações que correspondem a quatro possibilidades de projeções de clima futuro.

3 - Resultados da situação climática atual e dos possíveis efeitos das mudanças do clima, no estado do Tocantins para o período de 2021-2050

3.1 - Situação climática atual do estado do Tocantins

Considerando a condição do clima atual do estado do Tocantins, apresenta-se a seguir uma análise qualitativa e espacial, referentes especialmente aos parâmetros climáticos/hídricos, temperatura do ar, precipitação pluviométrica e deficiência hídrica.

Com referência à estimativa da temperatura média anual do Estado, obteve-se no presente estudo, o valor de 25,7°C, variando de 23,9°C a 27,5°C, com uma amplitude térmica de 3,6°C. Pela Figura 3a, percebe-se um aumento da temperatura nos sentidos leste-oeste, sudeste-centro e de noroeste para o centro do Estado.

Nota-se compatibilidade entre os resultados observados neste trabalho, com os valores e padrões espaciais de temperatura média anual estimados por Roldão; Ferreira (2019), que consideraram os dados do projeto Reanalysis do National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR).

Em relação à precipitação média anual no Tocantins, calculou-se que é de aproximadamente 1676 mm, com uma variação de 1255 a 2152 mm. Verifica-se também, uma similaridade do valor médio precipitação anual estimado por Roldão; Ferreira (2019), que foi de 1643 mm.

Percebe-se que as maiores concentrações de chuva são conferidas numa pequena porção à sudeste, e em uma área mais extensa, que abrange desde a região noroeste até a região oeste do Estado (Figura 3b).

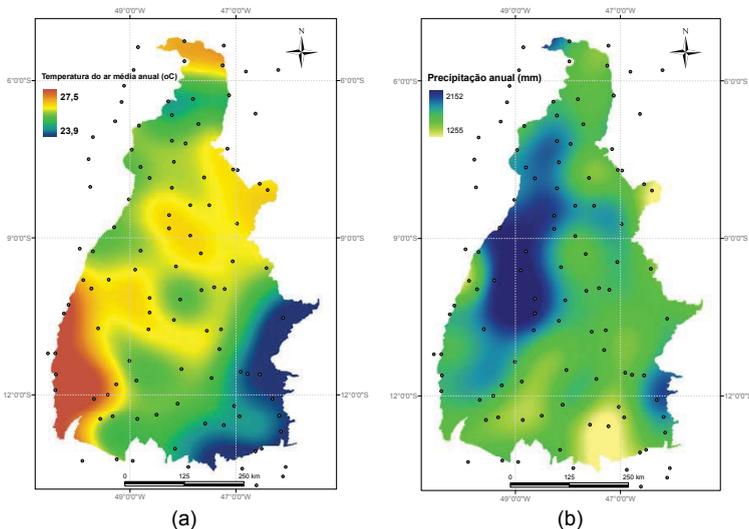


Figura 3 - (a) Temperatura do ar média anual (°C) e (b) precipitação média anual (mm) no estado do Tocantins

Moura; Vitorino; Adami (2018), ressaltam que essas regiões mais chuvosas, estão localizadas em ambientes fitofisionômicos de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia, onde no contexto regional amplo, apresentam os principais sistemas geradores de chuvas no Tocantins.

Já as menores precipitações, são observadas nas regiões sudeste e nordeste do Tocantins, destacando-se o município de Paran , localizado na região sudeste, onde verificou-se o volume pluviométrico médio anual de 422 mm, que está abaixo da média estadual (Figura 3b).

De acordo com a Figura 4, verifica-se que os meses que atingem temperaturas médias mais baixas, ocorrem em junho e julho (24,9 e 24,7 C), coincidindo com os meses mais secos, sendo observada a temperatura média mais elevada, em setembro, com 27,1 C.

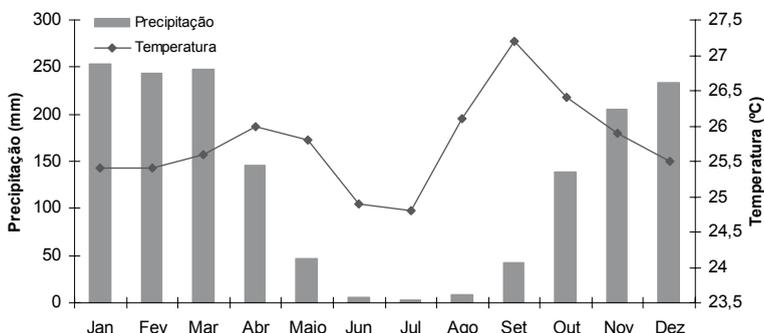


Figura 4 - Médias mensais da temperatura e totais médios mensais de precipita o, no estado do Tocantins

Nota-se que mais de 90% do total de chuvas acumuladas durante o ano, ocorrem normalmente no período de outubro a abril, sendo mais chuvoso no trimestre referente aos meses de janeiro a março, correspondendo a 47% do total anual.

A esta o da seca varia dependendo da região, de 3 a 6 meses, no entanto considerando precipita es mensais inferiores a 50 mm, o Estado apresenta em média 5 meses de seca, que inicia no mês de maio e finaliza em setembro, retratando o padrão sazonal das chuvas (Figura 4). Destaca-se que o m s de janeiro, caracteriza-se por ser o mais chuvoso (253 mm) e julho o mais seco (3 mm).

O conhecimento do balanço hídrico e da distribui o espaço-temporal da disponibilidade hídrica   importante porque auxilia na formula o de diretrizes para a implementa o de políticas, que favorecem o planejamento urbano e agroambiental, do uso racional da água, bem como fornece subsídios para a elabora o do zoneamento agrícola de risco climático e de aptidão agroclimática para o plantio de culturas comerciais.

No que refere-se à estimativa da deficiência hídrica anual (Da) no Estado, constatou-se que variou de 245 a 587 mm, com uma amplitude de 342 mm.

Percebe-se que na região noroeste do Estado foi observada a menor deficiência hídrica. Por outro lado, as maiores deficiências hídricas foram verificadas especialmente nas regiões sudoeste, nordeste e extremo norte do Estado (Figura 5).

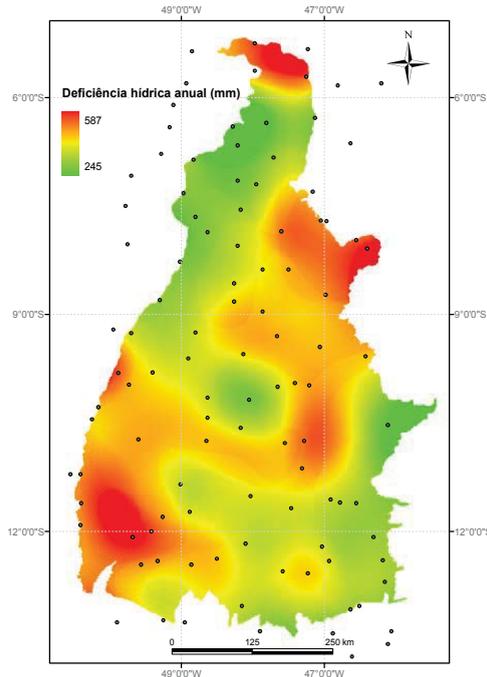


Figura 5 - Deficiência hídrica anual (em mm), no estado do Tocantins

A deficiência hídrica anual média calculada para o Tocantins, equivale a 411 mm, semelhante ao obtido por Roldão; Ferreira (2019), que foi de 414 mm.

Quando compara-se a Da do Tocantins, com outras regiões do centro-sul do país, verifica-se que é considerada elevada. Em Ituverava, no estado de São Paulo, por exemplo, onde a precipitação anual média atinge 1.460 mm, observa-se que a deficiência hídrica corresponde a 184 mm nos meses de abril a setembro, com um excedente hídrico de 464 mm nos meses de novembro a março (GARCIA, 2010). Em Jataí - Goiás, o total de chuvas é de 1.410 mm.ano⁻¹ e a evapotranspiração potencial de 613,7 mm.ano⁻¹, mas apesar disso, o balanço hídrico aponta para um déficit hídrico anual de 107,8 mm, concentrado nos meses de junho a setembro (CRUZ; HERNANDEZ; VANZELA, 2006). Nos municípios de Sinop, Sorriso e Lucas do Rio Verde, em Mato Grosso, observam-se deficiências hídricas anuais referentes a 284 mm, distribuídas entre maio e setembro, e excedente hídrico anual de 931,34 mm concentrados entre novembro e abril (SOUZA *et al.*, 2013).

3.2 - Projeções do clima para o estado do Tocantins, considerando dois modelos e cenários do AR4/IPCC, para o período de 2021 a 2050

De acordo com os resultados observados na Tabela 1, a temperatura anual média da climatologia atual (25,7°C) aumentaria para ambos os modelos e cenários, sendo que o maior incremento constatado foi no Modelo/Cenário HadCM₃_A₁B, cuja temperatura atingiria 27,7°C, e a menor foi obtido no HadCM₃_B₁, com 27,2°C.

Quanto à amplitude de cada classe analisada de modelos/cenários, que mostra a dispersão entre os menores e maiores valores de temperatura espacializados, observa-se que houve pouca diferença entre elas, com um pequeno acréscimo (0,4°C), para todos os modelos/cenários, com exceção do HadCM₃_A₁B, que houve uma redução (0,6°C).

Tabela 1 - Valores médios anuais, diferenças entre os dados observados estimados (Dif.) e amplitude, calculados para a temperatura e precipitação, considerando os modelos e cenários de mudanças climáticas em relação ao clima na condição atual (observado)

Modelos/ Cenários	Temperatura anual - Ta (°C)			Precipitação anual - Pre (mm)		
	Ta média	Dif. Ta	Amplitude	Pre média	Dif. Pre	Amplitude
Clima Atual	25,7	-	3,6	1676	-	897
GFDL_B ₁	27,4	+ 1,7	4,0	1615	- 61	1269
GFDL_A ₁ B	27,5	+ 1,8	4,0	1543	- 133	1074
HadCM ₃ _B ₁	27,2	+ 1,5	4,0	1480	- 196	797
HadCM ₃ _A ₁ B	27,7	+ 2,0	3,0	1542	- 134	967

I - Médias do aumento da Ta média em relação ao clima atual:

a) modelos: GFDL = +1,7°C e HadCM₃ = +1,8°C; b) cenários: B₁ = +1,6°C e A₁B = +1,9°C

II - Médias da diferença da Pre média em relação ao clima atual:

a) modelos: GFDL = - 6 % e HadCM₃ = - 10 %; b) cenários: B₁ = - 8 % e A₁B = - 8 %

Ao contrário do ocorrido com a temperatura, registrou-se uma redução da precipitação média anual do clima atual (1676 mm), para os dois cenários de ambos os modelos. O HadCM₃_B₁ com 1480 mm, foi o que mais diminuiu, correspondendo a uma redução média de 12%.

As variações espaciais da temperatura e precipitação da climatologia atual e de ambos modelos/cenários podem ser visualizadas nas Figuras 6 e 7.

Comparando as médias dos resultados dos modelos (Tabela 1), destaca-se que em relação à climatologia atual, houve um incremento semelhante quanto à temperatura do ar e um decréscimo da precipitação anual em ambos, mas com maior viés negativo quanto à precipitação gerada pelo modelo HadCM₃, concordando com o apresentado por Marengo (2006).

As temperaturas médias anuais para ambos os modelos, foram semelhantes numericamente, mas as estimativas médias da precipitação geradas pelo modelo HadCM3 foram menores, tanto em relação à climatologia atual, quanto para o modelo GFDL.

Percebe-se que para o modelo GFDL, houve um incremento médio de 1,7°C em relação ao clima atual e praticamente não mostrou diferença entre cenários B₁ (+1,7°C) e A₁B (+1,8°C), cujas temperaturas médias foram 27,4°C e 27,5°C, respectivamente. No entanto, nota-se a diferença no total anual de precipitação entre os cenários B₁ e A₁B, com 1615 mm e 1543 mm, respectivamente e com média do modelo de 1579 mm.

Em relação ao clima atual, houve uma redução na média da precipitação do modelo, de aproximadamente 6 %, sendo que a diminuição média observada no cenário B₁, foi de 4 % e no cenário A₁B, foi o dobro.

Considerando o modelo HadCM₃, nota-se que o aumento médio da temperatura anual em relação à do clima atual, foi de 1,8°C, semelhante à média do modelo GFDL (+1,7°C). Contudo, nesse caso existe diferença quanto à magnitude entre os cenários B₁ e A₁B, de 0,5°C, os quais apresentaram Ta média de 27,2°C (acréscimo de 1,5°C) e 27,7°C (acréscimo de 2,0°C), respectivamente (Tabela 1).

Nota-se também, a ocorrência de diferença entre os totais anuais de precipitação para os dois cenários, sendo observado 1480 mm em B₁ e 1542 mm em A₁B. A média do modelo HadCM₃ foi de 1511 mm, sendo inferior a do GFDL, em 68 mm, correspondendo a uma redução de 4 %, da precipitação no ano, do GFDL para o HadCM₃.

Visualizando-se apenas as médias dos cenários dos dois modelos, depreende-se que haveria um acréscimo de 1,6°C e 1,9°C, para os respectivos cenários B₁ e A₁B. Já para a precipitação anual média, verificou-se uma redução de 8 % das chuvas anuais para ambos os cenários.

As Figuras 8 e 9 mostram as diferenças da temperatura média e precipitação anual da climatologia atual, e as temperaturas e precipitações provenientes das projeções dos modelos/cenários estudados.

No GFDL_B₁ observa-se um incremento da temperatura média anual em todo o Estado, com ênfase numa faixa diagonal estendendo-se no sentido sudoeste-nordeste. No GFDL_A₁B verifica-se a expansão desta faixa de aquecimento tendendo para o sul-sudeste do Tocantins.

Com relação ao HadCM₃_B₁ nota-se também um incremento da temperatura média em todo o território, bem como maior aquecimento numa faixa diagonal, à semelhança do GFDL_B₁, porém com menor área. No HadCM₃_A₁B esta faixa de aquecimento estende-se significativamente em largura, tanto para o nordeste quanto para o sul-sudeste do Estado, além de aumentar ainda mais a temperatura na região do Bico do Papagaio.

Ressalta-se que esses incrementos na temperatura simulados pelos modelos/cenários, são projeções que podem ocorrer nos próximos 30 anos (até meados deste século), o que são significativos, quando comparados com o aumento médio da temperatura global no século XX registrada em 0,6°C (MARENGO, 2006; IPCC, 2007) e de cerca de 1,1°C em relação ao período pré-industrial (IPCC, 2021).

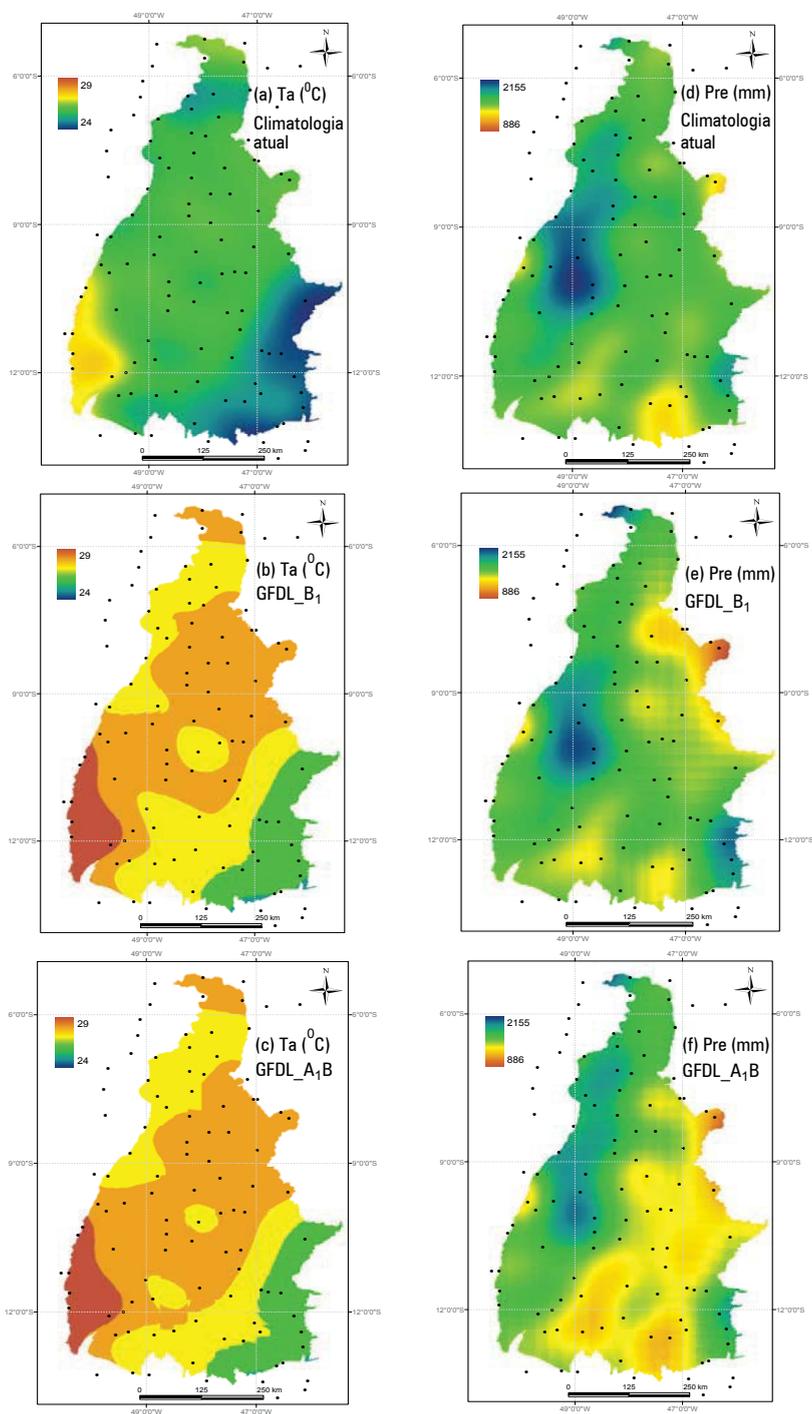


Figura 6 – Temperatura média anual - Ta (°C) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário GFDL_B1 e (c) modelo/cenário GFDL_A1B e precipitação anual - Pre (mm) referente à: (d) climatologia atual; (e) modelo/cenário GFDL_B1 e (f) modelo/cenário GFDL_A1B, para o período entre 2021 e 2050

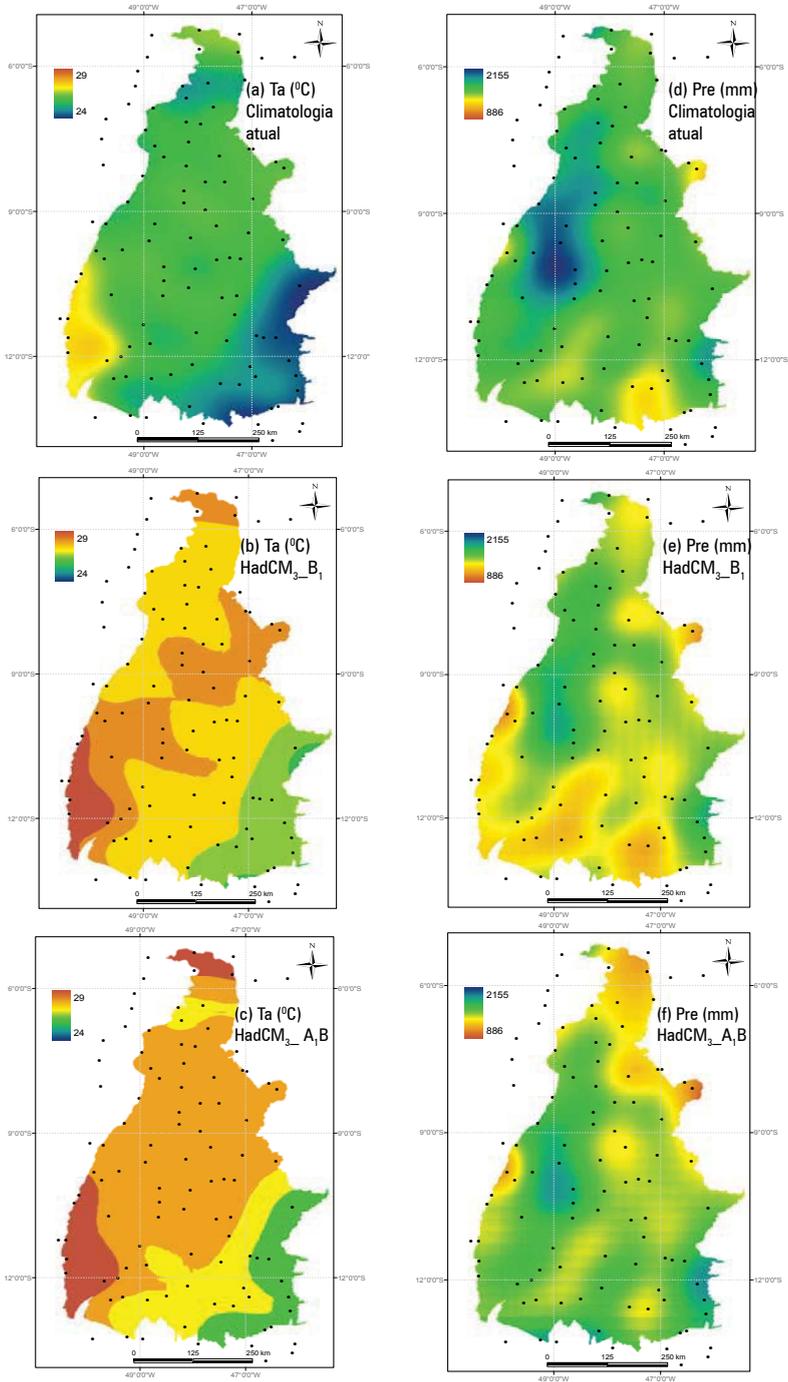


Figura 7 – Temperatura média anual - Ta (°C) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário HadCM₃_B₁ e (c) modelo/cenário HadCM₃_A₁B e precipitação anual - Pre (mm) referente à: (d) climatologia atual; (e) modelo/cenário HadCM₃_B₁ e (f) modelo/cenário HadCM₃_A₁B, para o período entre 2021 e 2050

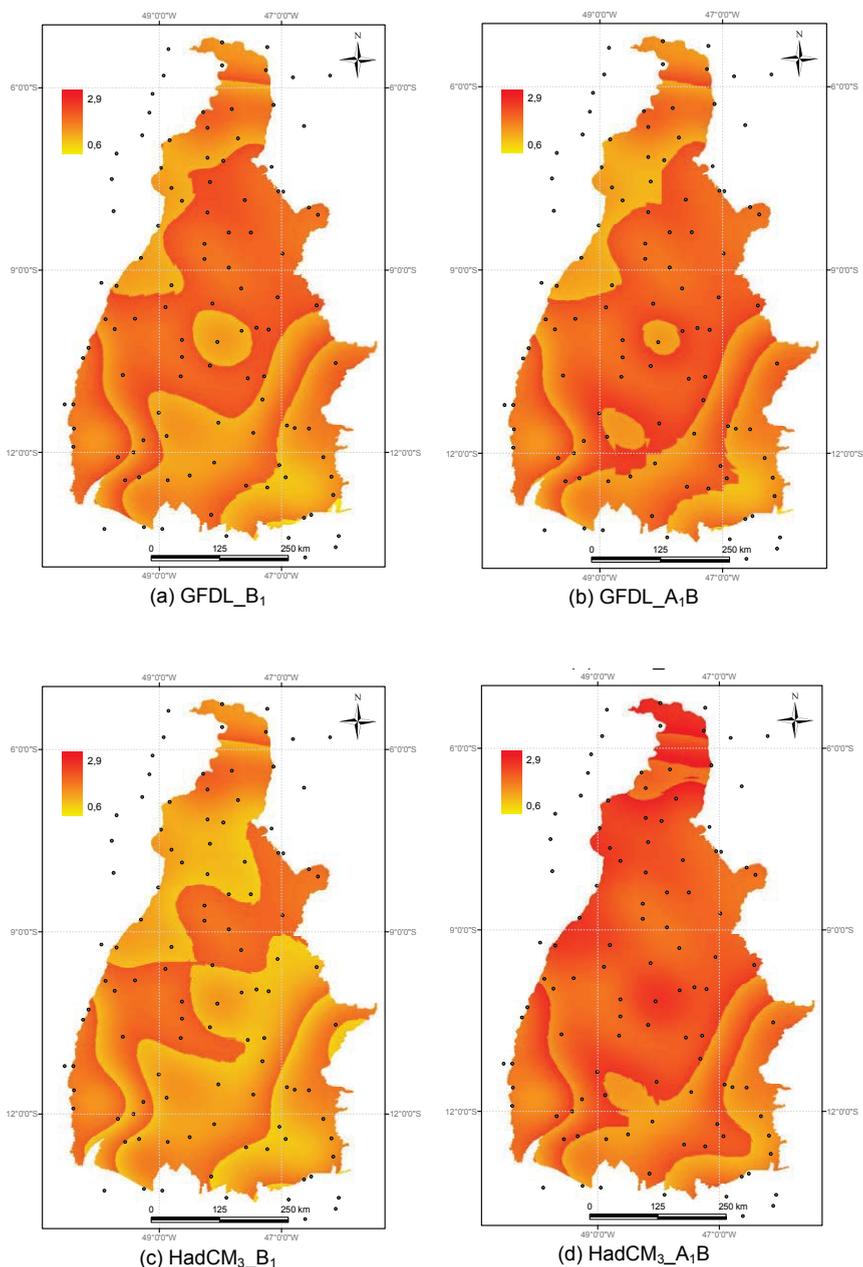


Figura 8 - Diferenças das temperaturas provenientes dos modelos/cenários: (a) GFDL_B1, (b) GFDL_A1B, (c) HadCM3_B1 e (d) HadCM3_A1B (°C), para o período de 2021 a 2050, e a temperatura média anual da climatologia atual (°C)

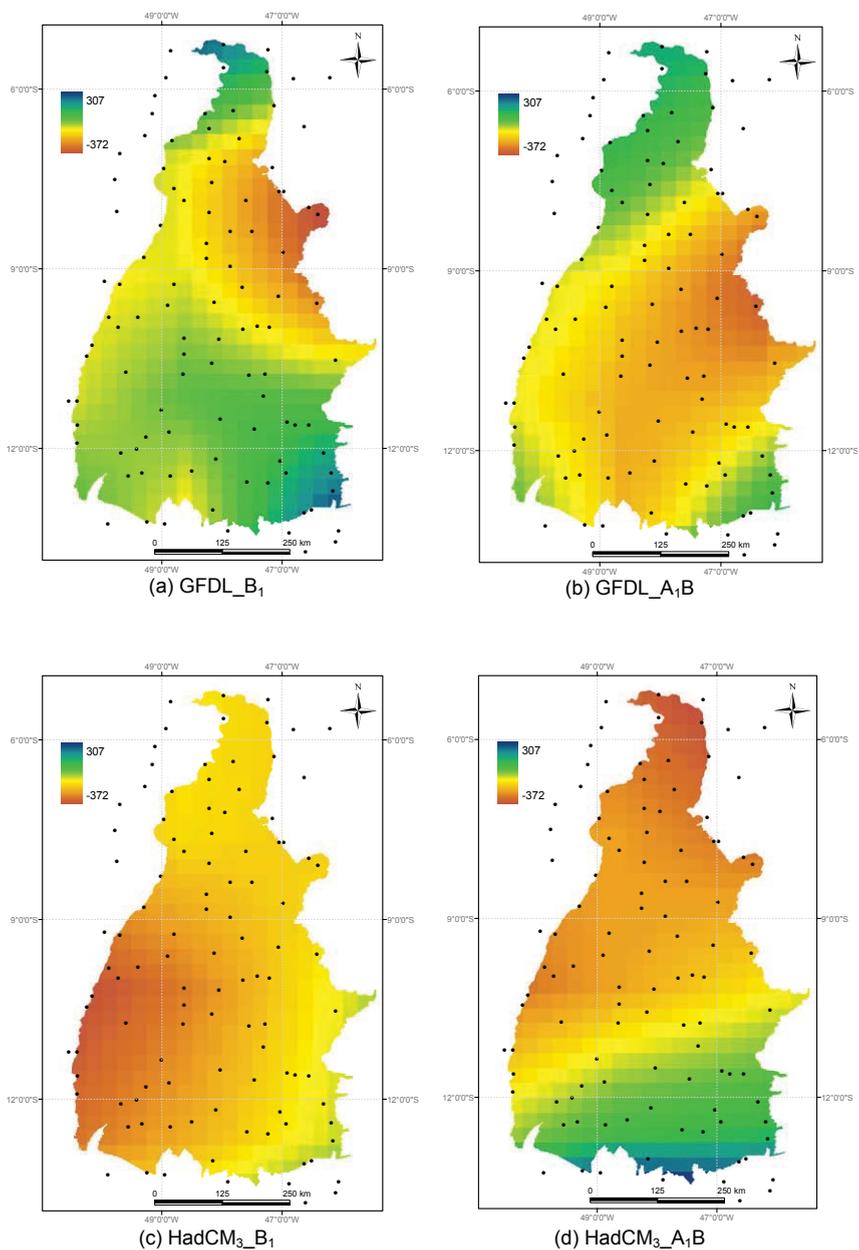


Figura 9 - Diferenças das precipitações provenientes dos modelos/cenários: (a) GFDL_B1, (b) GFDL_A1B, (c) HadCM3_B1, e (d) HadCM3_A1B (mm), para o período de 2021 a 2050, e a precipitação anual da climatologia atual (mm)

O relatório do PBMC (2014), cita o estudo realizado por Marengo *et al.* (2009) para o Cerrado brasileiro, que mostra que as projeções mais severas indicam que a maioria do bioma sofrerá um aumento de temperatura em torno de 4 °C até o final deste século, com exceção da região de transição com a Amazônia, cujo aumento poderá atingir 6 °C.

Constata-se a presença de anomalias de chuva nas projeções de todos os modelos/cenários, quando comparados com a climatologia atual, conforme pode ser visualizado na Figura 9.

No GFDL_B₁ percebe-se redução de chuvas acentuada na região nordeste, com influências na porção central e contrastando com estas regiões, nota-se um aumento das chuvas tanto no extremo norte, quanto no sudeste do Estado.

As anomalias de precipitação observadas no GFDL_A₁B são maiores do que a do modelo/cenário anterior, uma vez que foi registrada uma forte declínio de chuvas, numa ampla faixa que se estende na diagonal no sentido sul-nordeste do Estado, sendo esta redução mais intensa na porção leste e nordeste. Ao mesmo tempo, constatou-se acréscimos de precipitação nas regiões noroeste, norte e sudeste, mas numericamente inferiores a do GFDL_B₁.

No HadCM₃_B₁ ocorreu redução da precipitação em todo o território, com maior intensidade na região sudoeste, onde se localiza a Ilha do Bananal. Já no HadCM₃_A₁B registrou-se também redução da precipitação tendendo da parte central até o extremo norte (região mais afetada), mas detectou-se aumento gradual das chuvas, do centro para o sul do Estado.

As projeções da precipitação no Cerrado brasileiro realizadas por Marengo *et al.* (2009) citado por PBMC (2014), indicam para os cenários mais pessimistas que haverá um decréscimo de 20 a 50% em relação aos valores atuais na parte central e sul do Bioma, e uma redução de aproximadamente 70% na porção norte. As projeções otimistas apontam para uma redução de 30% nas partes central e sul e uma redução de 40% na porção norte.

Além da redução da precipitação anual no Cerrado brasileiro, são esperadas mudanças na distribuição das chuvas ao longo do ano (MARENGO, *et al.*, 2010).

Na região norte-nordeste do Cerrado, é esperado um aumento de 20 a 30 dias na duração da estação seca (entre os meses de maio e setembro). Da mesma maneira, espera-se um decréscimo no número de eventos de chuva por ano no estado do Tocantins, nas regiões norte do Estado de Goiás, nordeste do Estado do Mato Grosso e no centro do Estado de Minas Gerais. Por outro lado, um aumento no volume de chuva na forma de tempestade é esperado para a região centro-sul do Cerrado (PBMC, 2014).

De acordo com Mistry (1998) citado por PBMC (2014), esse aumento na duração do período seco pode potencialmente resultar no incremento da vulnerabilidade aos incêndios que ocorrem tipicamente neste período no Cerrado, bem como resultar em uma diminuição dos estoques de biomassa e nutrientes.

Conforme o Souza; Manzi *et al.* (2014), as projeções consensuais para os biomas brasileiros, em específico para o Cerrado, baseadas nos resultados científicos de modelagem climática global e regional, são as seguintes:

Bioma Cerrado: Aumento de 1°C na temperatura superficial com diminuição percentual entre 10% a 20% na chuva durante as próximas três décadas (até 2040). Em meados do século (2041-2070) estima-se aumento entre 3°C a 3,5°C da temperatura do ar e redução entre 20% e 35% da chuva. No final do século (2071-2100) o aumento de temperatura atinge valores entre 5°C e 5,5°C e a diminuição da chuva é mais crítica, entre 35% e 45%. Acentuação das variações sazonais (SOUZA; MANZI *et al.*, 2014).

Com referência a deficiência hídrica anual (Da), pode ser observado na Tabela 2, que a Da mínima, que é o menor valor de Da obtido em um local do estado do Tocantins, passou de 245 mm (clima atual), para 404 mm, no modelo/cenário HadCM₃_B₁, gerando um incremento de cerca de 65%. De forma similar, para o GFDL_B₁, a Da máxima também aumentou de forma expressiva (61%), passando de 587 mm para 946 mm.

A Da média calculada para o cenário de clima atual foi de 411 mm, no entanto para o modelo/cenário HadCM₃_B₁, esse valor atingiu a média de 617 mm chegando a aumentar em 50%. Nota-se que os valores estimados para todos os modelos e cenários, apresentam um acréscimo em relação à situação atual, que varia de + 144 mm (GFDL_B₁) a + 206 mm (HadCM₃_B₁).

Tabela 2 - Valores médios calculados para a deficiência hídrica anual mínima, máxima, média, diferenças entre os dados observados e estimados (Dif.) e amplitude, considerando os modelos e cenários de mudanças climáticas, em relação ao clima na condição atual

Modelos/ Cenários	Deficiência hídrica anual - Da (mm)				
	Da mínima	Da máxima	Da média	Dif. Da média	Amplitude
Clima Atual	245	587	411	-	342
GFDL_B ₁	284	946	555	+ 144	662
GFDL_A ₁ B	324	887	600	+ 189	563
HadCM ₃ _B ₁	404	819	617	+ 206	415
HadCM ₃ _A ₁ B	285	927	609	+ 198	642

I - Médias da Da média:

a) modelos: GFDL = 577 mm e HadCM₃ = 613 mm e b) cenários: B₁ = 586 mm e A₁B = 604 mm

II - Médias do aumento da Da média em relação ao clima atual:

a) modelos: GFDL = +40% e HadCM₃ = +49% e b) cenários: B₁ = +42% e A₁B = +47%

Na região agrícola de Ituverava - SP, Garcia (2010) estudando o balanço hídrico nesta região e cenários futuros para o final do século, obteve resultados de aumentos da deficiência hídrica, variando de 313 mm a 368 mm. Para o cenário mais otimista (B₂), o aumento da deficiência hídrica foi de 70% (Da = 313 mm) e para o cenário pessimista (A₂) atingiu quase 200% (Da = 368 mm). Porém, comparando com os valores numéricos médios de Da obtidos no Tocantins, nota-se

que os valores observados por Garcia (2010), ainda assim, são inferiores tanto para o clima atual, quanto para os cenários futuros do presente estudo.

Diante desses cenários, torna-se necessário a adoção de medidas de prevenção, envolvendo o planejamento do uso e ocupação agrícola das terras de forma racional, bem como do manejo sustentável do solo e da água, conforme indicado por Collicchio (2008) e Garcia (2010).

Especialmente pode ser percebida na Figura 10, a distribuição dos valores correspondentes as diferenças de D_a da climatologia atual e as D_a de cada modelo/cenário.

De modo geral visualiza-se um incremento da D_a para todos os modelos/cenários, mas com variações de intensidade regionais.

No GFDL_B₁ detectou-se um aumento expressivo da D_a na região nordeste, mas em contraponto obteve-se reduções da D_a no extremo norte e no sudeste do Estado (Figura 10a).

Considerando o mesmo modelo, para o cenário A₁B, nota-se pela Figura 10b, que a D_a aumentou significativamente em área, ocupando uma faixa ampla que se estende da região sul até a nordeste e leste do Estado. Porém, constata-se neste cenário, reduções da D_a nas mesmas regiões observadas no cenário B₁, acrescida da região nordeste.

Quanto ao HadCM₃_B₁ verificou-se que o aumento da D_a ocorreria fortemente na região sudoeste do Tocantins, contrastando com o modelo GFDL para o mesmo cenário em relação à localização, cujo aumento da D_a foi verificado de forma significativa na região nordeste (Figura 10c).

No HadCM₃_A₁B pode ser notado pela Figura 10d, um incremento da D_a nas regiões oeste, nordeste e extremo norte do Estado, com maior pronunciamento nesta última. Percebe-se também uma redução da D_a na porção sul do território.

Confrontando com o GFDL para este mesmo cenário, nota-se também que as elevações da D_a para cada modelo responderam de forma diferente. O modelo GFDL mostrou uma tendência de aumento numa faixa diagonal, correspondendo ao sentido sul-nordeste, enquanto que o HadCM₃ apresentou uma tendência de incremento gradativo da região centro-leste, até ficar mais intenso no norte do Estado, além de aumentar também a D_a na parte oeste do Tocantins.

O aumento da temperatura anual verificado em ambos os modelos e cenários, associado às alterações dos totais de precipitação anual em relação ao clima atual, provocou reflexos nos balanços hídricos, gerando um aumento na deficiência hídrica anual média de cada cenário e na média dos modelos, conforme esperado e também observado por Barbarisi *et al.* (2007), uma vez que implicou na elevação proporcional nas taxas de evapotranspiração.

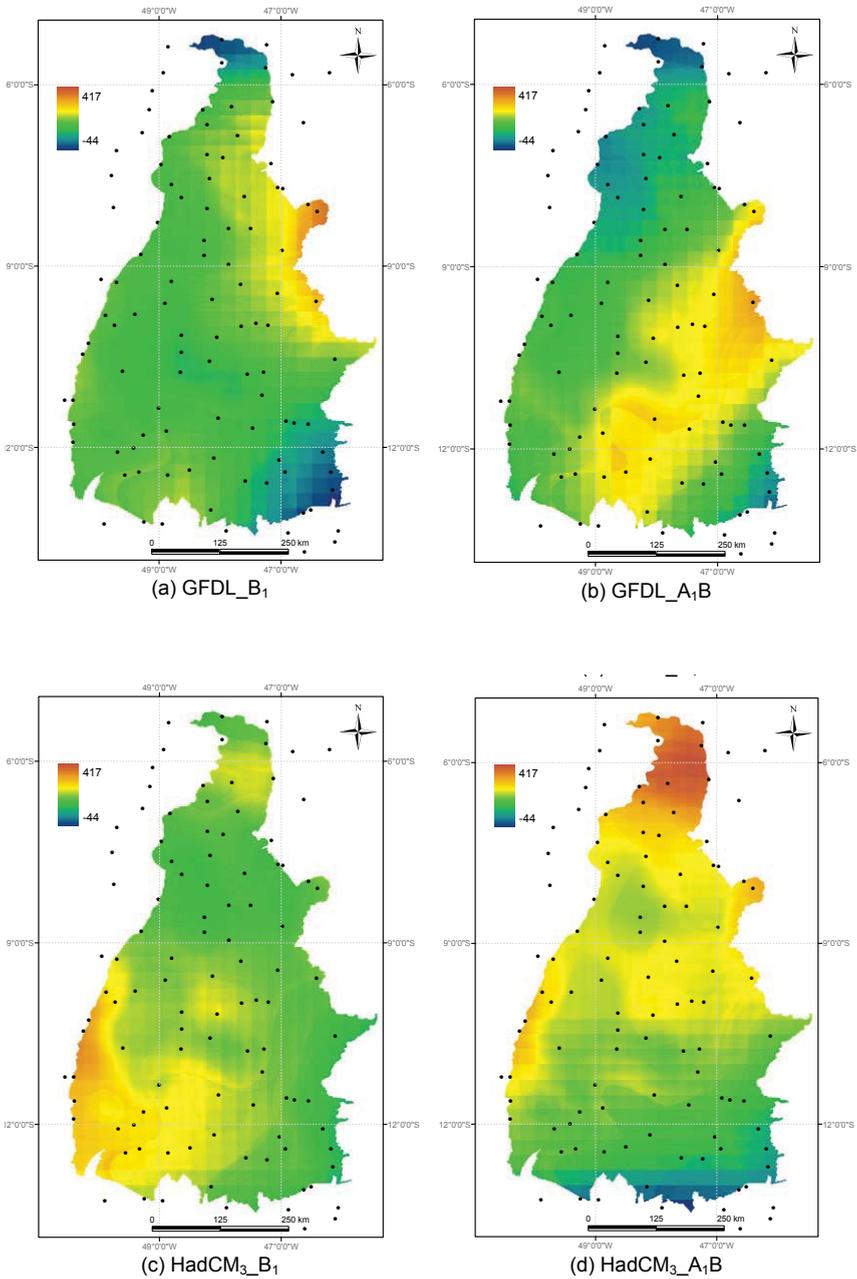


Figura 10 – Diferenças das deficiências hídricas provenientes dos modelos/cenários: (a) GFDL_B₁, (b) GFDL_A₁B, (c) HadCM₃_B₁ e (d) HadCM₃_A₁B (mm), para o período de 2021 a 2050, e a deficiência hídrica anual da climatologia atual (mm)

Tal fato pode ser visualizado na Tabela 2, que mostra a Da média dos modelos GFDL (577 mm) e HadCM₃ (613 mm), correspondendo aos respectivos incrementos de 40% e 49% sobre a Da média do clima atual, assim como os aumentos da Da média de 42% para o cenário B₁ e de 47% para A₁B.

Resultados concordantes foram obtidos por Salati *et al.* (2007), ao calcularem balanços hídricos para cenário de baixa emissão (B₂), para o mesmo período e utilizando os dados dos mesmos modelos deste trabalho, para a Amazônia. Constataram também de forma semelhante a este estudo, que em média, o modelo HadCM₃ para este cenário apresentou maior deficiência hídrica anual do que o modelo GFDL.

3.3. Projeções do clima para o estado do Tocantins, considerando dois modelos e cenários do AR5/IPCC, para o período de 2021 a 2050

Os resultados relacionados aos dados médios de saída dos modelos climáticos regionais, Eta MIROC5 e Eta HadGEM2 – ES, e seus respectivos cenários (RCP 4.5 e RCP 8.5), disponibilizados pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do INPE, para o período de estudo, bem como oriundos do balanço hídrico, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios anuais, diferenças entre os dados observados e estimados (Dif.) e amplitude (Amp.), calculados para a temperatura, precipitação e deficiência hídrica, considerando os modelos e cenários de mudanças climáticas, em relação ao clima na condição atual (observado)

Modelos/Cenários	Temperatura média anual Ta (°C)			Precipitação anual Pre (mm)			Deficiência hídrica anual Da (mm)		
	Ta média	Dif. Ta	Amp.	Pre média	Dif. Pre	Amp.	Da média	Dif. Da	Amp.
Clima Atual	25.7	-	3.6	1676	-	881	382	-	321
Eta HadGEM2 4.5	27.5	+1,8	4.0	1703	+27	1092	601	+219	368
Eta HadGEM2 8.5	28.7	+3,0	4.1	1611	-65	1176	700	+318	495
Eta MIROC5 4.5	27.0	+1,3	4.0	1419	-257	749	535	+153	335
Eta MIROC5 8.5	27.2	+1,5	4.0	1292	-384	650	589	+207	318

I - Médias do aumento da Ta média em relação ao clima atual:

a) modelos: Eta MIROC5 = + 1,4°C e Eta HadGEM2 = + 2,4°C;

b) cenários: RCP 4.5 = + 1,5°C e RCP 8.5 = + 2,7°C

II - Diferenças médias da Pre média em relação ao clima atual (%):

a) modelos: GFDL = - 19,1 % e Eta HadGEM2 = - 1,1 %;

b) cenários: RCP 4.5 = - 6,9 % e RCP 8.5 = - 13,4 %

III - Diferenças médias da Da média em relação ao clima atual (%):

a) modelos: Eta MIROC5 = + 47,1 % e Eta HadGEM2 = + 70,3 %;

b) cenários: RCP 4.5 = + 48,7 % e RCP 8.5 = - 68,7 %

De acordo com o modelo Eta MIROC5, o estado do Tocantins terá uma temperatura média anual estimada variando de 27°C a 27,2°C, no período analisado, observando-se um acréscimo esperado em relação à situação atual, em torno de + 1,3 e + 1,5 °C para o RCP 4.5 e RCP 8.5, respectivamente.

Nota-se, pelos valores apresentados e pelas Figuras 11a e 11b, que a diferença entre os dois cenários de emissões, equivale a 0,2°C, configurando um padrão térmico similar.

Com base nas Figuras 11a e 11b, constata-se ainda, a ocorrência de temperaturas menores na microrregião do Jalapão (porção leste) e na parte sul/sudeste do Estado, sendo observados maiores valores de T_a , na região sudoeste, especificamente na microrregião do Rio Formoso, localizada no entorno da Ilha do Bananal.

O modelo Eta HadGEM2 – ES, apresentou as maiores variações térmicas em ambos os cenários, quando comparados com a climatologia atual, conforme observa-se na Tabela 3 e Figura 11. Nessa perspectiva futura, entre os anos de 2021 e 2050, para o cenário RCP 4.5, estima-se que a temperatura média anual aumentará em aproximadamente 1,8°C, e para o cenário RCP 8.5, este acréscimo será de 3°C (Tabela 3).

Considerando a média dos dois cenários do modelo Eta HadGEM2 – ES, percebe-se que seria o que mais aqueceria em média o Estado, pois o incremento médio esperado da T_a , equivaleria a 2,4°C, em contraposição ao modelo Eta MIROC5, cujo aumento seria de 1,4°C.

Como esperado, a média do aumento da T_a para o cenário RCP 8.5 dos dois modelos, atingiria + 2,7°C, superando a média do RCP 4.5 (+ 1,5°C) (Tabela 3 e Figura 11).

A partir do estudo do efeito das mudanças climáticas na agricultura do Cerrado realizado por Assad *et al.* (2020), utilizando dados do cenário RCP 8.5 do quinto relatório do IPCC, observaram que todos os modelos analisados, indicavam o aumento na temperatura, “em que a mediana dos modelos aponta aumento superior a 1,2 vezes”.

Percebe-se que o incremento estimado da temperatura média anual do modelo Eta HadGEM2 – ES ($T_a = + 2,4^\circ\text{C}$), bem como para ambos os cenários simulados por este modelo (RCP 4.5 = +1,8°C e RCP 8.5 = + 3°C), todos superariam o valor de 1,5°C, que refere-se ao limite de aquecimento global indicado pelo relatório do IPCC (2018), visando reduzir maiores riscos relacionados ao clima para os sistemas naturais e humanos. Contudo o referido relatório destaca que, “esses riscos dependem da magnitude e da taxa de aquecimento, localização geográfica, níveis de desenvolvimento e vulnerabilidade, e sobre as escolhas e implementação de opções de adaptação e mitigação” (IPCC, 2018).

De acordo ainda com o IPCC (2018), se o aquecimento global continuar a aumentar na taxa atual, a temperatura deverá atingir 1,5°C, entre 2030 e 2052, à semelhança do período utilizado neste estudo, por isso a necessidade premente da implementação de ações de adaptação e mitigação.

No que diz respeito à precipitação anual média (Pre), o modelo Eta MIROC5 representou mudanças mais significativas do que o Eta HadGEM2-ES, verificando-se nesse último modelo, menor redução média desta variável, porém com tendência de diminuir com o cenário pessimista (tabela 3), conforme observado também por Sousa *et al.* (2019).

A média da precipitação anual para o Tocantins considerando o modelo Eta HadGEM2-ES, foi de 1.703 mm (sendo o maior valor de 2.121 mm e o menor valor de 1.029 mm) e de 1.611 mm (maior valor de 2.054 mm e menor valor de 877 mm), para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, respectivamente (Tabela 3). Percebe-se que para esse modelo, a discrepância em relação ao clima atual foi pequena, se comparada ao Eta MIROC5, onde verificou-se no cenário RCP 4.5, um pequeno incremento de precipitação, em cerca de 27 mm (+ 1,6%), e no RCP 8.5, um decréscimo de 65 mm, equivalente a - 4%.

Com relação as médias da precipitação anual obtidas pelo modelo Eta MIROC5, observou-se 1.419 mm e 1.292 mm, para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, respectivamente. Nesse sentido, a redução média da precipitação anual do Estado, foi equivalente a 257 mm (- 15,6%), para o RCP 4.5 e de 384 mm (-23%), para o RCP 8.5 (Tabela 3), podendo essas reduções serem percebidas espacialmente na Figura 12.

Sousa *et al.* (2019) usando esses mesmos modelos climáticos, também constataram reduções das precipitações médias entre 2011 e 2040. Os mesmos autores concluíram que há a possibilidade de decréscimo de 524,8 mm, na região sul do Estado, considerando o modelo Eta MIROC5 e o cenário RCP 8.5.

As Figuras 12a e 12b ilustram uma diferença relevante de ordem geográfica do total de chuvas entre os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 para o Eta MIROC5.

Nota-se que, para o Eta MIROC5 e cenário RCP 8.5, as restrições em quantidade de chuva ampliariam em quase toda área de influência analisada, se comparados ao cenário RCP 4.5 e ao clima atual. O cenário RCP 8.5, indica que 80% das precipitações no território será inferior a 1.400 mm, representado pelo gradiente em amarelo e vermelho da Figura 12b. No RCP 4.5 e clima atual, somente 43 % e 3 %, respectivamente, estão abaixo de 1.400 mm, ou seja, com uma faixa relativamente maior da cor verde, conforme Figura 12a.

Não foram notadas grandes diferenças na distribuição espacial de chuvas entre os cenários RCP 4.5 e 8.5, para o modelo Eta HadGEM2-ES (Figuras 12c e 12d).

Chou *et al.* (2016) utilizando dados do Climate Research Unit (CRU) para a simulação dos modelos climáticos regionais Eta MIROC5 e Eta HadGEM2-ES, utilizando os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, para a América do Sul, e considerando três períodos (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100), apontam que na região Norte do Brasil e no estado do Tocantins, há uma tendência de elevação da temperatura em todas as estações do ano e redução da precipitação anual. Destaca-se que esses resultados obtidos por Chou *et al.* (2016), que utilizaram os mesmos modelos e cenários, reforçam a compatibilidade com os resultados verificados neste trabalho.

Estudos realizados por Assad *et al.* (2020), no âmbito do Cerrado brasileiro, demonstraram que a maioria dos resultados dos modelos aponta para o incremento da temperatura e para estabilidade ou redução das chuvas, assemelhando-se também, de forma geral com os resultados obtidos no presente estudo.

A deficiência hídrica anual, resultante do cálculo do balanço hídrico pela metodologia de Thornthwaite; Matter (1955), apontou para a situação do clima atual, o valor médio equivalente a 382 mm. Nesta metodologia considerou-se uma CAD de 150 mm e por isso, este valor ficou subdimensionado em relação ao encontrado por Roldão; Ferreira (2019), que foi de 414 mm, e neste capítulo no item 3.1, que foi de 411 mm, onde utilizou-se uma CAD de 100 mm.

Em todos os modelos e cenários, verifica-se o aumento significativo da deficiência hídrica, sendo que o incremento médio mais intenso refere-se ao modelo Eta HadGEM2-ES, cujo aumento atingiu 70,3 % (Tabela 3 e Figura 13). O aumento médio da Da média referente ao modelo Eta MIROC5 em relação ao clima atual, foi de 47,1 %, e que apesar de comparativamente ser inferior ao do modelo Eta HadGEM2-ES, é considerado elevado, devido aos valores médios absolutos observados (Tabela 3).

Considerando os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 do modelo Eta HadGEM2-ES, espera-se o aumento na média atual deste parâmetro climático, de 219 mm (+57%) e 318 mm (+83%), respectivamente.

Assad *et al.* (2020) verificaram no Cerrado do Brasil, que nenhum modelo climático indicou redução da deficiência hídrica anual. Destacaram que “a mediana dos modelos apontou para aumento da deficiência hídrica superior a 1,5 vezes”. Os autores indicaram ainda que existe elevada concordância entre os modelos climáticos utilizados neste estudo, no que se refere ao aumento provável da deficiência hídrica no bioma Cerrado.

A ocorrência dessa situação, sendo confirmada, poderá tornar mais vulneráveis os ecossistemas, recursos hídricos e atividades econômicas no Estado.

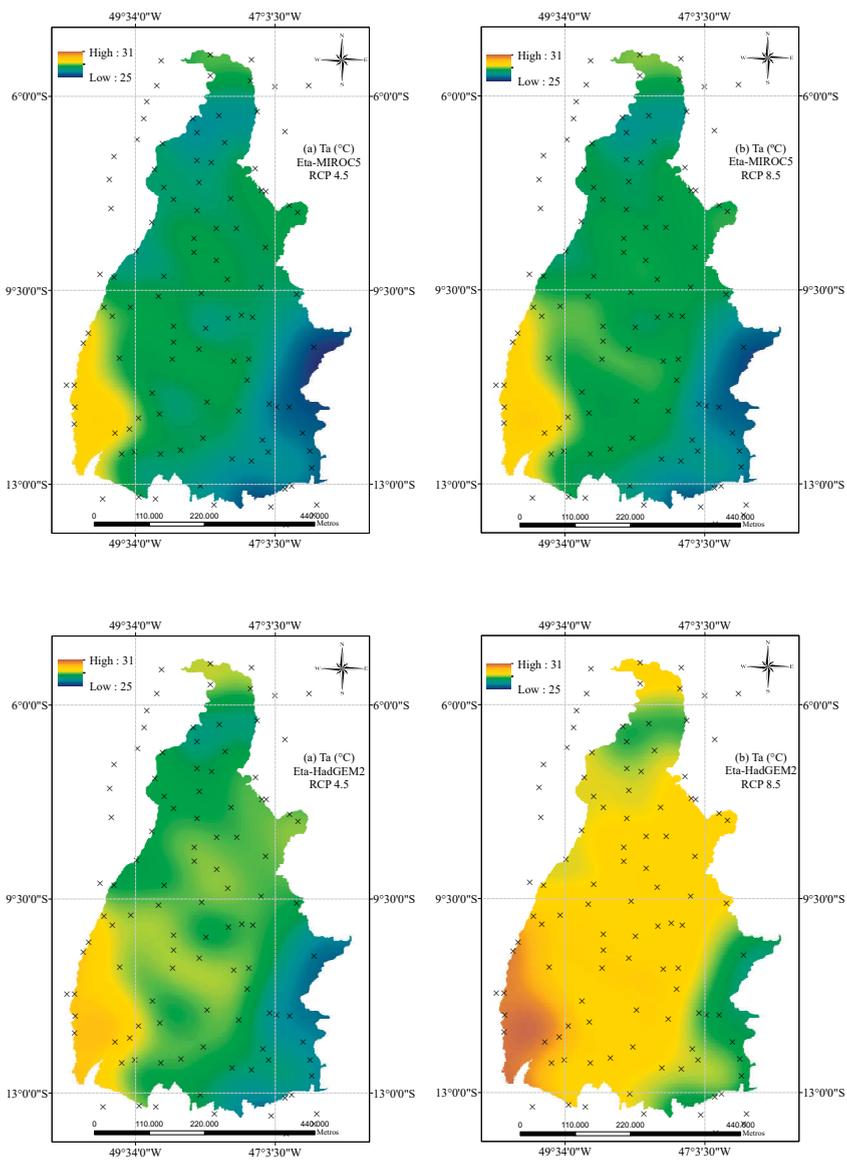


Figura 11 - Temperatura média anual - Ta (°C) referente ao: (a) modelo Eta MIROC5 e cenário RCP 4.5; (b) modelo Eta MIROC5 e cenário RCP 8.5; (c) modelo Eta HadGEM2-ES e cenário RCP 4.5 e (d) modelo Eta HadGEM2-ES e cenário RCP 8.5, para o período entre 2021 e 2050

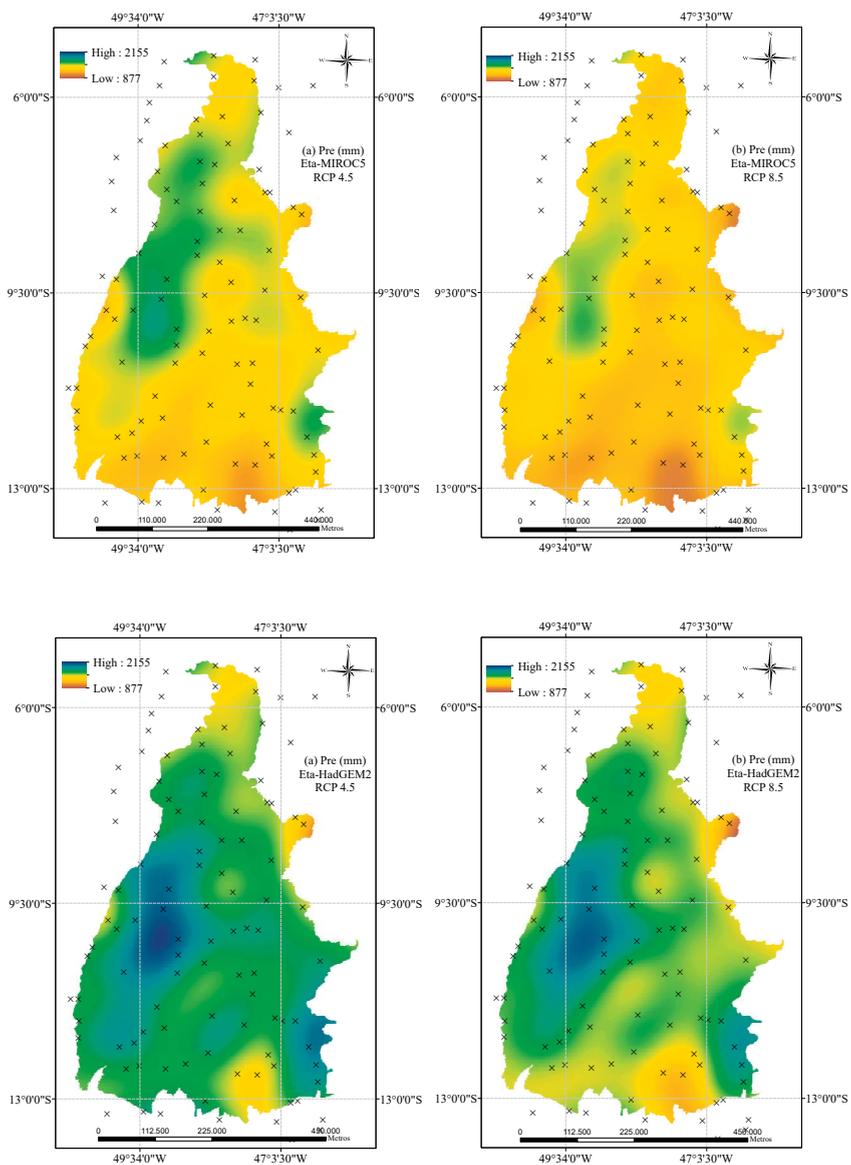


Figura 12 - Precipitação anual - Pre (mm) referente ao: (a) modelo Eta MIROC5 e cenário RCP 4.5; (b) modelo Eta MIROC 5 e cenário RCP 8.5; (c) modelo Eta HadGEM2-ES e cenário RCP 4.5 e (d) modelo Eta HadGEM2-ES e cenário RCP 8.5, para o período entre 2021 e 2050

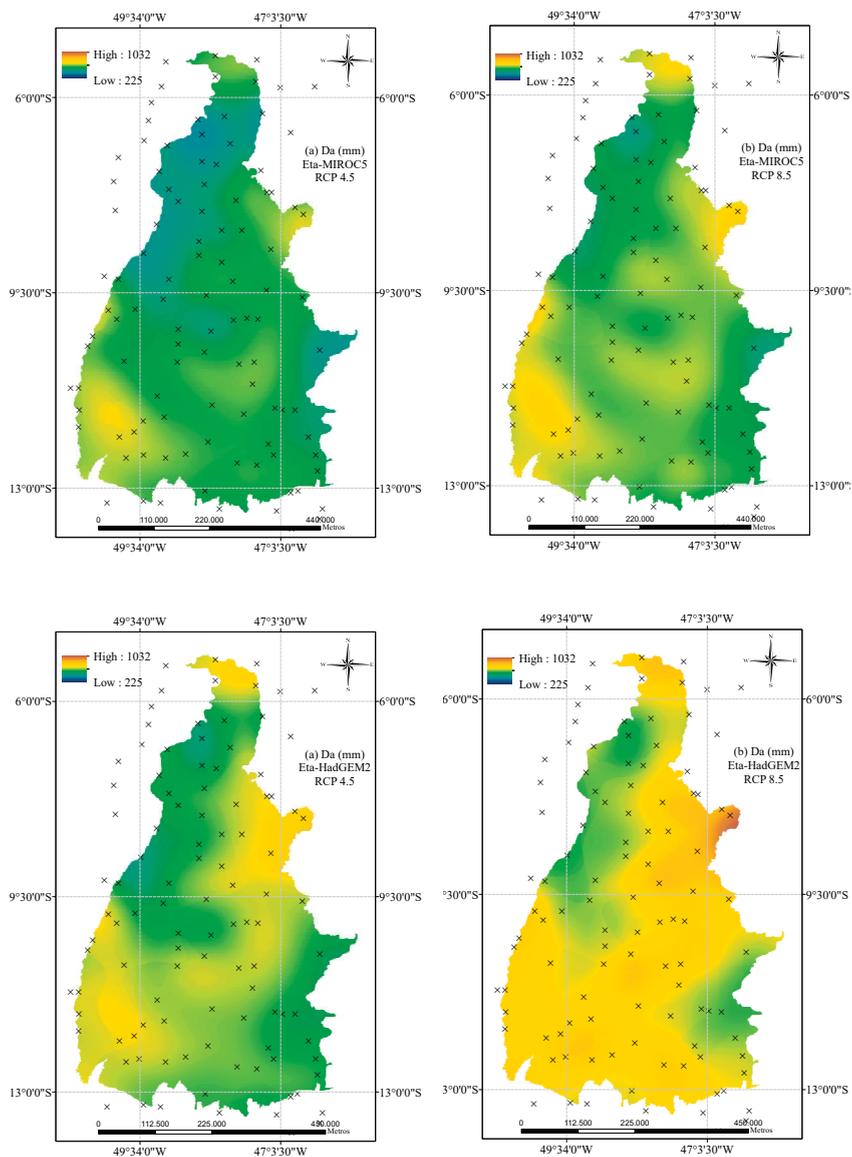


Figura 13 – Deficiência hídrica anual - Da (mm) referente ao: (a) modelo Eta MIROC5 e cenário RCP 4.5; (b) modelo Eta MIROC 5 e cenário RCP 8.5; (c) modelo Eta HadGEM2-ES e cenário RCP 4.5 e (d) modelo Eta HadGEM2-ES e cenário RCP 8.5, para o período entre 2021 e 2050

Considerações finais

As incertezas quanto às projeções do clima, ainda existem, contudo, as simulações com modelos do sistema climático são importantes para demonstrar perspectivas com relação ao futuro, além de servir de alerta aos governos e à sociedade em geral. Fornecem informações relevantes para subsidiar políticas e ações públicas e da iniciativa privada, bem como apoiar a realização de pesquisas científicas voltadas ao desenvolvimento sustentável e de combate às mudanças do clima.

Com o desenvolvimento de tecnologias e o aumento da quantidade de plataformas observacionais, espera-se que com o decorrer do tempo, ocorra a melhoria da acurácia das projeções dos modelos, proporcionando assim maior segurança dos resultados.

Considerando os resultados de todos os modelos climáticos e cenários analisados, tanto do relatório AR4 e AR5 do IPCC, percebe-se que deverá ocorrer aumento da temperatura média anual e redução da precipitação anual no Estado, no período de 2021 a 2050.

Essas alterações dos padrões de temperatura e precipitação, considerando os distintos cenários de mudanças climáticas, refletiram nas simulações dos balanços hídricos, gerando um incremento médio significativo da deficiência hídrica, mas com variações de intensidade regionais no Estado. Nesse contexto, essas projeções poderão afetar negativamente ecossistemas, recursos hídricos e atividades econômicas, bem como regiões produtoras atuais, podendo provocar consequências negativas na produção agrícola no Tocantins.

Confirmando-se essas projeções climáticas no que se refere aos possíveis efeitos na agricultura, algumas culturas poderão ser deslocadas para plantio em outras localidades ou até mesmo ficar impedidas de serem cultivadas no Estado. Poderá também dependendo da região, ocorrer a necessidade da utilização de irrigação suplementar ou plena, dentre outras técnicas de manejo, que poderá em algumas situações inviabilizar economicamente a atividade agrícola, ou mesmo ter restrições ambientais, devido as questões de disponibilidade de água numa bacia hidrográfica.

Diante dos resultados observados, destaca-se que o incremento de investimentos na pesquisa científica, visando o combate às mudanças do clima é emergencial. Assim como, a implementação de ações de mitigação e adaptação, como o uso de tecnologias de baixa emissão de GEE, utilização de energia alternativa, restauração de áreas degradadas e desflorestadas, dentre outras soluções sustentáveis.

Referências

ASSAD, Eduardo Delgado; VICTORIA, Daniel de Castro; CUADRA, Santiago Vianna; PUGLIERO, Vanessa Silva; ZANETTI, Marília Ribeiro. Efeito das mudanças climáticas na agricultura do Cerrado. In: BOLFE, Édson Luis; SANO, Edson Eyji; CAMPOS, Silvia Kanadani (eds). **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções**. Brasília: Embrapa, cap. 7, p. 213 – 227. 2020.

BARBARISI, B. F.; MARIN, F. R.; ASSAD, E. A.; BARBARISI, B. F.; PILAU, F. G.; PACHECO, L. R. F. Efeito das mudanças climáticas sobre a aptidão climática para cana-de-açúcar no Estado de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007. Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBA, 2007.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Modelagem climática e vulnerabilidades setoriais à mudança do clima no Brasil**. Brasília: MCTI, 2016. 590p.

CHOU, Sin Chan; SILVA, Adan; LYRA, André; MOURÃO, Caroline; DEREZYNSKI, Claudine; RODRIGUES, Daniela; CAMPO, Diego; CHAGAS, Diego; SIQUEIRA, Gracielle; SUEIRO, Gustavo; PILOTTO, Isabel; GOMES, Jorge; BUSTAMANTE, Josiane; TAVARES, Priscila. **Simulações em alta resolução das mudanças climáticas sobre a América do Sul**. In: TEIXEIRA, Breno Simonini; ORSINI, Jose Antonio Marengo; CRUZ, Márcio Rojas da (ed). Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, cap. 2, p. 49 – 90. 2016.

COLLICCHIO, E. **Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no estado do Tocantins**. 2008. 156 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CRUZ, S. P.; HERNANDEZ, F. B. T.; VANZELA, L. S. Balanço hídrico da região de Jataí – GO. CONIRD 2006. In: XVI CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM. Goiânia, 25 a 30/07/2006. **Anais...** Goiânia, 2006. p. 1 – 7.

CUBASCH, U.; WUEBBLES, D.; CHEN, D.; FACCHINI, M. C.; FRAME, D.; MAHOWALD, N.; WINTHER, J. -G. Introduction. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX V.; MIDGLEY, P. M. (eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA. chapter 1, p. 119- 158. 2013.

FBMC, Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Impactos, vulnerabilidade e repercussões socioeconômicas das mudanças globais do clima**. Rio de Janeiro: FBMC/Petrobras. 2010. 40 p. (Curso de capacitação – FBMC, módulo 3).

GARCIA, A. Balanço hídrico de Ituverava (SP) sob condições de cenários climáticos futuros. **Nucleus**, v.7, n.1, p. 217 – 222, abr. 2010.

IPCC. **Climate change 2007: the physical science basis**. Paris, 2007. 21p. (IPCC WG1 fourth assessment report – AR4).

IPCC, 2013. **Climate Change 2013: the Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX V.; MIDGLEY, P. M. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge. United Kingdom and New York. 2013. 1535 p.

IPCC, 2018. Summary for Policymakers. In: **Global Warming of 1.5°C**. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)].

IPCC, 2021. **Climate Change 2021: the Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.

JESUS, J. B. de. Estimativa do balanço hídrico climatológico e classificação climática pelo método de Thornthwaite e Mather para o município de Aracaju-SE. **Scientia Plena**, v. 11, n. 5, p. 1 – 6. 2015.

LENART, M. **Modeling at the global scale**. Southwest Climate Change Network, Arizona, University of Arizona. 12 set. 2008. Disponível: <<http://www.southwestclimatechange.org/climate/modeling/global-scale>>. Acesso em: 15 set. 2020.

LENDERINK, G. *et al.* Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. **Hydrology and Earth System Science**, v. 11, n. 3, p. 1145-1159, 2007.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 2006. 212 p.

MARENGO, J. A. *et al.* Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **Int. J. Climatol.**, v. 29, p. 2241–2255. 2009. doi: 10.1002/joc.1863

MARENGO, J. A. *et al.* Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Clim. Dyn.**, v. 35, n. 6, p. 1073 - 1097. 2010.

MARENGO, José A.; CHOU, Sin. C. Cenários futuros de clima para estudos de Impactos-Vulnerabilidade-Adaptação (IVA). In: NOBRE, Carlos A.; MARENGO, José A. (Orgs). **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar**. São José dos Campos: INCT, cap. 13, p. 427 - 448, 2017.

MINGUEZ, M. I.; RUIZ-RAMOS, M.; DÍAZ-AMBRONA, C. H.; QUEMADA, M. Productivity in agricultural systems under climate change scenarios. evaluation and adaptation. **Journal de Physique**, Paris, v.4, n. 121, p.269-281, 2004.

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I.; ADAMI, M. Análise de componentes principais da precipitação pluvial associada à produtividade de soja na Amazônia legal. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 574-588, 2018.

NOBRE, C.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Cenários de mudança climática para a América do Sul. In: CGEE Parcerias Estratégicas n. 27. **Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação**. Brasília: CGEE, cap. 2. 2008.

PBMC, Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Base científica das mudanças climáticas: contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas**. In: AMBRIZZI, T.; ARAUJO, M. (eds.). Rio de Janeiro: COPPE - UFRJ, 2014. 464 p.

PEREIRA, A. R. Simplificado o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.2, p.311-313, 2005.

ROLDÃO, Aline de Freitas; FERREIRA, Vanderlei de Oliveira. Climatologia do Estado do Tocantins – Brasil. **Caderno de Geografia**, v.29, n.59, p. 1161 – 1181. 2019.

SALATI, E.; SALATI, E.; CAMPANHOL, T.; VILLA NOVA, N. **Tendências das variações climáticas para o Brasil no século XX e balanços hídricos para cenários climáticos para o século XXI: relatório 4**. Rio de Janeiro: MMA, 2007. 182 p.

SEAGRO. Secretaria da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento do Tocantins. **Climatologia**. Disponível em: <<http://www.to.gov.br/seagro/conteudo.php?id=8>>. Acesso em: 07 out. 2019.

SEPLAN. Secretaria Planejamento e Meio Ambiente do Tocantins. Diretoria de Pesquisas e Informação. Aspectos físicos. In: _____. **Anuário estatístico do Estado do Tocantins 1997/2003**. Palmas: SEPLAN, 2004. p. 21-28.

SEPLAN. Secretaria Planejamento e Meio Ambiente do Tocantins. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. Palmas: SEPLAN, 2005. 54p.

SILVA, R. A.; RIES, E. S.; MACIEL, G. F. Tendências da temperatura anual no Estado do Tocantins. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 4, p. 544-551, jul./ago. 2020.

SOUSA, R. M., VIOLA, M. R., CHOU, S. C., ALVES, M. V. G., AVANZI, J. C. Projeções climáticas regionalizadas para o Estado do Tocantins, Brasil, nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 330-347, jan./jun. 2019.

SOUZA, A. P. de; MOTA, L. L. da; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T. de; PAULINO, P. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v. 01, n. 01, p.34 - 43, out./dez., 2013.

SOUZA, E. B. de; MANZI, A. O. *et al.* Mudanças ambientais de curto e longo prazo: projeções, reversibilidade e atribuição. In: PBMC, AMBRIZZI, T., ARAUJO, M. (eds.). **Base científica das mudanças climáticas: contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas**. Rio de Janeiro: COPPE – UFRJ, cap. 9, p. 320 – 340. 2014.

THORTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Thechnology, 1955. 104p.

TOCANTINS. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública - SEPLAN. Superintendência de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico - DZE. SOUSA, Paulo Augusto Barros de; BORGES, Rodrigo Sabino Teixeira; DIAS, Ricardo Ribeiro (Org.). **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. 6. ed. rev. atu. Palmas: SEPLAN, 2012. 80 p.

VICTORIA, D. de C.; SANTIAGO, A. V.; BALLESTER, M. V. R.; PEREIRA, A. R.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. Water balance for the Ji-Paraná river basin, western Amazon, using a simple method through geographical information systems and remote sensing. **Earth Interactions**, Madison, v.11, n.5, p. 1-21, 2007.



PARTE III

Agricultura e Cenários de Mudanças do Clima no Tocantins: Projeções de Médio e Longo Prazo





Áreas que atualmente são as maiores produtoras de grãos, podem não estar mais aptas ao plantio bem antes do final do século... se nada for feito para mitigar o aquecimento global, a produção de alimentos no país deverá ser afetada.



Hilton Silveira Pinto¹, Eduardo Delgado Assad² e colaboradores

¹Professor da UNICAMP e ²Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária
Extraído do livro: *Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil*,
publicado em 2008

Autores das fotos da capa da Parte III

Colheita da Lavoura de Arroz: Seagro/Governo do Tocantins (<https://www.to.gov.br/seagro/noticias/produtores-do-agronegocio-participam-do-lancamento-da-agrotins-2022/xzc43m475x4>)

Soja, Cana-de-açúcar e Eucalipto: Erich Collicchio

Arroz: Daniel de Brito Fragoso

Possíveis Impactos das Mudanças Climáticas Sobre o Zoneamento Agrícola de Risco Climático da Cultura da Soja no Estado do Tocantins

Balbino Antonio Evangelista¹, Leonardo José Motta Campos², Fernando Antônio Macena da Silva³, Jones Simon⁴, Isabella Lopes Ribeiro⁵, Telma Maria do Vale⁶

¹Geógrafo, Pesquisador Doutor da Embrapa Pesca e Aquicultura, ²Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Doutor da Embrapa Soja, ³Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Doutor da Embrapa Cerrados, ⁴Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Doutor da Embrapa Pesca e Aquicultura, ⁵Engenharia Ambiental e Sanitária, Bolsista de DTI/CNPq na Embrapa Pesca e Aquicultura, ⁶ Engenheira Ambiental, Mestre em Agroenergia e Pesquisadora-Bolsista DTI na Embrapa Pesca e Aquicultura

1 - Introdução

O Tocantins que integra a região do MATOPIBA, atualmente, considerada como a nova fronteira agrícola do Brasil, contribui com a maior extensão de terras desta região, com aproximadamente 92% do seu território. Nesta região, a cultura da soja tem se destacado e transformado rapidamente sua paisagem. Importante fonte de divisas, visto que contribui em parte com as exportações brasileiras, além de tudo o grão é responsável por grande parte do fornecimento de proteína para animais, e de óleos para a indústria.

No Estado do Tocantins a produção de grãos foi crescente no período de 1988 a 2018, com previsão de 4,6 milhões de toneladas para a safra 2017/2018, tendo a soja como principal cultura explorada (CONAB, 2018). Nos últimos anos, o crescimento do cultivo de soja foi muito significativo, atingindo mais de 1500%, quando considerado o período entre as safras de 2000/01 a 2016/2017, das quais, a área de produção passou de 60 mil hectares para 940 mil hectares, respectivamente. E em seu 4^o Relatório do Levantamento de Safras do Tocantins, o Estado apresenta índices de 972,19 mil hectares de área plantada, produção de 1.326,54 mil toneladas. e produtividade média de 3.154 kg.ha⁻¹, referentes à soja de sequeiro.

O clima no Tocantins é caracterizado por uma estação chuvosa, que ocorre nos meses de outubro a abril; e pela estação seca, que se estende de maio até setembro (ASSAD, 1994). O Estado apresenta ampla extensão latitudinal e relevo de altitudes baixas e pouco variáveis, entre 200 metros e 600 metros. Ao norte do

paralelo 6°S, região conhecida como Bico do Papagaio, de vegetação típica do bioma Amazônico, o clima é úmido, sem inverno seco, com temperatura média anual em torno de 26°C e as precipitações pluviométricas entre 1.500 mm e 2.100 mm. Ao Sul do paralelo 6°S, o clima predominante é subúmido (KÖEPPEN, 1948), os meses chuvosos e os secos se equilibram e as temperaturas médias anuais diminuem lentamente na medida em que se eleva a altitude, com temperaturas médias anuais variando entre 23°C (altitudes acima de 600 metros) e 27°C e chuvas entre 900 mm e 2100 mm anuais (LUMBRERAS *et al.*, 2015).

A contribuição indireta da cultura da soja na movimentação da economia de Tocantins, seja pela geração de empregos ou pela adição de valor ao produto industrializado, tem sido um dos principais alicerces para o desenvolvimento do Estado. Incrementos nos rendimentos e redução dos custos e dos riscos de insucesso passaram a serem exigências básicas à competitividade. O aumento de eficiência no uso de recursos e de insumos, a melhora qualitativa dos produtos agrícolas e a preservação dos recursos naturais, são desafios da sustentabilidade da moderna agricultura.

Por outro lado, evidências científicas contemporâneas têm advertido para anomalias na temperatura e nos padrões de precipitação, com consequências diretas nas atividades humanas e, especialmente, naquelas relacionadas à produção agrícola (IPCC, 2007). As consequências das alterações climáticas poderão variar entre as regiões brasileiras. As regiões Norte e Centro-Oeste podem ser significativamente prejudicadas pela mudança climática. Isto é algo esperado, já que em ambas as regiões a produção é realizada sob condições de alta temperatura.

O impacto global das mudanças climáticas projetado para o período 2040-2069 poderá resultar em perdas de lucro agrícola entre 0,8% e 3,7%. Os impactos são consideravelmente mais graves, porém, para o clima projetado para 2070-2099, a redução estimada de lucro agrícola poderá atingir até 26% (DESCHENES; GREENSTONE, 2007).

De modo geral, as evidências empíricas dos estudos acima indicam que o saldo do impacto líquido da mudança climática sobre a agricultura brasileira é negativo, embora haja diferentes consequências a nível regional. No entanto, esses estudos apresentam algumas limitações importantes. Incertezas sobre a dimensão desse fenômeno implicam, entre outros, na necessidade de estudos com modelagem e análise de dados visando à avaliação dos possíveis impactos das mudanças climáticas sobre a cultura da soja em Tocantins.

Muitos estudos têm sido realizados com o objetivo de possibilitar a compreensão dos processos de crescimento e desenvolvimento de plantas, permitindo uma descrição e análise dinâmica dos processos envolvendo fatores ambientais e seus efeitos no desenvolvimento e produção das culturas

(EVANGELISTA *et al.*, 2013). Nesse contexto, o zoneamento agrícola de risco climático (ZARC) é um desses Instrumentos, adotado especialmente pela política agrícola para subsidiar os agricultores e as políticas públicas que visam reduzir risco e contribuir para a sustentabilidade e o aumento da produtividade das lavouras. Isto porque o ZARC delimita as áreas de risco e indica as janelas de semeadura da soja (e outras culturas) nas regiões com baixo risco de ocorrer perdas de rendimento por adversidades do clima, como seca, por exemplo.

Este capítulo é oportuno e de extrema relevância no contexto atual. Pois, ele pode representar parte do avanço significativo na compreensão da natureza dos impactos climáticos futuros sobre a geografia da produção da cultura da soja, que representa um dos principais produtos agrícolas do Tocantins. Ele também apoiará o Estado em ações de adaptação dos sistemas de produção de alimentos para uma rápida mudança do clima, visando garantir a segurança do abastecimento alimentar e a estabilidade política.

Exigências ambientais e climáticas da cultura da soja

Estudos indicam que para produzir satisfatoriamente, a cultura da soja necessita de entre 450 mm e 800 mm de água durante o seu ciclo de desenvolvimento, dependendo não só das condições de temperatura da região, mas também do manejo, da data de semeadura e das características da cultivar. Por outro lado, o bom desempenho desta cultura depende do volume de água adequado e também de uma boa distribuição das chuvas ao longo do ciclo de desenvolvimento, para satisfazer suas necessidades, principalmente, durante as duas fases mais críticas do seu ciclo, que são a germinação-emergência e a floração-enchimento de grãos (estádio R1 a R5), quando chega a consumir entre 7 e 8 mm de água por dia (RODRIGUES *et al.*, 2001).

A faixa de temperatura na qual a cultura da soja melhor se desenvolve varia entre 20°C e 30°C, sendo 28°C a condição ideal. Após a semeadura, a temperatura ideal para uma emergência rápida e uniforme é de 25°C. Sob condições inferiores a 10°C, tanto o crescimento vegetativo quanto o rendimento da soja são reduzidos ou nulos, caso a temperatura alcance médias negativas. As cultivares brasileiras, de forma geral, apresentam desenvolvimento a partir da temperatura mínima de 13°C. Estudos indicam que para a produção de sementes com qualidades fisiológica e sanitária superiores, recomendam-se regiões com temperaturas do ar mais amenas, ou seja, inferiores a 22°C durante a fase de maturação da cultura (CÂMARA, 2000).

A temperatura está relacionada à taxa de crescimento da cultura, influenciando a respiração e a duração do ciclo. A alta temperatura, bastante comum no Tocantins, pode reduzir o período de enchimento de grãos e elevar a taxa respiratória, levando a uma menor produção de biomassa. Os estudos com alta

temperatura relatam alterações na estrutura da planta, na produção e integridade de proteínas, fechamento dos estômatos, abortamento de flores e vagens e com isso, reduzir o rendimento (HASANUZZAMAN *et al.*, 2013). Os efeitos negativos da alta temperatura são difíceis de ser evitados, e tem influenciado negativamente a produção de soja.

Outro importante elemento do clima que afeta a produção de soja é a radiação solar. Sua qualidade e quantidade influenciam diversos processos fisiológicos da soja, a maioria já citados pouco antes, porque radiação e temperatura apresentam relação estreita. Todavia, as plantas de soja possuem mecanismos de proteção ou defesa para evitar a saturação luminosa, tais como alteração no ângulo foliar (o que reduz a incidência solar), mesófilo mais desenvolvido e espesso, e índice estomático adaxial e abaxial (CASAROLI *et al.*, 2007).

O comprimento do dia, conhecido como fotoperíodo, também exerce forte influência sobre a planta de soja. Em épocas de fotoperíodo mais curto, durante a fase vegetativa da planta, o florescimento precoce pode ser induzido e provocar queda de produção. Logo, em maior ou menor escala, a indução ao florescimento da soja, na grande maioria das cultivares, é determinada pelo fotoperíodo e é modulada pela temperatura. Em geral, regiões de menores latitudes ou semeadura tardia com maior comprimento do dia, ocorrem florescimento precoce, plantas de porte baixo, menor índice de área foliar e menor produtividade (KERBAUY, 2004; CASAROLI *et al.*, 2007).

Como vimos, estudos apontam que a disponibilidade de água, temperatura, radiação solar e fotoperíodo estão entre os principais fatores responsáveis por determinar os máximos rendimentos na produção de soja. Na maioria das vezes, as plantas estão expostas a um determinado grau de estresse, provocado pela ausência de condições ideais de um ou mais fatores ambientais, o que resulta em redução da produtividade. Mas, prejuízos causados pela combinação de fatores de estresse podem ser ainda maiores, especialmente se causados pela combinação de seca e calor, até seis vezes maiores que prejuízos causados por seca isoladamente. Mas também é fato que veranicos prolongados, não raros no Tocantins, podem causar perda total das lavouras, quando ocorrem com intensidade durante a fase ou processo de florescimento e enchimento de grãos, especialmente aquelas sob solos arenosos ou pedregosos, de baixa capacidade de retenção de água. Para aqueles que pretendem avançar em conhecimento sobre as relações entre as relações entre as variáveis de solo e clima sobre a cultura da soja, recomenda-se consultar Boyer (1982), Mittler (2006), Streck; Alberto (2006), Jaleel *et al.* (2009), Manavalan *et al.* (2009), Tran; Mochida (2010), Farias (2011) e Deshmukh *et al.* (2014).

Em suma, para a cultura da soja, a disponibilidade hídrica durante o ciclo é considerada a principal condicionante da produtividade, pois, pode afetar desde

a germinação até o florescimento, enchimento de grãos e qualidade da semente. Se adversidades na temperatura, precipitação, luminosidade, entre outros, podem reduzir o rendimento da cultura, estudos têm sido direcionados no sentido de se obter plantas mais adaptadas às condições de estresse, bem como, boas práticas de manejo de solo e de água, como o plantio direto e o uso do gesso agrícola para aumentar do perfil do solo a ser explorado pelas raízes da soja, tem sido utilizadas visando minimizar os riscos causados pela variabilidade climática.

Os estudos que contemplam as relações solo-clima-plantas, procurando indicar o melhor entendimento dos processos envolvidos na produção vegetal, tais como: as melhores datas de semeadura considerando-se os diferentes padrões pluviométricos e de solo, as probabilidades de risco de perda de rendimento em função da deficiência hídrica e quais as localidades de maior potencial para o desenvolvimento dos cultivos frente à variabilidade dos fatores climáticos, tem sido de grande importância para os produtores, agentes financiadores e tomadores de decisão da política agrícola nacional.

Nesse contexto, o zoneamento agrícola de risco climático tem sido de fundamental importância, pois se tornou, ao longo dos anos, numa ferramenta eficiente para o sistema de suporte a tomadas de decisão, tanto na definição de uma política agrícola que fortalece a sustentabilidade do sistema de produção, como no aconselhamento técnico aos produtores, aumentando-lhes a possibilidade de menor risco de perdas e de melhor eficiência do capital investido na atividade agrícola.

Zoneamento de agrícola de risco climático: conceitos e objetivo

Ao optar por uma determinada época de semeadura, o produtor deve considerar o ciclo da cultura, o tipo de solo e a variabilidade dos elementos do tempo e clima na sua região, especialmente o volume e distribuição das chuvas. Esta decisão pode ser considerada uma das mais difíceis e importantes para o produtor, e poderá resultar em elevado ou reduzido rendimento da soja, ou seja, o lucro ou prejuízo da sua atividade. Ao longo dos anos, a agrometeorologia gerou grande volume de conhecimento técnico-científico de importância para a produção agrícola, porém nem todo ele foi convertido em tecnologia ou conhecimento de fácil aplicação no meio rural e nas políticas públicas. No Brasil, parte desse conhecimento foi traduzido em metodologia de estudos de risco climático aplicado na agricultura, também conhecido como “Zoneamento Agrícola do Brasil”.

O zoneamento agrícola tem sido utilizado como um instrumento de política agrícola e de gestão de riscos na agricultura. Como política pública, tem como objetivo indicar datas ou períodos de plantio/semeadura por cultura e por município, considerando as características do clima, o tipo de solo e ciclo da cultivar, de forma

a evitar que adversidades climáticas coincidam com a fase mais sensível das culturas, minimizando as perdas agrícolas.

A partir do Ano-Safra 1996/97, o zoneamento de risco climático passou a ser operacionalizado pelo Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento - MAPA para subsidiar a liberação de crédito agrícola amparado pelo Programa de Garantia da Atividade Agropecuária – PROAGRO. Anos depois foi também adotado pelo PROAGRO MAIS, do então Ministério do Desenvolvimento Agrário – MDA, provedor e gestor das políticas voltadas para a agricultura familiar. A partir de então, esse instrumento passou a contribuir significativamente para o aumento da produção agrícola nacional, na medida em que o agricultor passou a semear na época indicada para o menor risco de perda e, com isso, foram reduzidas as perdas agrícolas em decorrência da variabilidade do clima. Ainda, passou a ser também um indutor de tecnologia na medida em que condiciona o acesso ao crédito ao uso de sementes registradas e certificadas, e à redução da alíquota do prêmio do seguro rural para o agricultor que adotar a tecnologia de plantio direto.

Para realização do zoneamento agrícola de risco climático para a cultura da soja no Tocantins, foi utilizado um sistema de análise regional dos riscos agroclimáticos – SARRA (BARON *et al.*, 1996), traduzido do francês (Système d'Analyse Regionale des Risques Agroclimatiques). É definido como um modelo empírico e simples, que simula o desenvolvimento da planta em função do consumo de água e disponibilidade hídricas do solo. O modelo SARRA incorpora funções relativas ao sistema solo-clima-planta por regressão matemática, mas requer um número reduzido de variáveis de entrada, quando comparado aos modelos denominados mecanísticos (de processos, e complexos), o que permite a sua aplicação numa escala regional.

Por meio deste sistema, é realizado o balanço hídrico da cultura, como forma de estimar o atendimento às necessidades de água da planta em seus períodos críticos como semeadura – germinação e floração – enchimento de grãos (reprodutivo), por meio da interação entre a oferta de água das chuvas, a capacidade de água disponível (CAD) dos solos, da reserva útil máxima de do perfil do solo explorado pelas raízes da planta, bem como da demanda de água e tolerância à restrição hídrica da cultura da soja.

É importante entender que, por se tratar de um modelo agroclimático, parte-se do pressuposto que não haverá limitações quanto à fertilidade dos solos e danos às plantas causados por pragas e doenças; e que o produtor conhece o sistema de produção e utiliza as tecnologias de cultivo e boas práticas que permitem obter o rendimento potencial da cultivar semeada.

Ao SARRA são incorporados os dados diários de chuva e evapotranspiração de referência da rede de estações climatológicas disponíveis no estado. Dos solos

são utilizados dados físico-hídricos como profundidade, água disponível (AD) e reserva útil de água na zona radicular (RUR). E da cultura da soja, os dados de fisiologia como coeficiente de cultura (Kc), duração média do ciclo dos grupos de cultivares (precoce, médio e tardios) e de suas respectivas fases fenológicas e profundidade efetiva do sistema radicular.

Para os estudos de ZARC os solos são reclassificados pela textura ou características físico-hídricas, especialmente a capacidade de retenção de água, sendo apresentados em três grupos. O conjunto de solos de textura arenosa apresenta teor de argila entre 10% e 15%, menos de 70% de areia, com variação de textura no primeiro horizonte, e Capacidade de Água Disponível (CAD) entre 0,4 mm.cm⁻¹ e 0,7 mm.cm⁻¹; apresentam baixa capacidade de retenção de água e são denominados de solo Tipo 1. Nos solos Tipo 2 estão agrupados aqueles que apresentam textura média, com teores de argila entre 15% e 35 % e menos de 70% de areia, Capacidade de Água Disponível (CAD) entre 0,7 mm.cm⁻¹ e 1 mm.cm⁻¹, e têm como característica físico-hídrica apresentar média capacidade de retenção de água. Os solos Tipo 3 são colocados no grupo daqueles de classe de textura argilosa, tendo como características físico-hídricas alta capacidade de retenção de água, isto apresentar teor de argila acima que 35%, menos de 15% de areia e capacidade de água disponível (CAD) maiores que 1 mm.cm⁻¹.

Por se tratar do balanço hídrico da cultura, considera-se a capacidade média de água disponível (CAD) de cada grupo ou tipo de solos e também a profundidade efetiva das raízes da soja em 50 cm, ou seja, o perfil do solo com disponibilidade de água a ser explorado pela planta. Com isso, estimou-se a CAD dos solos Tipo 1 em 35 mm, dos solos Tipo 2 em 55 mm e dos solos Tipo 3 em 75 mm.

Os cultivares registradas no Serviço Nacional de Registro de Cultivares (SRNC/MAPA, 2018) foram classificados e agrupados, e foi estabelecida uma duração média dos ciclos produtivos e fases fenológicas para o grupo dos precoces, de ciclo médio e os tardios, conforme apresentado na Tabela 1, e os coeficientes de cultura estimados para a soja estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 - Duração média do ciclo e respectivas fases fenológicas (em dias) da cultura da soja

Grupo/Ciclo	Fase I	Fase II	Fase III	Fase IV	Colheita
	Emergência	Vegetativa	Formação grãos	Maturação	
Grupo I	10	35	40	30	115
Grupo II	10	40	45	30	125
Grupo III	10	45	50	35	140

Tabela 2 - Coeficientes de Cultura (Kc) estabelecidos para períodos de dez dias (decêndios) durante o ciclo da cultura da soja

Ciclo	Períodos decendiais													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Grupo I	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.4	1.2	0.9	0.8	0.8		
Grupo II	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.4	1.3	1.2	0.9	0.8	
Grupo III	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.4	1.3	1.2	0.9	0.8

Das simulações de balanço hídrico da cultura, são obtidos diferentes indicadores de oferta e demanda hídrica, representados neste estudo pela evapotranspiração real (EtR) e evapotranspiração máxima da cultura (EtM), respectivamente. A partir da relação EtR/EtM obtém-se o índice de satisfação das necessidades de água (ISNA) da cultura, para cada uma de suas fases de desenvolvimento. As simulações são realizadas para cada localidade representada pelos postos climatológicos (ou pluviométricos). A definição das áreas de baixo, médio e alto risco climático, bem como do estabelecimento da janela de semeadura com baixos riscos de perdas de rendimento é associado à ocorrência ou não de déficit hídrico nas fases de semeadura/emergência (fase I) e de formação dos grãos (floração/enchimento), consideradas como as mais críticas ou sensíveis à restrição de água para que a cultura possa expressar sua produção potencial.

A análise frequencial é a função matemática e estatística de risco utilizada para estabelecimento da frequência de ocorrência (ou não) de deficiência hídrica nas fases sensíveis da lavoura. São obtidos os ISNAs apresentados no 8º decil da distribuição de frequências, ou seja, análise frequencial de 80%. Os valores obtidos nessa frequência representam 80% ou mais de todos os valores da série e inferiores a apenas 20% deles. Como exemplo, quando simulado a semeadura da soja de ciclo precoce em um solo Tipo 2, e obtém-se ISNAs da análise frequencial de 80%, significa que este índice ocorreu em pelo menos 80% dos anos da série de 30 anos de medidas do clima de um determinado local. Ainda, se o índice apresentado na Fase I for $\geq 0,50$ e na Fase III for $\geq 0,60$, significa que em pelo menos 24 dos 30 anos, a planta não sofreu restrição hídrica nas fases de semeadura, germinação e também na fase produtiva, caracterizando um cenário de baixo risco. O ISNA é variável entre 0 e 1, onde 0 significa oferta hídrica nula e 1, 100% de atendimento da demanda hídrica da soja, ou seja, da evapotranspiração máxima da cultura (EtM).

Análise espacial e mapeamento dos índices de satisfação das necessidades de água (ISNA) da soja.

Esta etapa consiste da sistematização e georreferenciamento dos índices de satisfação das necessidades de água (ISNA) obtidos a partir do modelo agroclimatológico SARRA. Conforme apresentado anteriormente, são realizadas simulações de época de semeadura para os 36 decêndios (períodos de dez dias) do ano, selecionando-se alternadamente o ciclo da cultura e o tipo de solo. Os resultados são apresentados em um arquivo de saída no qual estão listadas todas as estações pluviométricas com o seus respectivos ISNAs para cada fase fenológica.

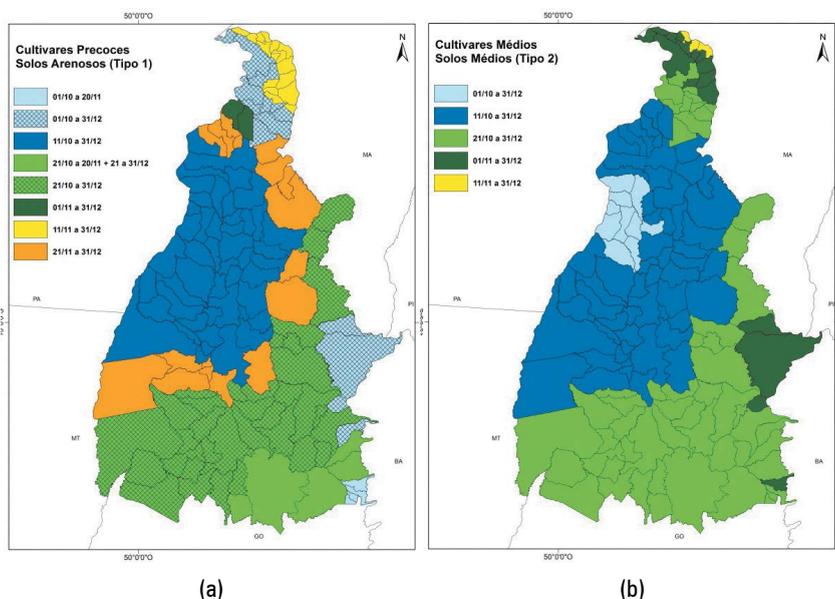
Como cada posto climatológico ou pluviométrico apresenta sua localização por meio das coordenadas geográficas (latitude e longitude). Para georreferenciamento e interpolação dos índices, utiliza-se um sistema de informações geográficas (SIG), como, por exemplo, o ArcMap, da ESRI, e o SPRING, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Nesses sistemas estão contidos os estimadores espaciais, que são funções matemáticas estatísticas e geoestatísticas que permitem estimar o ISNA para cada ponto da superfície por média ponderada dos valores das estações vizinhas, e com isso, construir uma grade regular de pontos, normalmente com resolução espacial de 1km. A conversão desta grade em mapas de risco e constituição de sua respectiva legenda é feita com a classificação dos ISNA e apresentados em três classes de risco: i. a classe de alto risco representa as regiões de $ISNA \leq 0,5$; ii. Classe de médio risco representa as regiões com ISNA de maior que 0,5 e menor que 0,6; e iii. a classe de baixo risco que representa as regiões com $ISNA \geq 0,6$.

Desta forma são gerados os mapas com indicativo de risco climático para semeadura da soja de ciclo precoce, médio e tardio nos três tipos de solo. O mapa final de cada época de simulação de semeadura resulta do cruzamento dos mapas de ISNA das fases I e III, por meio de funções de álgebras de mapas, os estimadores ou interpoladores espaciais.

Zoneamento de risco climáticos da cultura da soja no Tocantins: Cenário atual

Os estudos de zoneamento agrícola de risco climático da cultura da soja atualmente são realizados por pesquisadores e técnicos da Embrapa. É enviado à Coordenação-Geral de Zoneamento Agropecuário (CGZA), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio de um relatório técnico e dispõe em seus anexos, de nove mapas de riscos e nove tabelas de épocas de semeadura, um para cada tipo de solo e grupo de cultivar. Deste relatório a CGZA elabora uma Nota Técnica que é publicada pelo Banco Central do Brasil (BCN) e disponibilizada a todas as instituições que atuam nos setores de crédito, seguro rural e cooperativas de produtores. Pode também ser acessado por meio da página (site) do MAPA e do Agritempo (Sistema de Monitoramento Agrometeorológico).

Na Figura 1 apresentam-se as épocas ou janelas de semeadura da soja válidas para os cultivares de ciclos precoce cultivados em solos de textura arenosos (a) e também dos cultivares de ciclo médio cultivados em solos de textura média (b), cenários mais representativos das lavouras do Estado do Tocantins. Observa-se que de uma maneira geral, as datas iniciais de semeadura ocorrem no primeiro decêndio do mês de outubro e se estendem até final do mês de dezembro, período designado como safra principal ou primeira safra. A variabilidade temporal e espacial das chuvas, associada às diferentes capacidades de armazenamento de água dos solos, resulta em, pelo menos, nove diferentes períodos de semeadura para cultivares precoces nos solos arenosos e quatro janelas para cultivares de ciclo médio semeadas em solos de textura média; e que de maneira geral as janelas se iniciam na porção noroeste (01/10) e avançam no sentido sul e nordeste do Estado (21/11) (Figura 1).



Fonte: Adaptado de MAPA (2009)

Figura 1 - Zoneamento de risco climático da cultura da soja para o Estado do Tocantins, para indicação de épocas de semeadura de cultivares de ciclo precoce em solos arenosos ou Tipo 1 (a) e de cultivares de ciclo médio em solos de textura média ou Tipo (b)

Zoneamento de Risco Climático da cultura da soja no Tocantins: Cenário de mudanças climáticas

As mudanças climáticas podem alterar principalmente dois importantes elementos do clima, responsáveis por determinar o desenvolvimento e rendimento das culturas, que são a temperatura e chuva. A elevação da temperatura

já é observada, e com baixa incerteza estatística, em torno de 1°C, e os modelos mais avançados em previsão climática já estimam elevações de até 2°C já em 2040, no cenário RCP4.5 (otimista) e de até 3°C no cenário pessimista (RCP 8.5) (IPCC, 2013). E para o final deste século esses valores poderiam chegar até os 4°C no melhor cenário, e em até 7°C no pior cenário, aquele que aponta para a manutenção da atual curva progressiva de emissões de GEEs.

Por outro lado, os resultados das simulações das alterações das chuvas ainda não apresentam o mesmo grau de certeza ou precisão das temperaturas, mas os modelos apontam para uma redução de chuvas entre 5% e 15% para o Estado do Tocantins até o final deste século (CHOU *et al.*, 2014).

E qual seria o impacto dessas elevações das temperaturas e prováveis reduções das chuvas no calendário de plantio e rendimento da cultura da soja no Estado do Tocantins. Para responder a este questionamento, reuniram-se aqui as informações já disponibilizadas pelos pesquisadores que atuam tanto nas previsões climáticas quanto aqueles agrometeorologistas responsáveis por estudar as relações entre as variáveis do clima e do solo e o cultivo da soja.

A partir do aperfeiçoamento dos modelos matemáticos que fazem previsões futuras do clima, simulando e estimando valores de temperatura e chuva com maior precisão (baixa incerteza) e maior confiabilidade, no quarto relatório de avaliação do impacto das mudanças do clima sobre o planeta (AR4), publicado em 2007 pelos pesquisadores do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) (IPCC, 2007), foi feito um alerta incisivo à população mundial e aos governantes das grandes potências econômicas e aos países mais poluidores da atmosfera sobre os riscos que as mudanças climáticas poderiam causar na vida das pessoas e do Planeta. O carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) seriam os maiores gases causadores do chamado efeito estufa (GEE) da atmosfera.

Neste relatório, nas observações relativas à agricultura, já advertiam que a região dos trópicos teria uma redução das chuvas e um encolhimento das terras para uso agrícola, com impacto no rendimento das lavouras, o que colocaria em risco a segurança alimentar. E que mesmo uma elevação de 1°C a 2°C na temperatura, já poderia afetar e reduzir a produtividade das culturas, sendo que a soja seria a cultura mais afetada. E os indicativos apresentados pelos pesquisadores da Embrapa e Unicamp em 2018 só veio confirmar essas previsões de cenários para a soja brasileira.

O mais amplo estudo realizado com o objetivo de avaliar o impacto das mudanças climáticas na agricultura brasileira ocorreu em agosto de 2008. Isto porque o mais recente relatório do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) previa que a produção de alimentos em todo o mundo poderia sofrer um impacto dramático nas próximas décadas por conta das mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global, e que o a agricultura do Brasil também seria

afetada já nas décadas seguintes. A pesquisa foi conduzida por pesquisadores da Embrapa e Unicamp, especialista em estudos de risco climático na agricultura, e foram utilizadas as mesmas metodologias empregadas para operacionalizar o zoneamento agrícola do Brasil, aplicados na política agrícola, especialmente para orientar a liberação de crédito amparado pelo seguro rural brasileiro, o Proagro e Proagro Mais.

Parte dessa equipe passa a avaliar também como o aquecimento global poderia afetar a agricultura brasileira e, em alusão ao ZARC, este estudo recebeu o nome de "Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil". Foram avaliadas nove culturas e entre elas, a soja. E neste estudo, optou-se por utilizar os dados de temperatura extraídos do modelo Precis (Providing Regional Climates for Impact Studies), desenvolvido pelo Centro Hadley, da Inglaterra, conhecida como uma das principais instituições que estudam as mudanças do clima no planeta. E foram adotadas as simulações relativas aos cenários A2 – o mais pessimista, que estima um aumento de temperatura entre 2°C e 5,4°C até 2100; e o cenário B2, um pouco mais otimista, que previa um aumento de temperatura entre 1,4°C e 3,8°C até o final deste século (IPCC, 2003).

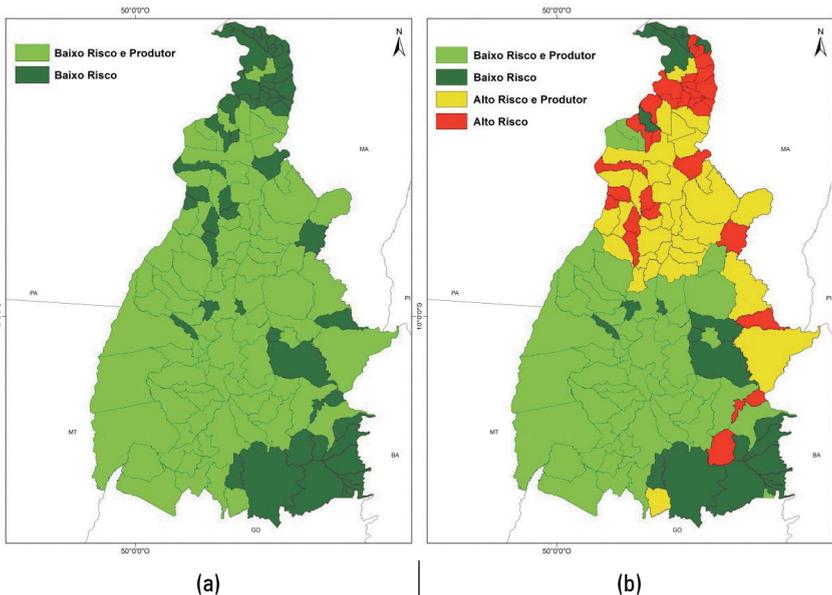
Com base nesses cenários de aumento da temperatura, os pesquisadores observaram que poderia ocorrer de um modo geral, uma redução da área das regiões aptas (ou de baixo risco) para o cultivo dos grãos. Com exceção da cana-de-açúcar e da mandioca, todas as demais culturas sofreriam redução da área de baixo risco e, por consequência, no valor da produção. E tanto outro estudo conduzido para o café em 2001 (PINTO *et al.*, 2008), quanto para as demais culturas em 2008, apontaram forte impacto do aquecimento nas áreas com potencial de produção agrícola, onde o aumento da temperatura promoveria uma elevação das perdas de água das lavouras por evapotranspiração (evaporação do solo e transpiração das plantas) e, conseqüentemente, um aumento na deficiência hídrica, o que provocaria um aumento de áreas com alto risco climático. Certamente a região sul do Brasil, com predomínio de clima temperado, e algumas microrregiões do sudeste, onde ocorrem geadas e temperaturas baixas que limitam o desenvolvimento de algumas culturas, teriam as áreas de baixo risco até ampliadas.

Mas, qual foi o cenário apresentado para a soja nesse estudo conduzido por Pinto *et al.* (2008)? Utilizando as mesmas palavras dos autores: "... A soja deve ser a cultura mais afetada. No pior cenário, as perdas podem chegar a 40% em 2070, levando a um prejuízo de até R\$ 7,6 bilhões." Neste caso, a soja seria afetada especialmente pelo aumento da deficiência hídrica e também pela maior frequência de ocorrência dos veranicos e redução das janelas ou épocas de semeadura.

Segundo o IBGE (2018), a soja apresenta o maior valor de produção da agricultura brasileira e é o principal produto agrícola exportado. E segundo as previsões, em 2050 já teríamos o impacto na redução da área entre

29,6% (otimista ou B2) e 34,1% (pessimista ou A2), em relação à área de cultivo apresentada pelo ZARC atual; podendo chegar a 34,86% no melhor cenário e 41,39% no pior cenário. Em termos de valores (não atualizados aqui) os prejuízos chegariam em R\$ 5,47 bilhões (B2) e R\$ 6,3 bilhões (A2), e a R\$ 6,4 bilhões (B2) e R\$ 7,6 bilhões (A2) entre 2050 e 2070, respectivamente (PINTO *et al.*, 2008).

Mas o objetivo aqui é levantar desses estudos, quais seriam os impactos das mudanças climáticas na soja cultivada no Tocantins. As simulações de risco climático para a cultura da soja, utilizando as mudanças de temperatura nos chamados cenários otimista (B2) e pessimista (A2) utilizaram como referência as temperaturas registradas na década de 90 para o mapear o cenário atual. Nesta década, de maneira geral e considerados os diversos ciclos de cultivares e tipos de solo, todos os municípios do estado do Tocantins apresentavam períodos de semeadura com baixo risco (Figura 2a). Mas este estudo previa alguma alteração das áreas de alto risco já para as décadas de 2010 e 2020, mesmo para o cenário otimista, afetando os municípios localizados na região nordeste do Estado, aqueles localizados na fronteira com o estado do Maranhão. Campos Lindos, grande produtor de grãos, seria um dos municípios afetados. Quando avaliadas as projeções para 2050 e 2070, foi observado que tanto para 2050 quanto para 2070 o terço norte do Estado já apresentaria alto risco de perda de produção da soja, tanto para o cenário otimista quanto para o pessimista (Figura 2b).



Fonte: Adaptado de Pinto *et al.* (2008)

Figura 2 - Zoneamento de risco climático para a cultura da soja no Tocantins com base em dados da década de 90 (a) e simulações para a década de 2050 para os cenários A2 e B2 (b)

Em outro estudo conduzido também pela mesma da Embrapa e Unicamp, foram realizadas simulações de épocas de semeadura da soja para o mês de novembro, mês que concentra as melhores épocas de semeadura e maior área de baixo risco em todo no Brasil. Foram consideradas a elevação da temperatura entre 1°C e 5,8°C e redução das chuvas entre 0 e 15%, com simulações para os três tipos de solos e utilizando a mesma metodologia aplicada para o zoneamento agrícola do Brasil. Os resultados deste estudo não apresentaram qualquer impacto para o cultivo da soja no Tocantins.

Em 2015, novo estudo foi realizado para avaliar o impacto das mudanças climáticas na cultura da soja (MONTEIRO *et al.*, 2005). Neste estudo, os pesquisadores utilizaram dados climáticos medidos entre 1976 até 2005 para elaborar o ZARC representativo do cenário atual. Feito isso, substituiu-se no modelo agrometeorológico, de análise regional de risco agroclimático, os dados atuais de chuva e temperatura por outros simulados pelos modelos regionalizados de previsão de clima, Eta-HadGen2ES e Eta-Miroc5, para o período 2011-2040, disponibilizados pelo CPTEC/INPE.

Mas para gerar o quinto relatório (AR5), o IPCC passou a utilizar uma forma nova para representar os cenários de mudanças climáticas, criando categorias ou cenários de emissões gases de efeito estufa, mas agora convertidos em carbono equivalente (CO₂ eq), bem como feita sua conversão em energia, designada de forçante radioativa, expressa em W.m⁻² (Van VUUREN *et al.*, 2011). O cenário RCP 4.5 considera a faixa de emissão de 430 ppm a 480 ppm de CO₂eq e, que se mantidas essa faixa de emissões, ocorreria um impacto de 1,7°C a 3,2°C na temperatura média da terra até o final do século; e considerados os níveis atuais de emissões, este cenário é considerado bom, otimista. Por outro lado, foi apresentado o cenário ruim, pessimista, aquele em que as emissões de combustíveis fósseis e demais componentes que constituem os gases de efeito estufa (GEEs), e mantidas os níveis atuais de emissões, nosso histórico de emissões, atingiram-se aproximados 1370 ppm de CO₂ eq no final do século, gerando uma energia de 8.5 W.m⁻², com acréscimos de 3,2 a 5,4°C na temperatura média da terra, o chamado cenário RCP 8.5 (IPCC, 2007). É importante ressaltar que em todos os cenários avaliados, o impacto tanto na temperatura quanto na chuva seriam espacialmente variáveis no Estado do Tocantins, como apresentado anteriormente.

Os autores aplicaram a mesma metodologia utilizada para zoneamento agrícola do Brasil, aquela baseada no balanço hídrico da cultura, estudo que analisa as relações entre as variáveis climáticas, especialmente água e temperatura, sobre o rendimento das lavouras, que tem como variável de saída, o índice de satisfação das necessidades de água (ISNA), o indicador de oferta e demanda de água das lavouras, expresso pela relação entre as evapotranspirações real e máxima, ou seja, (EtR/EtM).

Uma observação importante retirada deste estudo, foi a redução das áreas de baixo risco no Brasil, cerca de 39% de redução, para dados obtidos de um dos dois modelos de previsão climática utilizado, o modelo HadGen2ES; enquanto para o outro modelo, o Miroc5, essa redução foi menor, em torno de 11%. Significa que os resultados apresentados pelos diversos modelos são variáveis, e isso se deve às incertezas associadas a cada modelo. Daí a importância do avanço também na pesquisa em aperfeiçoamento dos modelos de previsão de tempo e clima.

E quando avaliados os indicativos apresentados nesse estudo, observa-se que o Estado do Tocantins não será afetado pelas mudanças climáticas até 2040. Mas fica o alerta de que as áreas de alto risco alcançariam suas fronteiras ao sul, limite com o Estado do Maranhão; e à oeste, limite com o Estado da Bahia. Por outro lado, quando analisado o calendário de plantio a partir do primeiro estudo do ZARC, observa-se que a implantação das lavouras se iniciavam já no primeiro decêndio de outubro, e atualmente já não ocorre com a mesma frequência, e as semeaduras da soja têm ocorrido com pelo menos um mês de atraso em relação às décadas de 80 e 90. E este comportamento resulta também na redução da janela de plantio no Estado, exigindo do produtor um maior planejamento especialmente quando se pretende realizar o cultivo de duas safras. O milho safrinha, como opção da segunda safra, por exemplo, apresentaria maior risco de quebra de rendimento por deficiência hídrica.

Considerações Finais

Em cenários de mudanças climáticas, ocorrendo elevação da temperatura e alteração no regime das chuvas, os possíveis impactos sobre o zoneamento agrícola de risco climático da cultura da soja no Estado do Tocantins poderiam ocorrer de duas maneiras. Em uma delas, com redução das áreas indicadas para cultivo com baixo risco. E na segunda forma, na alteração com redução ou deslocamento da janela de semeadura nos diferentes municípios do Estado. A tendência de ocorrência de mais eventos extremos de chuvas e secas são apontadas e, no contexto de variabilidade climática, as mesmas já são observadas atualmente, e contribuem diretamente para redução do rendimento das lavouras de soja no Estado.

As informações aqui reunidas são suficientes para concluir que a elevação da temperatura já observada no cenário atual e com baixa incerteza, já é suficiente para alterar a relação entre oferta e demanda de água na cultura da soja, e com isso alterar o ZARC, restringindo a janela de semeadura nos diversos municípios do Tocantins. E mesmo no cenário de aumento da temperatura em até 5,4°C, simulado pelos modelos de previsão de clima, os estudos ainda não indicam sensível alteração do ZARC com redução nas áreas de baixo risco, o que permite deduzir que impacto é amenizado pela boa oferta de chuvas no Estado. Mas os resultados não

são conclusivos e indicam a necessidade de ações de monitoramento e atualizações regulares dos estudos de ZARC. Reavaliações ainda serão mais necessárias se consideradas as alterações tanto no volume quanto na distribuição das chuvas, e as essas alterações já são perceptíveis e mensuráveis já no cenário atual.

Questionamentos se fazem necessários. E nesse sentido, esse estudo também aponta para os caminhos: O que fazer perante as certezas (ou incertezas) das previsões e cenários das mudanças climáticas? E algumas respostas foram encontradas: Torna-se imperativo mitigar, reduzindo as emissões dos gases causadores do aquecimento da atmosfera; adaptar e inovar. Como? Por meio do avanço científico e planejamento de plantio baseado em tecnologias de produção sustentáveis, tais como o ZARC aperfeiçoado e adotado como ferramenta de gestão de risco; tecnologias de integração da lavoura de soja com a produção de pastagem (iLP), podendo também acrescentar (integrar) o componente florestal (iLPF), implantação dos sistemas integrados e agroflorestas; desenvolvimento do melhoramento genético para seleção de cultivares produtivas e tolerantes à seca; revegetação e monitoramento das áreas de proteção permanentes, como meio de recuperação e preservação dos recursos hídricos. Mas, é imperativo o desenvolvimento da consciência para mudança de comportamento da sociedade em produção e consumo de alimentos e derivados do uso da terra.

Referências

- ASSAD, E. D. (Coord.). **Chuva nos cerrados: análise e espacialização**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 423 p.
- BARON, C.; PEREZ, P.; MARAUX, F. **Sarrazon: bilan hydrique applique aou zonage**. Montpellier: CIRAD-CA, 1996. 26 p.
- CÂMARA, G. M. S. **Soja: tecnologia da produção II**. CÂMARA, G. M. S. (Editor). Piracicaba: CÂMARA, G. M. S., 2000. 450p.
- CASAROLI, D.; FAGAN, E. B.; SIMON, J.; MEDEIROS, S. P.; MANFRON, P. A.; NETO, D. D.; MARTIN, T. N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja-uma revisão. **Revista da FZVA**, v.14, n.2. 2007.
- CHOU, SIN CHAN; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; MARENGO, J. A. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 512-527, 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica das safras**. Brasília: CONAB. 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra-serie-historica-das-safra?start=20>>. Acesso em: 11 out. 2019.

DESCHÊNES, O.; GREENSTONE, M. the economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. **American Economic Review**, v. 97, n. 1, p. 354-385. 2007.

DESHMUKH, R.; UMIRA SONAH, H.; PATIL, G.; CHEN, W.; PRINCE, S.; MUTAVA, R.; NGUYEN, H. T. Integrating omic approaches for abiotic stress tolerance in soybean. abiotic stress: molecular genetics and genomics, 50. 2014.

EVANGELISTA, B. A.; SILVA, F. A. M. da; SILVA NETO, S. P. da. Uso das informações agrometeorológicas no monitoramento das culturas agrícolas, tendo como referência a soja. **Anuário da Associação Brasileira de Sementes e Mudanças**, Pelotas, p. 38-42, jul. 2013.

FARIAS, J. R. B. Limitações climáticas à obtenção de rendimentos máximos de soja. In: Mercosoja 2011. QUINTO CONGRESO DE LA SOJA EN EL MERCOSUR. **Anais...** Rosario, Argentina. 2011.

HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; ALAM, M. M.; ROYCHOWDHURY, R.; FUJITA, M. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. **Int. J. Mol. Sci.**, v.14, p. 9643–9684, 2013.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. **Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability**. Working Group II Report. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg2.htm>>. Acesso em: 03 fev. 2018.

IPCC. Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections. van OLDENBORGH, G.J.; COLLINS, M.; ARBLASTER, J.; CHRISTENSEN, J.H.; MAROTZKE, J.; POWER, S.B.; RUMMUKAINEN, M.; ZHOU, T. (Eds.). In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. (Eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, p. 1311-1394. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324.029>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **Int. J. Agric. Biol.**, v. 11, n. 1, p.100-105. 2009.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 2004. 452 p.

KÖEPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. Mexico: Fundo de Cultura Econômica, 1948. 478 p.

KOTAK, S.; LARKINDALE, J.; LEE, U.; VON KOSKULL-DÖRING, P.; VIERLING, E.; SCHARF, K. D. Complexity of the heat stress response in plants. **Current Opinion in Plant Biology**, v.10, n. 3, p. 310-316. 2007.

LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A.; MOTA, P. E. F. *et al.* **Aptidão agrícola das terras do MATOPIBA**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. 48 p. (Documentos/Embrapa Solos, 179).

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio**: Brasil 2014/2015 a 2024/2025. Brasília: MAPA. 2015. 108 p.

MITTLER, Ron. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 1, p. 15-19, 2006.

MONTEIRO, J. E. B. A.; NAKAI, A. M.; ASSAD, E. D.; PELLEGRINO, G. Q.; OLIVEIRA, A. F.; PAVÃO, E. M. Risco climático para soja no Brasil em cenários de mudanças climáticas no período 2011-2040. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 11, 2015, Lavras - MG. **Anais... Agrometeorologia no século 21 - o desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros**, Lavras: UFLA - SBA, p.2422-2429. 2015.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, S. R. M.; ZULLO JR, J.; OTAVIAN, A. F.; ÁVILA, A. M. H.; EVANGELISTA, B. A.; MARIN, F. R.; JUNIOR, C. M.; PELLEGRINO, G. Q.; COLTRI, P. P.; CORAL, G. **A nova geografia da produção agrícola no Brasil**. In: DECONTO, J. G. (Org.). **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. 2 ed., Campinas: Embrapa, v. 1, p. 24-71. 2008.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; LUZ, J. D. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 431-437. 2001.

STRECK, C. M.; ALBERTO, N. A. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, 2006.

TRAN, L. S. P.; MOCHIDA, K. Functional genomics of soybean for improvement of productivity in adverse conditions. **Functional & Integrative Genomics**, v. 10, n. 4, p. 447-462. 2010.

VAN VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; HURTT, G. C.; KRAM, T.; KREY, V.; LAMARQUE, J. F.; MASUI, T.; MEINSHAUSEN, M.; NAKICENOVIC, N.; SMITH, S. J.; ROSE, S. K. The representative concentration pathways: an overview. **Clim. Change**, v. 109, p.5-31, 2011.

Implicações das Variações Climáticas Sobre o Zoneamento de Risco Climático na Cultura do Arroz de Terras Altas no Estado do Tocantins

Girlene Figueiredo Maciel¹

¹Professor Associado II da Universidade Federal do Tocantins – UFT

1 - Introdução

O Tocantins apresenta uma vocação econômica voltada ao agronegócio e alicerçada na pecuária e agricultura, sendo que metade do território do Estado possui potencial para a agricultura. Apresenta terras de valor competitivo no mercado e de topografia plana, o que favorece o processo de mecanização agrícola (Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Tocantins – SEAGRO, 2017).

Estes fatores, aliados às ações desenvolvidas pelo governo estadual, no âmbito da infraestrutura, têm contribuído para um aumento expressivo na produção agrícola do Estado.

O Tocantins tem como atividade econômica expressiva a criação de gado bovino de corte, seguida pela produção de soja, milho e arroz.

O arroz produzido no Estado é cultivado sob o sistema de irrigação por inundação na região do Vale do Araguaia e pelo sistema de terras altas (condições de sequeiro).

O plantio do arroz de terras altas no Tocantins é tradicionalmente realizado por agricultores familiares para o consumo próprio, destacando-se pela sua importância social (FRAGOSO *et al.*, 2013 e CONAB, 2017a), como também pela agricultura empresarial para a abertura de novas áreas, em especial para o cultivo de soja (CONAB, 2017a). Contudo “existe uma tendência de queda da área para este segmento, a qual é influenciada pela opção dos produtores por cultura com melhores expectativas de mercado, como o milho e a soja, bem como pela diminuição de abertura de área” (CONAB, 2017a).

A colheita do arroz no Tocantins, referente à safra 2019/20, ocorreu numa área total de 122,5 mil hectares, atingindo uma produção de 658,6 mil toneladas, indicando um incremento de 5,6 % em relação à produção da safra de 2018/19. Comparando essas duas safras, houve uma diminuição da produção de arroz cultivado pelo sistema de terras altas de 11,9 %, devido à redução de área de plantio e da produtividade. Na safra 2019/20, a produção de arroz de terras altas foi de 27,4 mil toneladas, correspondendo a 4,2 % de toda a produção total de arroz (irrigado e de terras altas) e de 4,3 % da produção de arroz irrigado no Estado (CONAB, 2020).

Apesar de sua importância para o Estado, a agricultura, dentre todos os setores econômicos, é a que apresenta maior dependência das condições ambientais,

especialmente as climáticas. Dessa forma, a grande variabilidade interanual dos principais componentes climáticos, na região do cerrado tocantinense, torna a agricultura uma atividade de alto risco.

Segundo Castro; Moreira; Assad (1994), dos componentes climáticos, a precipitação pluviométrica é um dos fatores que mais afetam a produção agrícola, devido ao seu caráter aleatório, aumentando, conseqüentemente, os riscos na programação das atividades agrícolas.

Esta variabilidade pode tornar-se, ainda mais forte, é o que mostram os resultados do Quarto e Quinto Relatórios de Avaliação das Mudanças Climáticas Globais (AR4 e AR5) divulgados respectivamente pelo IPCC (2007 e 2013). De acordo com esses resultados, pode ocorrer um aumento médio global das temperaturas entre 1,8°C e 4,0°C até 2100 (IPCC, 2007). Esse aumento pode ser ainda maior (6,4°C), se a população e a economia continuarem crescendo rapidamente e se for mantido o consumo intenso dos combustíveis fósseis.

Em relação à precipitação pluvial, embora exista uma compreensão cada vez melhor dos padrões projetados de precipitação, ainda assim, é grande a discordância no que diz respeito ao sinal e ao percentual da mudança, enquanto alguns modelos apontam para anomalias positivas de precipitação sobre a Amazônia e Nordeste brasileiro, outros apontam para anomalias negativas (GIORGI; FRANCISCO, 2000; OYAMA, 2002, apud NOBRE *et al.*, 2007).

Essa combinação de aquecimento do planeta e mudanças no padrão de distribuição da precipitação pluvial indica menos água disponível, o que tem um forte impacto na agricultura, especialmente de sequeiro e nos recursos hídricos (NOBRE *et al.*, 2007).

Nesse contexto, percebe-se a importância do desenvolvimento de pesquisas que visem um melhor entendimento dos efeitos do aquecimento global sobre a agricultura e que venham subsidiar/criar mecanismos de adaptação e mitigação desse fenômeno.

Portanto, sendo o Tocantins um Estado cuja economia é alicerçada nas atividades agropecuárias, torna-se cada vez mais imperativo que pesquisas sejam realizadas no intuito de conhecer a vulnerabilidade ambiental aos cultivos do arroz de terras altas, diante das possíveis mudanças climáticas (IPCC, 2007 e IPCC, 2013), com base em ferramentas como o zoneamento de risco climático das culturas.

Para que haja uma redução dos riscos climáticos para a agricultura e conseqüente diminuição das perdas para os agricultores, tornou imprescindível identificar, quantificar e mapear as áreas mais favoráveis ao plantio da cultura do arroz de terras altas no Estado do Tocantins, levando-se em conta a oferta climática e, mais especificamente, a distribuição das chuvas.

Diante da escassez de informações voltadas exclusivamente para as condições agroambientais do Tocantins, realizou-se esse estudo no sentido de avaliar a influência no que diz respeito à quantificação das áreas de riscos climáticos e datas mais indicadas ao plantio da cultura do arroz. Além disso, buscou-se responder como as mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global, podem alterar o zoneamento de risco climático dessa cultura.

2 - Necessidades Climáticas da Cultura

O ciclo de vida da planta do arroz pode ser dividido em três distintas fases: fase vegetativa, reprodutiva e maturação dos grãos (VERGARA; CHANG, 1985). Após a emergência pode-se considerar, como ciclos curto, médio e longo, cultivares com até 120, 135 e acima de 135 dias, respectivamente (EMBRAPA, 1977).

Para o cultivo em condições de sequeiro, a quantidade e a distribuição da precipitação pluvial são muito importantes, pois o arroz de terras altas é altamente sensível à deficiência hídrica e ao efeito do estresse, cuja gravidade depende da coincidência entre o período da ocorrência e os processos fisiológicos determinantes da produtividade (STEINMETZ; SILVA; SANTANA, 2006).

Nos cultivos do arroz de terras altas o estresse hídrico é considerado moderado quando conseqüente redução na produtividade é inferior a 50%, acima deste percentual, o estresse é considerado severo (JONGDEE *et al.*, 2006).

A necessidade total de água, para o cultivo do arroz de terras altas, varia em torno de 400 a 700 mm, dependendo da cultivar, da região do País, da época de semeadura e do manejo do solo, entre outros (STONE; MOREIRA; SILVEIRA FILHO, 1979). A fase crítica da cultura do arroz envolve a floração, com duração de cerca de 10 a 15 dias, seguido pelo período do “emborrachamento”, que dura aproximadamente de 30 dias (CIIAGRO, 2017). Nessa fase, o arroz de terras altas requer pelo menos de 180 ou 200 mm de chuva por mês, a fim de reduzir os impactos dos veranicos que são prejudiciais à produção de arroz (SILVA; STEINMETZ; HEINEMANN, 2017).

Do ponto de vista agroclimático existem, basicamente, duas alternativas para se diminuir a influência da deficiência hídrica no arroz de terras altas: a) identificação das épocas de semeadura com menores riscos de ocorrência de deficiência hídrica durante o ciclo e, principalmente, durante a fase reprodutiva da cultura; b) identificação, através do zoneamento agroclimático, das regiões com menores riscos de ocorrência de deficiência hídrica (STEINMETZ; SILVA; SANTANA, 2006).

A temperatura do ar é um dos elementos climáticos de maior importância para o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura do arroz.

Cada fase fenológica tem sua temperatura crítica ótima, mínima e máxima (HEINEMANN; STONE; SILVA, 2009). A temperatura ótima para o desenvolvimento

do arroz situa-se entre 20°C e 35°C. Em geral, a cultura exige temperaturas relativamente elevadas da germinação à maturação, uniformemente crescentes até a floração e, decrescentes, porém sem abaixamentos bruscos, após a floração (YOSHIDA; PARAÓ, 1976; SILVA; STEINMETZ; HEINEMANN, 2017).

3 - Procedimentos Metodológicos

A organização dos dados meteorológicos e as devidas correções foram realizadas utilizando um dos módulos do Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimáticos (SARRA), o SARRAMET, desenvolvido por Baron; Clopes (1995) e divulgado por Baron; Clopes; Perez; Muller; Maraux (1996).

Para a simulação do balanço hídrico do solo, considerando a cultura do arroz de terras altas, foi utilizado outro módulo do SARRA, o SARRAZON, também desenvolvido pelos mesmos autores.

Considerou-se neste estudo, a elaboração do zoneamento de risco climático para a cultura do arroz de terras altas de ciclo precoce, em solos de textura média, em quatro períodos de semeadura, além dos cenários de aquecimento global, conforme descrito por Maciel (2010).

Foi considerada a projeção de três cenários de aquecimento global para o final do século XXI, apresentados pelo IPCC (2007), além do cenário climático atual, como segue:

- a) *Cenário otimista (B_1)* - a temperatura média global teria um aumento de 1,8°C;
- b) *Cenário intermediário (A_1B)* - a temperatura média global teria um aumento de 2,8°C;
- c) *Cenário pessimista (A_1F_1)* - a temperatura média global teria um aumento de 4,0°C.

Em função das fortes incertezas, tanto no sinal quanto na magnitude da mudança, sobre o padrão de distribuição da precipitação, evidenciadas através dos mais diversos modelos utilizados pelo IPCC (2007), optou-se por associar a cada um dos cenários anteriormente apresentados a possibilidade de variação do volume pluviométrico diário em torno de 10%. Dessa forma, considerando essas variantes passou-se de três para nove cenários, descritos a seguir:

CENÁRIO OTIMISTA

- a) **Cenário otimista (B_1)** – caracterizado pelo aumento de 1,8°C da temperatura global e o volume pluviométrico diário sem alteração, ou seja, o padrão atual;
- b) **Cenário otimista (B_1) primeiro caso** – caracterizado pelo aumento de 1,8°C da temperatura global e o volume pluviométrico diário 10% menor que o atual;
- c) **Cenário otimista (B_1) segundo caso** – caracterizado pelo aumento de 1,8°C da temperatura global e o volume pluviométrico diário 10% maior que o atual.

CENÁRIO INTERMEDIÁRIO

- a) **Cenário intermediário (A₁B)** – definido pelo aumento de 2,8°C da temperatura global e o volume pluviométrico diário sem alteração, ou seja, o padrão atual;
- b) **Cenário intermediário (A₁B) primeiro caso** – definido pelo aumento de 2,8°C da temperatura global e o volume pluviométrico diário 10% menor que o atual;
- c) **Cenário intermediário (A₁B) segundo caso** – definido pelo aumento de 2,8°C da temperatura global e o volume pluviométrico diário 10% maior que o atual.

CENÁRIO PESSIMISTA

- a) **Cenário pessimista (A₁F₁)** – definido pelo aumento de 4,0°C da temperatura global e o volume pluviométrico diário sem alteração, ou seja, o padrão atual;
- b) **Cenário pessimista (A₁F₁) primeiro caso** – definido pelo aumento de 4,0°C da temperatura global e o volume pluviométrico diário 10% menor que o atual;
- c) **Cenário intermediário (A₁F₁) segundo caso** – definido pelo aumento de 4,0°C da temperatura global e o volume pluviométrico diário 10% maior que o atual.

Tabela 1 - Resumo da descrição dos cenários analisados para o estudo do risco climático para a cultura do arroz de terras altas para o estado do Tocantins

Cenários ¹	Descrição resumida dos Cenários
Situação Climática Atual	Médias de temperatura atual e precipitação atual
Otimista	+ 1,8 °C da temperatura atual e precipitação atual
Otimista 1º caso	+ 1,8 °C da temperatura atual e – 10 % da precipitação atual
Otimista 2º caso	+ 1,8 °C da temperatura atual e + 10 % da precipitação atual
Intermediário	+ 2,8 °C da temperatura atual e precipitação atual
Intermediário 1º caso	+ 2,8 °C da temperatura atual e – 10 % da precipitação atual
Intermediário 2º caso	+ 2,8 °C da temperatura atual e + 10 % da precipitação atual
Pessimista	+ 4,0 °C da temperatura atual e precipitação atual
Pessimista 1º caso	+ 4,0 °C da temperatura atual e – 10 % da precipitação atual
Pessimista 2º caso	+ 4,0 °C da temperatura atual e + 10 % da precipitação atual

¹Cenários projetados para o final deste século

4 - Resultados

A seguir estão apresentadas as figuras que mostram a espacialização dos riscos climáticos para a cultura do arroz de terras altas de ciclo precoce, no Tocantins, em solos de textura média (tipo 2), para quatro períodos de semeadura de 15 a 24 de cada mês (outubro a janeiro), considerando a situação climática atual (SCA) e os nove cenários analisados conforme apresentado na Tabela 1.

4.1 - Situação Climática Atual e Cenários Futuros para o Arroz

Situação Climática Atual - SCA (Temperatura: atual e Precipitação: atual)

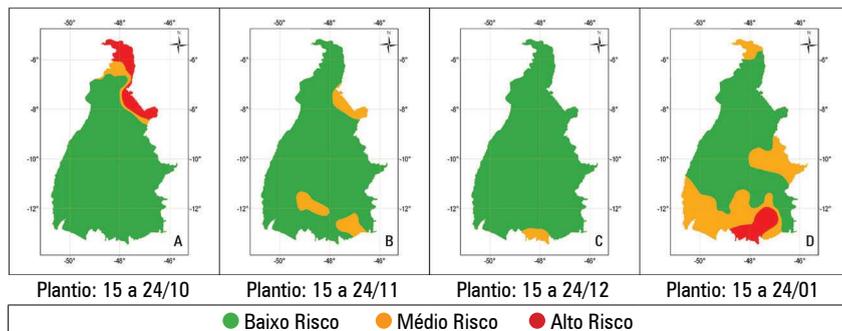


Figura 1 - Espacialização dos riscos climáticos, para o arroz de terras altas em solos tipo 2 nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), para a SCA, no Estado do Tocantins

Cenário 1: Otimista (Temperatura: atual + 1,8°C e Precipitação: atual)

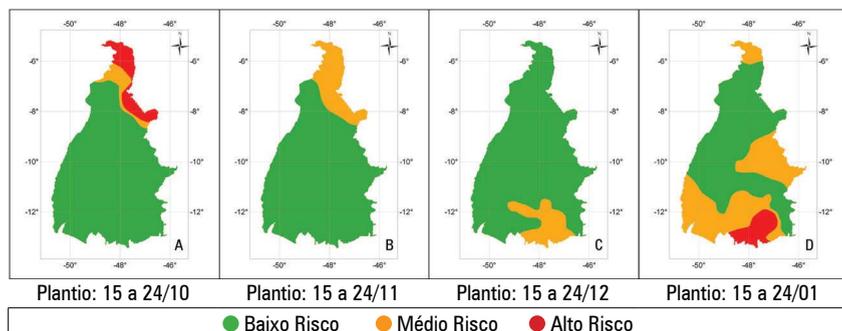


Figura 2 - Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático otimista, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins

Cenário 2: Otimista 1º Caso (Temperatura: atual + 1,8°C e Precipitação: atual - 10%)

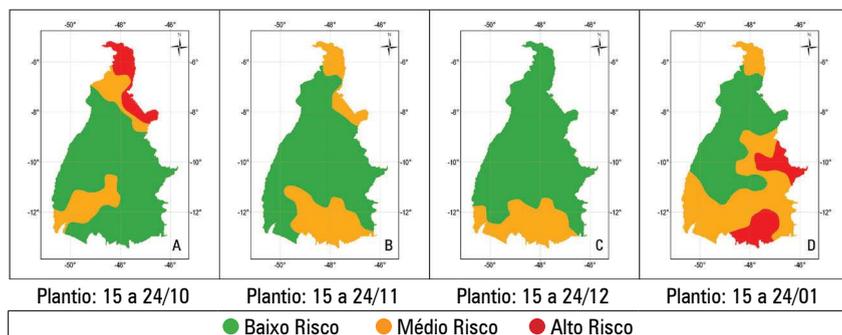


Figura 3 - Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário otimista primeiro caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins

Cenário 3: Otimista 2º Caso (Temperatura: atual + 1,8°C e Precipitação: atual + 10%)

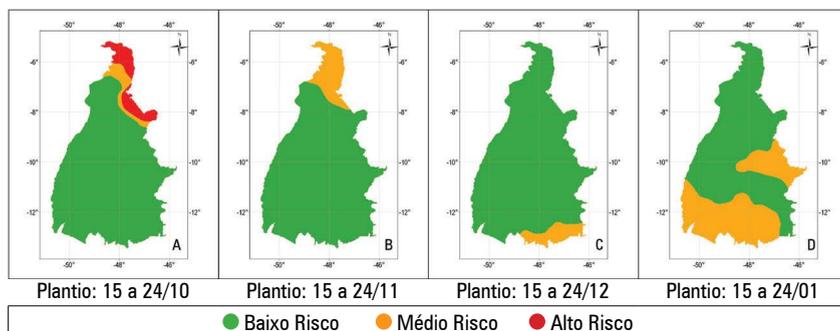


Figura 4 - Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário otimista segundo caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins

Cenário 4: Intermediário (Temperatura: atual + 2,8°C e Precipitação: atual)

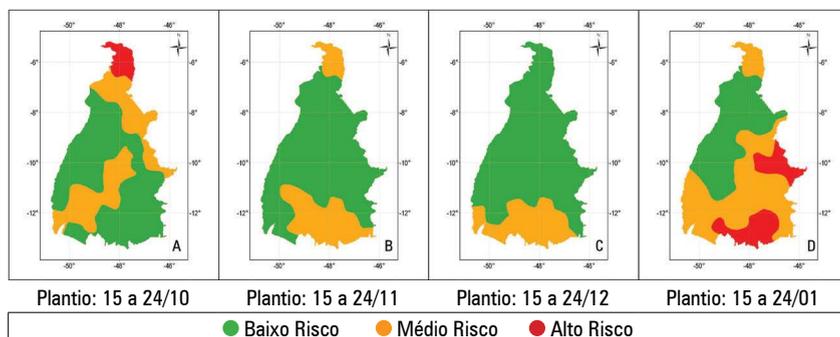


Figura 5 - Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário intermediário, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins

Cenário 5: Intermediário 1º caso (Temperatura: atual + 2,8°C e Precipitação: atual -10%)

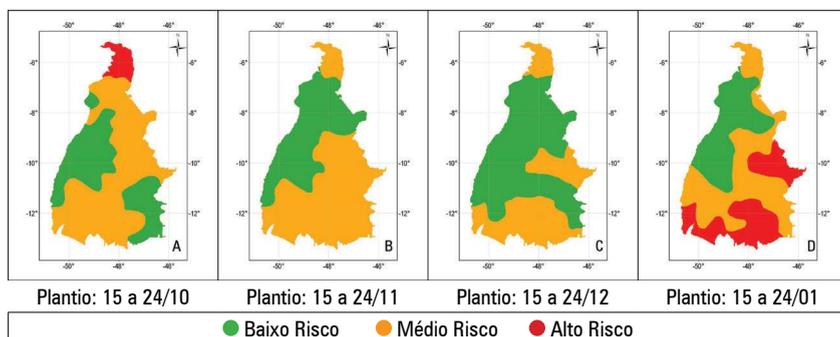


Figura 6 - Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático intermediário primeiro caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins

Cenário 6: Intermediário 2º caso (Temperatura: atual + 2,8°C e Precipitação: atual + 10%)

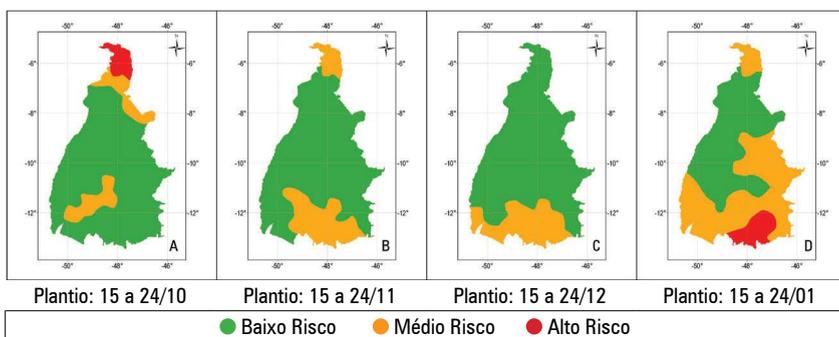


Figura 7 - Espacialização dos riscos climáticos, nas condições do cenário climático intermediário segundo caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins

Cenário 7: Pessimista (Temperatura: atual + 4,0°C e Precipitação: atual)

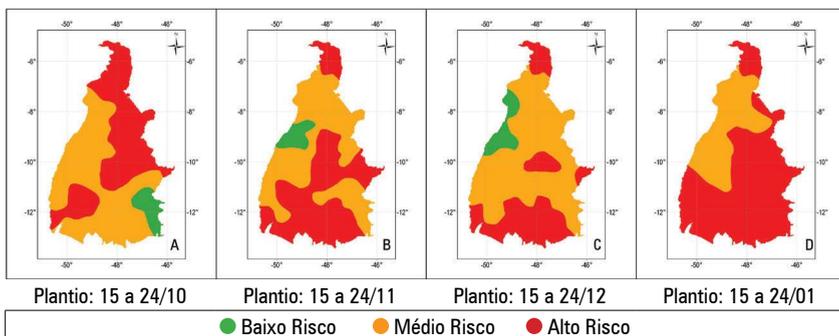


Figura 8 - Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático pessimista, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins

Cenário 8: Pessimista 1º caso (Temperatura: atual + 4,0°C e Precipitação: atual - 10%)

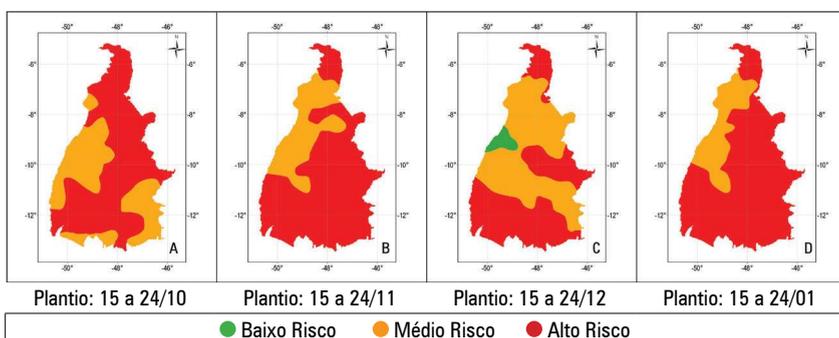


Figura 9 - Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático pessimista primeiro caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins

Cenário 9: Pessimista 2º caso (Temperatura: atual + 4,0°C e Precipitação: atual + 10%)

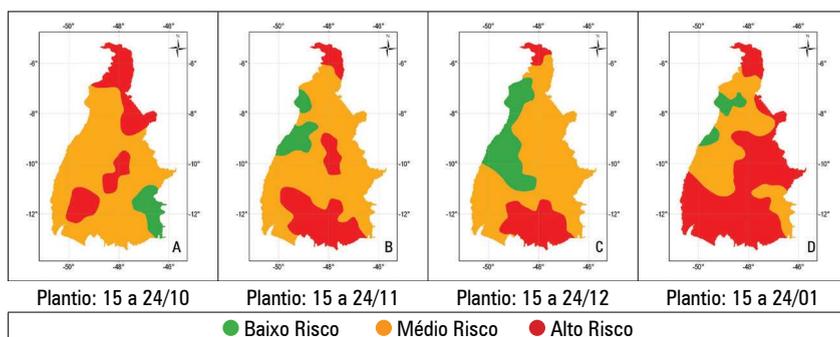


Figura 10 - Espacialização dos riscos climáticos, sob as condições do cenário climático pessimista segundo caso, para o arroz de terras altas em solos tipo 2, nas semeaduras de 15 a 24/10 (A), de 15 a 24/11 (B), de 15 a 24/12 (C) e entre 15 e 24/01 (D), no Estado do Tocantins.

4.2 - Análise dos cenários estudados para o cultivo do arroz

Tabela 2 - Áreas aptas com baixo risco climático (km²) para cultivo do arroz de terras altas, de ciclo precoce, para quatro períodos de semeadura, sob as condições climáticas dos cenários analisados e os respectivos percentuais de variação de área, em relação à situação atual, no Estado do Tocantins

Cenários	15/10		15/11		15/12		15/01	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Situação Atual	250.168,7	89,7	253.418,8	90,9	273.589,1	98,1	178.854,4	64,1
Otimista	245.645,5	- 6,0	249.064,2	- 0,02	253.363,3	- 7,0	155.271,1	- 13,2
Otimista 1º caso	202.683,6	- 19,0	201.614,8	- 20,4	222.755,8	- 18,6	118.884,5	- 33,5
Otimista 2º caso	230.808,2	- 7,7	252.234,4	- 0,5	263.211,6	- 3,8	157.517,3	- 11,9
Intermediário	169.962,0	- 32,1	207.482,0	- 18,1	220.858,6	- 19,3	102.266,4	- 42,8
Intermediário 1º caso	98.549,7	- 60,6	106.287,1	- 58,1	170.876,8	- 37,5	81.896,5	- 54,2
Intermediário 2º caso	227.521,5	- 9,1	217.558,8	- 14,2	224.256,6	- 18,0	125.227,6	- 30,0
Pessimista	15.620,1	- 93,8	13.185,5	- 94,8	18.075,2	- 93,4	0,0	- 100,0
Pessimista 1º caso	0,0	- 100,0	0,0	- 100,0	8421,1	- 96,9	0,0	- 100,0
Pessimista 2º caso	18.377,9	- 92,7	20.918,7	- 91,7	51.179,9	- 81,3	12.097,6	- 93,2

Situação climática atual (SCA)

Observa-se que as áreas com médios e altos riscos climáticos ficaram restritas, basicamente, aos períodos de semeadura do início (Figura 1A) e final (Figura 1D) da estação de cultivo. Ainda assim, no mínimo 64% das terras do Estado apresentam condições favoráveis com baixo risco climático ao cultivo desse cereal. Percebe-se que a época de semeadura que mostra menos risco ao cultivo é de 15 a 24/12 (Figura 1C), portanto, a mais adequada como indicativo de plantio para o

agricultor, na qual a área com probabilidade de sucesso na colheita de no mínimo de 80% atinge a quase totalidade do território tocantinense, ou seja, mais de 98% (Tabela 2) está coberto pela condição de baixo risco climático, que representa quase 274 mil quilômetros quadrados.

Cenário 1: Otimista

Em relação à situação atual percebe-se que houve diminuição de área com baixo risco climático (apta) para as épocas de semeadura consideradas, no entanto, foram mais acentuadas para os plantios realizados nas épocas de início e final da estação de cultivo. Contudo, ainda, manteve como melhor indicativo de plantio as épocas entre 15 e 24/12, nas quais a área com baixo risco é a maior de todo o período de cultivo.

Observa-se que para semeadura entre 15 e 24 dos meses de outubro e novembro, apenas a região do extremo norte e parte das regiões centro-norte e nordeste mostram riscos climáticos de médio a alto e a área apta representa algo em torno de 88% e 91% respectivamente, das terras do Estado (Figura 2 e Tabela 2).

Os resultados em relação aos obtidos à situação do clima atual (SCA) mostram que as épocas de plantio entre 15 e 24/11 apresentam as menores diminuições (0,02%) de área apta para o cultivo do arroz de terras altas no Tocantins. No entanto, para plantio de 15 a 24/12 a área com baixo risco climático (apta) representa aproximadamente 91% das terras do Estado o que equivale a algo em torno de 253 mil quilômetros quadrados.

Já para semeadura entre 15 e 24/01, a área considerada apta foi reduzida em mais de 13% quando comparados com as verificadas na SCA, totalizando mais de 155 mil km², o que equivale a um percentual de pouco mais de 55% das terras do Estado (Tabela 2).

Cenário 2: Otimista 1º caso

A área apta para plantio entre 15 e 24/12, mostrou-se cobrindo uma extensão de aproximadamente 80% do território tocantinense e caiu para quase 43% no plantio foi de 15 a 24/01. Nessas épocas de semeadura a área com baixo risco foi de 222.756 km² (-18,6% que a área da SCA) e de 118.885 km² (-33,5% que a área da SCA), respectivamente (Tabela 2). Ainda pela mesma tabela, as demais épocas de semeadura mostraram área apta em torno de 202 mil km² (20% menor que a área da SCA).

Percebe-se que para a grande maioria dos municípios do Estado (>83%) a melhor época de semeadura é a de 15 a 24/12, pelo fato de apenas parte da área abaixo do paralelo de 12º, não está totalmente coberta pela condição de baixo risco climático ao cultivo do arroz (Figura 3).

Cenário 3: Otimista 2^o caso

De acordo com a Figura 4 pode-se observar uma situação interessante no que diz respeito à distribuição dos riscos climáticos ao longo do Estado. Caso a semeadura seja realizada de 15 a 24/10 ou de 15 a 24 /11, as áreas com médio e alto risco climático concentram-se na porção do extremo norte e parte do nordeste do Tocantins. Provavelmente ocorra devido à fraca atuação dos principais sistemas responsáveis pelas chuvas nessa região (Convergência Intertropical e a Massa Equatorial Continental) (NIMER, 1979).

Nessas épocas de semeadura 82,8% (230.808,2 km²) e 90,5% (252.234,4 km²) do Estado apresentam baixo risco climático para o arroz de sequeiro, respectivamente (Tabela 2). Por outro lado, para o plantio de 15 a 24/12 (Figura 4C) ou de 15 a 24/01 (Figura 4D), as áreas com médio risco climático concentram-se em parte da região sudeste e nas regiões sudoeste e centro-leste do Estado. Provavelmente, isto ocorra em função das chuvas começarem mais cedo nas regiões mais ao sul do Tocantins, devido principalmente à atuação das frentes frias, as quais a partir de meados de janeiro apresentam mais irregularidades, ocasionando sérios transtornos para o plantio do arroz. Para essas últimas épocas de semeadura, a área com baixo risco representam 94,4% (263.211,6 km²) e 56,5% (157.517,3 km²) do território estadual, respectivamente (Tabela 2).

Observando a Figura 4C percebe-se ainda que o semeio de 15 a 24/12, representa a melhor indicação de plantio para mais de 94% dos municípios do Tocantins, sendo que o restante dos municípios não possuem histórico com plantio de arroz, como Arraias e Paranã.

Com o plantio realizado no período de 15 a 24/11, observa-se que a área com potencial produtivo do arroz é de 252.234,4 km², ou seja, 90,5% das terras do Estado apresentam condições favoráveis ao cultivo, em relação ao cenário atual, representando uma diminuição de apenas 0,5% (Tabela 2).

Cenário 4: Intermediário

Observa-se neste cenário que para semeadura de 15 a 24/10, a região do extremo norte está totalmente coberta com áreas de alto risco climático, enquanto, as regiões centro-oeste e sudeste mostram-se completamente favoráveis ao cultivo do arroz. As demais regiões apresentam áreas tanto de baixo, quanto de médios riscos climáticos. Nessa época de plantio, a área com baixo risco climático representa 61% da área do Estado. Para semeadura de 15 a 24/11 e 15 a 24/12 as áreas com baixos riscos climáticos totalizam 74,2% e 79,2% do Estado, respectivamente (Figura 5). Percebe-se ainda que a área de baixo risco climático tende a diminuir à medida que o plantio é realizado tardio, ou seja, cai de 79,2% para aproximadamente 38%

(plantio de 15 a 24/01). Verifica-se que o menor impacto sobre a área de baixo risco climático para o cultivo do arroz ocorre quando o plantio é realizado de 15 a 24/11 e, representa uma diminuição de 18,1% em relação o cenário atual. Para esse período de plantio o Estado encontra-se com 74,4% (207.482 km²) de suas terras em condições favoráveis ao cultivo do arroz (Tabela 2).

Cenário 5: Intermediário 1º caso

Nessa condição considerando a época de semeadura de 15 a 24/12, a área de baixo risco representa pouco mais de 61% das terras do Estado e, comparada a SCA é em torno de 38% menor (Figura 6 e Tabela 2). No entanto, para semeadura em outra época da estação de cultivo, a área apta tem acentuada diminuição, chegando a ser quase 61% menor que as obtidas para a SCA, que representa 35,3% da área do Estado, ou seja, 98.549,7 km². A época de plantio entre 15 e 24/12 é a que mostra melhores condições para indicativo de calendário agrícola.

Cenário 6: Intermediário 2º caso

A área apta oscila entre 45% (125.227 km², isto é 30% menor que a área da SCA, Tabela 2) e 82% (227.522 km², ou seja, 9,1% menor que a área da SCA) da área do Estado, para semeadura de 15 a 24/01 e de 15 a 24/10, respectivamente. Vale salientar que o risco climático tende a aumentar para semeaduras tardias, ou seja, para semeadura em épocas posteriores a 15/12.

Pela distribuição e ocupação da área apta no Estado o plantio de 15 a 24/12 representa a melhor época de semeadura, pois com médio risco climático apenas parte da área abaixo da latitude de 12º, o restante da área do Estado está coberta pela condição de baixo risco climático (Figura 7C).

Cenário 7: Pessimista

Salienta-se que para plantio entre 15/10 e 24/12 (Figuras 8A, B e C) nenhuma dessas áreas aptas estão localizadas em municípios com histórico de produtor de arroz. Pode-se observar que o plantio de 15 a 24/10, a área apta ficou reduzida a parte da região sudeste do Estado (15.620 km², 93,8% menor que a da SCA), para semeadura de 15/11 a 24/12 (Figuras 8B e 8C) a área apta foi em média de 15.600 km² e comparadas a SCA é em torno de 94% menor (Tabela 2). Simulações feitas por Assad *et al.* (2008) para diversas culturas e variados aumentos de temperatura, por exemplo, 3,0°C e 5,8°C vai promover uma acentuada demanda da evapotranspiração e, como consequência, estabelecerá um aumento da deficiência hídrica, provocando uma expressiva diminuição na área considerada apta (com baixo risco climático).

Cenário 8: Pessimista 1^o caso

Neste cenário, verifica-se área de baixo risco apenas para semeadura de 15 a 24/12 (Figura 9C), sendo constatada uma pequena área na região oeste do Estado, a qual representa menos de 3% da área estadual (8.421 km², Tabela 2). Em comparação a SCA a diminuição da área apta, nessa data de semeadura, foi de aproximadamente 97%.

Cenário 9: Pessimista 2^o caso

Constata-se uma forte substituição das áreas com alto risco para as áreas com meio risco climático, quando comparada com o cenário anterior, principalmente se a semeadura for entre 15/10 e 24/12 (Figuras 10A, B e C). Já para semeadura de 15 a 24/01 a área com alto risco ainda predomina sobre as de médio e baixo risco (Figura 10D). No entanto, no que diz respeito à área apta, o aumento da oferta hídrica natural promoveu apenas o aparecimento de pequenas manchas com baixo risco nas regiões sudeste, centro-oeste e centro-norte do Tocantins. Assim, a área apta ao longo das épocas de semeadura analisadas comparadas as da SCA são em torno de 92% menores, com exceção da época de plantio entre 15 e 24/12 (Figura 10C) que é pouco mais de 81% (51.180 km²) menor (Tabela 2).

Salienta-se que essas manchas são apontadas por SEPLAN (2005), Collicchio (2008) e Maciel; Azevedo; Andrade Júnior (2009), como as que apresentam maior volume de chuvas anuais do Estado.

5 - Considerações Finais

Os resultados obtidos no presente estudo que envolveu a cultura do arroz de terras altas, de variedades de ciclo precoce cultivadas em solos de textura média, permitiram concluir que:

- Para a condição climática atual, a época de semeadura que apresenta menor risco ao cultivo, refere-se ao período de 15 a 24/12;
- O aumento da temperatura média do ar no Estado pode mudar o panorama agrícola para o cultivo do arroz de terras altas em função da diminuição de áreas aptas;
- Constatou-se que as possíveis variações climáticas podem promover uma redução da estação de cultivo e, conseqüentemente, aumentar as perdas econômicas;
- As épocas de semeadura menos afetadas pelas possíveis variações climáticas foram as localizadas mais próximas do centro da estação de cultivo, ou seja, do período entre 15/11 e 24/12;
- Destaca-se que para todos os cenários analisados, os riscos climáticos apresentaram tendência de aumento para as semeaduras realizadas nas épocas de início e final da estação de cultivo, sendo mais acentuados para a última época de semeadura (15/01 a 24/01).

Referências

ASSAD, E. D. et al. Mudanças climáticas e a produção de grãos no Brasil: avaliação dos possíveis impactos. **Revista Plenarium**, Brasília, v.5, n.5, p. 96–117, 2008.

BARON, C.; CLOPES, A.; PEREZ P.; MULLER, B.; MARAUX, F. **Manuels d'utilisation de: SARRAMET**, 45 p.; **SARRABIL**, 35 p. et **SARRAZON**, 29 p. Montpellier: CIRAD. 1996.

CASTRO, L. H. R. de; MOREIRA, A. M.; ASSAD, E. D. Definição e regionalização dos padrões pluviométricos dos cerrados brasileiros. In: ASSAD, E. D (coord.). **Chuva nos cerrados: análise e espacialização**. Brasília: Embrapa-CPAC- SPI, 1994. 423p.

CIIAGRO, Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas.

Zoneamento macro-aptidão ecológica da cultura do arroz.

Disponível em: < http://www.ciiagro.sp.gov.br/znmt_macro_5.html >. Acesso em: 12 ago. 2018.

COLLICCHIO, E. Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no Estado do Tocantins. 2008.

157 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior Luiz de Queiroz – ESALQ, USP. Piracicaba. 2008.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos.** v. 4 - safra 2016/17, n. 8, 2017a. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/conab-preve-supersafra-de-232-milhoes-de-toneladas-de-graos/boletim-graos-maio-2017.pdf>>. Acesso em: 09 jul. 2018.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos.** v. 4 - safra 2016/17, n. 11, 2017b. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_08_10_11_27_12_boletim_graos_agosto_2017.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2018.

CONAB. **Séries históricas de área plantada, produtividade e produção, relativas às safras 1976/77 a 2015/16 de grãos: arroz.** (Planilha xls). 2017c. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 7 - Safra 2019/20. **Décimo levantamento**, Brasília, p. 1-74, jul. 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 25 jul. 2020.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. **Manual de métodos de pesquisa em arroz**. Santo Antônio de Goiás, 1977. 108 p.

FRAGOSO, D. de B.; CARDOSO, E. A.; SOUSA, E. R. de; FERREIRA, C. M. **Caracterização e diagnóstico da cadeia produtiva do arroz no estado do Tocantins**. Brasília: Embrapa, 2013. 40 p.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F. E.; SILVA, S. C. Arroz. In: MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET. 2009. 530 p.

IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2007: the physical science basis**. Paris: IPCC, 2007. 21p. (Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change).

IPCC. **Climate change 2013: the physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. 1.535 p.

JONGDEE, B. et al. Improving drought tolerance in rainfed lowland rice: an example from Thailand. **Agric. Water Management**, Amsterdam. v.80, n. 1-3, p. 225-240, 2006.

MACIEL, G. F.; AZEVEDO, P. V.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Impactos do aquecimento global no zoneamento de risco climático da soja no Estado do Tocantins. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v.6, n.3, p.141-154, 2009.

MACIEL, G. F. **Impactos econômico-financeiros das variações climáticas sobre os cultivos de arroz e soja no estado do Tocantins**. 2010. 119 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande. 2010.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE. 1979. 422 p.

NOBRE, C. A. et al. **Mudanças climáticas e possíveis alterações nos biomas da América do Sul**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA. 2007. 27 p. (Relatório n. 6).

SEAGRO, Secretaria da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Tocantins. **Agricultura**. Palmas, 2017. Disponível em: <<http://seagro.to.gov.br/agricultura/>>. Acesso em: 12 set. 2018.

SEPLAN, Secretaria de Estado de Planejamento e Meio Ambiente do Tocantins. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. Palmas: SEPLAN, 2005. 54p.

SILVA, S. C. da; STEINMETZ, S.; HEINEMANN, A. B. **Arroz: clima**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fe75winu02wx5eo07qw4xe1eq4gwu.html>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

VERGARA, B. S.; CHANG, T. T. **The flowering response of the rice plant to photoperiod**. 4. ed. Los Baños: IRRI, 1985. 61p.

YOSHIDA, S.; PARAÓ, F. T. **Climate influence on yield components of lowland rice in the tropics**. Los Baños: IRRI, p.471-494. 1976.

STEINMETZ, S.; SILVA, S. C.; SANTANA, N. M. P. Clima. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (Ed.) **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. rev. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000p.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; SILVEIRA FILHO, A. Manejo de água na cultura do arroz: consumo, ocorrência de plantas daninhas, absorção de nutrientes e características produtivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.14 n.3, p. 295-301. 1979.

Potenciais Efeitos dos Cenários Futuros do Clima na Aptidão Agroclimática da Cana-de-Açúcar no Estado do Tocantins

Erich Collicchio¹; Humberto Ribeiro da Rocha²; Daniel de Castro Victoria³; André de Moura Andrade⁴; André Marcondes Andrade Toledo⁵

¹Professor Associado II da Universidade Federal do Tocantins – UFT; ²Professor do Departamento de Ciências Atmosféricas/IAG/Universidade de São Paulo; ³Pesquisador da Embrapa Agricultura Digital; ⁴Engenheiro Ambiental, Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins – SEMARH; e ⁵Professor da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

1 - Introdução

Uma conjunção de fatores importantes como, a grande volatilidade dos preços do petróleo observada nas últimas décadas (MÁRTIL, 2016), associada às estimativas de declínio das reservas mundiais e à instabilidade política nas regiões produtoras (BRASIL, 2006; JANDREY *et al.*, 2010; MACHADO, 2016), bem como a preocupação global com as mudanças climáticas (IPCC, 2007; IPCC, 2013), provocadas especialmente pela queima de combustíveis fósseis e a mudança do uso da terra (RODRIGUES FILHO; JULIANI, 2013), instigou muitos países a buscarem formas alternativas de energia limpa na matriz energética mundial.

Estes fatores, com destaque aos compromissos assumidos pelos países signatários do Acordo de Paris durante a COP 21, pela necessidade da redução da emissões de gases de efeito estufa – GEE (UNFCCC, 2015), têm contribuído fortemente para a promoção do aumento da demanda mundial por biocombustíveis, notadamente o etanol proveniente da cana-de-açúcar (MARTINELLI; FILOSO, 2008; NARDY; GURGEL, 2013), o qual apresenta grandes vantagens comparativas em termos econômicos e ambientais sobre o etanol de milho e de cereais (JANK; RODRIGUES, 2007). De acordo ainda com esses autores, quando comparadas às matérias-primas para produção de etanol substituindo a gasolina, considerando-se a produtividade, o balanço energético e as emissões evitadas de GEE, o etanol proveniente da cana-de-açúcar supera em todos os itens, o do milho (Estados Unidos) e da beterraba (Comunidade Européia).

De acordo com Martinelli; Filoso (2008) o Brasil apresenta várias vantagens quanto a produção de etanol devido ao seu território agricultável e expansivo, condições hídricas e climáticas favoráveis.

Destaca-se ainda, que o Brasil possui uma experiência acumulada de mais de 30 anos em investimentos em pesquisa e na melhoria da produção de etanol da cana-de-açúcar (MARTINELLI; FILOSO, 2008). Além disso, a indústria brasileira lançou em 2003 no mercado nacional, a tecnologia flex, para automóveis e comerciais leves (JANK; RODRIGUES, 2007), sendo que nos últimos 16 anos esta tecnologia está presente em quase 90% dos automóveis leves novos vendidos no Brasil, além de ser o primeiro país a adicionar álcool anidro à gasolina.

O setor sucroenergético apresenta importância estratégica para o Brasil, pois possui cerca de 380 unidades produtoras e mais de 1.000 municípios com atividades vinculadas à indústria deste setor, distribuídas por várias regiões do País. Este setor gera mais de 950 mil empregos formais diretos no setor produtivo e apresenta cerca de 70 mil produtores rurais de cana-de-açúcar independentes, contribuindo ao equivalente a 2% do PIB brasileiro (UNICA; CEISE, 2016).

Impulsionado por estes fatos, no período de 2003 a 2009, observou-se que a área colhida brasileira apresentou um incremento de 2,04 milhões de hectares, o equivalente a um acréscimo de 38% da área produtiva total da cana-de-açúcar. Nesse mesmo período, a produção da cultura aumentou 55%, passando de 389,85 para 604,53 milhões de t (CONAB, 2017). Quando comparado o ano de 2020 em relação a 2009, percebe-se que houve um aumento de apenas 6,3 % na produção total, a qual desde 2014 encontra-se estagnada e em oscilação (CONAB, 2020).

Na safra 2019/2020, de acordo com a Conab (2020), a área colhida de cana-de-açúcar no Brasil destinada à atividade sucroalcooleira foi de 8,44 milhões hectares, com uma produção de 642,72 milhões de toneladas e produtividade média de 76.133 kg/ha.

De acordo com a Conab (2020), a Região Norte apresenta três estados produtores de cana-de-açúcar que são: Amazonas, Pará e Tocantins, os quais juntos foram responsáveis por apenas 0,56 % da produção brasileira na safra 2019/20. Nessa mesma safra, constata-se que a área colhida (27,7 mil ha) e a produção de cana-de-açúcar (2,23 milhões t) no Estado do Tocantins, representou 60,7 % e 60,0 % da área total colhida e da produção da região Norte, respectivamente. Apesar da produtividade média na safra 2019/20 do Tocantins (80.766 kg/ha), ter sido inferior à média da Região Norte (81.726 kg/ha), conseguiu superar a média nacional (76.133 kg/ha).

A cana-de-açúcar produzida no Estado do Tocantins representa apenas 0,35% da produção nacional e 0,49 % da produção de etanol total (CONAB, 2020).

A produção da indústria sucroalcooleira, referente à safra 2019/20 no Brasil, foi de 29,8 milhões toneladas de açúcar e aproximadamente 34 bilhões de litros de etanol, sendo 10,12 bilhões de litros de etanol anidro (29,76 %) e 23,88 bilhões de litros de etanol hidratado (70,24 %) (CONAB, 2020).

No Tocantins nessa mesma safra produziu-se apenas etanol, cujo volume global atingiu 166.370.000 litros, sendo que desse total, 81.536.000 litros correspondeu à produção de etanol anidro e o restante (84.834.000 litros) referente ao etanol hidratado (CONAB, 2020).

A expectativa para a produção de cana-de-açúcar na safra 2020/21 era considerada otimista no início de 2020, devido às condições meteorológicas favoráveis à cultura nas principais regiões produtoras do país, bem como o comportamento do mercado que sinalizava para bons preços, para o açúcar e o etanol. Contudo, devido a ocorrência da pandemia do novo coronavírus, provocou reflexos negativos no mercado e com isso, reduziu-se a perspectiva de aumento da produção para a safra 2020/21. Nesse sentido, estima-se que haverá uma redução da produção de cerca de 1,9% em relação à safra de 2019/20 (CONAB, 2020).

O setor sucroalcooleiro sofreu oscilação, apresentando um forte crescimento no período de 2003–2009, estimulado por políticas públicas do governo federal, seguido de crise e estagnação nos anos de 2010 – 2014 (MME, 2016). Porém, em 2016 foi lançado pelo governo federal, por iniciativa do Ministério de Minas e Energia, o Programa RenovaBio 2030, que tem como objetivo:

Garantir a expansão da produção de biocombustíveis no país, baseada na previsibilidade, na sustentabilidade ambiental, econômica e financeira, em harmonia com o compromisso brasileiro na COP21 e compatível com o crescimento do mercado (MME, 2016, p. 2).

Com isso, espera-se um aumento da demanda do etanol brasileiro onde prevê-se um novo incremento da produção da cultura da cana-de-açúcar, para atender o dobro da oferta de etanol até 2030 (MME, 2016).

Como a cana-de-açúcar é considerada uma cultura semi-perene e exige-se elevado investimento para a implantação da infraestrutura agroindustrial numa região, torna-se necessária a identificação de regiões potencialmente adequadas ao cultivo, pois possivelmente poderão ser incorporadas ao sistema produtivo nacional (COLLICCHIO, LOPES; MARCOLINI, 2019). Contudo, para o bom desempenho da cultura, as condições climáticas devem ser observadas, pois se uma região dispõe de solos favoráveis e tecnologias adequadas, mas apresenta risco climático elevado, pouco colaborarão para atenuar esta vulnerabilidade (ZULLO JUNIOR; ASSAD; PINTO, 2008).

Nesse sentido, o zoneamento agroclimático é fundamental para organização dos programas de trabalho e suporte do planejamento da

agricultura (ALMEIDA; CALIJURI; PINTO, 2013), permitindo regionalizar áreas de maior risco para a cultura, no espaço e no tempo, utilizando-se as redes meteorológicas (ROSSETTI, 2001; BRASIL, 2017).

O zoneamento agroclimático e ambiental da cultura da cana-de-açúcar deve estar em consonância com o Zoneamento Ecológico-Econômico – ZEE, pois favorece a execução do planejamento agrícola e do meio ambiente de um governo, uma vez que se novos empreendimentos cumprirem todas as responsabilidades para seu funcionamento, poderão usufruir de benefícios específicos, como possíveis financiamentos públicos, incentivos fiscais, apoio à infraestrutura e técnico-científico, de forma direcionada em regiões consideradas pelo governo, evitando assim pulverização da aplicação de recursos públicos (COLLICCHIO *et al.*, 2015).

As condições climáticas podem ser consideradas as mais importantes na avaliação da aptidão agrícola, porque praticamente não podem ser modificadas, com exceção da deficiência hídrica, que em algumas situações pode ser atenuada com o uso da irrigação (RANIERI; BARRETO; KLUG, 2007).

Ao mesmo tempo, tem sido constatado que as concentrações atmosféricas globais de GEE, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) aumentaram significativamente em consequência das atividades humanas desde 1750, excedendo os níveis pré-industriais em cerca de 40%, 150% e 20%, respectivamente (IPCC, 2013).

O CO₂ é o GEE antrópico mais importante, sendo que a sua concentração atmosférica global aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm em 2005 (IPCC, 2007) e em 2017, a concentração de CO₂ superou 400 ppm, a qual ultrapassou a faixa natural dos últimos 650.000 anos (180 a 300 ppm). O dióxido de carbono atmosférico continuou seu rápido aumento, atingindo no mês de maio de 2021, a média de 419,13 ppm, registrada pelo Observatório de Mauna Loa da National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA (NOAA, 2021).

Diante desses fatos, poderá ocorrer a elevação do risco climático em algumas regiões produtoras atuais, devido ao aumento da temperatura do ar, conforme projeções dos modelos climáticos apresentados no Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (AR4 - IPCC), que indicam um aquecimento médio global da superfície do planeta, variando de 1,8°C a 4°C até o final do século XXI, tomando-se como referência o período de 1980 a 1999 (IPCC, 2007). Já o Quinto Relatório de Avaliação (AR5 - IPCC) indica que esse aumento seria de 2,6°C a 4,8°C na temperatura média global (IPCC, 2013).

Essas projeções do IPCC têm provocado inquietações no meio técnico-científico ligado ao setor agropecuário, o que tem estimulado a realização de estudos mostrando o efeito das mudanças do clima, considerando estes cenários de emissões, sobre o zoneamento agroclimático de culturas. Nesse contexto,

têm sido realizados no Brasil, estudos para diversas culturas, como: do café em São Paulo (ASSAD *et al.*, 2004), arroz, soja, milho e feijão (ASSAD; PINTO; ZULLO JUNIOR, 2007), da cana-de-açúcar para o Tocantins (COLLICCHIO, 2008), para a Zona da Mata do Pernambuco (SANTIAGO, 2015) e para o Brasil (MANZATTO *et al.*, 2009), bem como da seringueira para o Espírito Santo (CAMPANHARO *et al.*, 2011), e do eucalipto (MARCOLINI, 2014) e da seringueira (NAVES-BARBIERO, 2014) para o Estado do Tocantins.

O levantamento da vulnerabilidade agroambiental do setor sucroalcooleiro em relação à climatologia atual e às mudanças climáticas é estratégico, pois permite determinar o potencial da cultura para uma região, visando realizar o planejamento de médio e longo prazo (ZULLO JUNIOR; ASSAD; PINTO, 2008).

O presente trabalho teve como objetivo geral de elaborar o zoneamento agroclimático para a cultura da cana-de-açúcar no Estado do Tocantins, considerando a condição do clima atual e projeções de possíveis impactos das mudanças climáticas com base nos resultados dos modelos GFDL e HadCM3 para dois cenários de emissões, que integram o AR4 do IPCC (2007), bem como dos modelos Eta MIROC5 e Eta HadGEM2-ES, para dois cenários do AR5 (IPCC, 2013), considerando o período de 2021 a 2050.

2 - Procedimentos metodológicos

A área de estudo compreende o limite político-administrativo do estado do Tocantins, localizado na região Norte, com uma área total de 277.620 km².

Para a realização deste trabalho, utilizou-se os dados meteorológicos organizados por Collicchio (2008), provenientes de estações meteorológicas e pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Agência Nacional de Águas - ANA, Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Tocantins - SEAGRO e Embrapa, situadas no Tocantins e estados circunvizinhos, compreendidas entre os paralelos 4°30' e 13°30' Sul e meridianos 45°30' e 51°30' Oeste.

Esses dados serviram de base para obter as evapotranspirações potenciais pelo método de Thornthwaite (1948) e na sequência calcular o balanço hídrico climatológico de Thornthwaite; Mather (1955), para cada situação, conforme simplificado por Pereira (2005), utilizando-se a $CAD = 100$ mm (CECÍLIO *et al.*, 2003; WALDHEIM *et al.*, 2006; BARBARISI *et al.*, 2007; MARIN *et al.*, 2007). Ambas as metodologias foram trabalhadas pela interface desenvolvida por Victoria *et al.* (2007), que utilizaram da calculadora de mapas do GRASS GIS, um sistema de informações geográficas gratuito, para execução da metodologia citada, usando os mapas de precipitação mensal e de temperatura média mensal, derivados do método de interpolação *Spline* com Tensão Regularizada.

Com relação à exigência térmica da cultura adotou-se a temperatura basal inferior (T_b) de 20°C (DOORENBOS; KASSAM, 1994) e a superior (T_B) igual a 38°C (FAUCONIER; BASSEREAU, 1975; BARBIERI; VILLA NOVA, 1977).

A partir dos mapas de temperatura média e deficiência hídrica anual (D_a) delimitou-se as zonas ou classes de aptidão, para definir as áreas de exploração da cultura da cana-de-açúcar no estado do Tocantins, classificando-as em: inapta, apta, marginal, restrita ao cultivo (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação das zonas de aptidão, de acordo com os parâmetros agroclimáticos da cultura da cana-de-açúcar

Classe de Aptidão	Exigência Hídrica D_a (mm)	Condições
Inapta	$0 < D_a \leq 10$	Ausência de período seco necessário para a maturação e colheita
Apta	$10 < D_a \leq 250$	Condição hídrica favorável
Marginal	$250 < D_a \leq 400$	Restrição hídrica – Apta com irrigação de salvamento ou complementar
Restrita	$D_a > 400$	Restrição hídrica acentuada - Apta com irrigação plena (imprescindível)

Nota: Exigências térmicas da cultura: $T_b = 20$ °C e $T_B = 38$ °C e $CAD = 100$ mm

Fonte: Adaptado de Camargo *et al.* (1977) e Brunini *et al.* (2008)

Com relação aos possíveis reflexos das mudanças do clima no zoneamento de aptidão agroclimática da cana-de-açúcar, foram realizados dois estudos distintos, sendo que usou-se dois modelos climáticos e dois cenários de emissões distintos, relacionados ao Quarto Relatório de Avaliação – AR4 do IPCC (2007), e ao Quinto Relatório de Avaliação – AR5 do IPCC (2013), conforme descrito a seguir.

No primeiro estudo que refere-se ao Quarto Relatório de Avaliação – AR4, foram utilizados os dados de saída dos modelos climáticos do Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, (GFDL-CM 2.1), do National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA, dos Estados Unidos e do Hadley Centre Coupled Model, version 3 (HadCM3), do Hadley Centre for Climate Prediction and Research, da Inglaterra. Para cada modelo, realizou-se as projeções do clima para o período entre 2021 e 2050, considerando os cenários B_1 (Cenário de baixa emissão - otimista) e A_1B (Cenário intermediário).

Neste trabalho foi necessário realizar um procedimento de correção com o objetivo de adequar os dados simulados à realidade, uma vez que o clima presente simulado pelos dois modelos apresentavam desvios em relação ao clima observado. Para isso, utilizou-se o método adotado por Minguez *et al.* (2004) e Salati *et al.* (2007), conforme apresentado na Figura 1.

De acordo com o fluxograma das atividades (Figura 1), foram elaborados os mapas do zoneamento agroclimático da cultura, considerando os efeitos projetados por cada um dos dois modelos (GFDL e HadCM3), para os cenários B₁ e A₁B, no período entre 2021 e 2050, tomando como base a classificação de aptidão adotada e apresentada na Tabela 1.

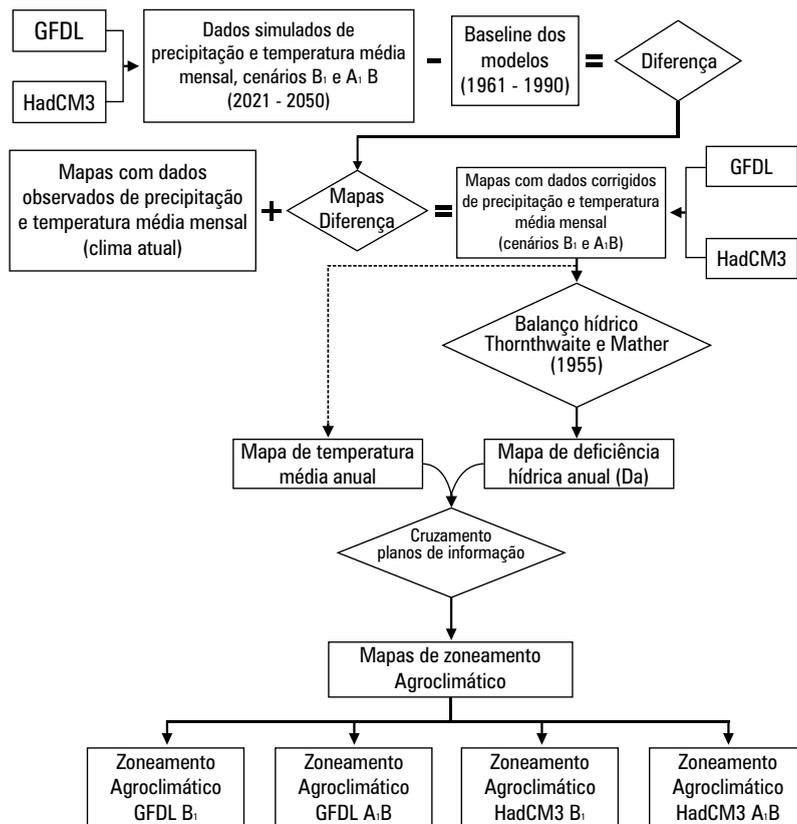


Figura 1 - Procedimento de correção dos dados do clima futuro para a elaboração dos zoneamentos agroclimáticos para a cana-de-açúcar, considerando os modelos GFDL e HadCM3 para os cenários B₁ e A₁B (Quarto Relatório de Avaliação – AR4/IPCC)

No segundo estudo referente ao Quinto Relatório de Avaliação – AR5, foram utilizados os dados de saída dos modelos regionais Eta MIROC5 e Eta HadGEM2-ES, os quais são resultantes de um downscaling dos modelos climáticos globais MIROC5 e HadGEM2-ES do AR5 do IPCC. Todos os dados foram disponibilizados gratuitamente pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As projeções climáticas para os anos de 2021 a 2050, obtidas por cada um dos modelos, considerou dois caminhos representativos de concentração (Representative Concentration Pathways - RCP) de CO₂ atmosférico, o RCP 4.5 W/m² e RCP 8.5 W/m².

Os dados de precipitação e de temperatura médias mensais das estações meteorológicas e pluviométricas serviram de base para correção destas variáveis climáticas projetadas pelos dois modelos para período de 2021 a 2050, considerando os cenários RCP 4.5 e 8.5. Tal procedimento foi feito para dirimir os erros de dispersão entre as estimativas e a realidade climática atual, extraída das plataformas meteorológicas.

A temperatura mensal entre os anos de 2021 a 2050, para cada RCP, foi corrigida (diminuindo seu viés estatístico em relação as temperaturas mensais do período atual) somando-se o seu valor estimado pela diferença entre as médias das temperaturas observadas pelos dados coletados e projetadas pelo modelo. Esta metodologia pode ser melhor compreendida pela Equação 1 (LENDERINK *et al.*, 2007). Nesta expressão percebe-se que cada mês da série histórica delineada em diferentes perspectivas pelos modelos climáticos regionais citados acima, tem sua condicionante térmica trabalhada por um fator de correção, um delta de aproximação específico, que não afeta o padrão de distribuição temporal simulado para o futuro (apenas em sua magnitude) e por esta razão este passo metodológico é denominado de Direct Change Approach (OLIVEIRA; PEDROLO; CASTRO, 2015).

$$T_{cor} = T_{sim(j,k)} + [\overline{T_{obs(j)}} - \overline{T_{sim(j)}}] \quad \text{Equação 1}$$

O mesmo ocorre para a variável de precipitação simulada para as duas considerações futuras (RCP 4.5 e RCP 8.5 W/m²). Entretanto a pluviosidade determinada pelo modelo no intervalo de tempo mencionado não é somada às variações anteriormente descritas, e sim multiplicada pela relação entre as lâminas d'água precipitadas observadas e estimadas durante a "baseline" (época correspondente à amostragem dos pluviômetros), em concordância com a Equação 2 (LENDERINK *et al.*, 2007). Este processo foi teoricamente concebido assim como para a correção utilizada das discrepâncias térmicas, uma vez que mantém a estatística de recorrência (a variância) dos eventos anômalos projetados e demais características do clima prospectado, não se sujeitando a análise às variâncias registradas pelas estações. Apenas procura contrair as mudanças sazonais possíveis entre a realidade climática e o seu futuro próximo (OLIVEIRA; PEDROLO; CASTRO, 2015).

$$P_{cor} = P_{sim(j,k)} \cdot \left[\frac{P_{obs(j)}}{P_{sim(j)}} \right] \quad \text{Equação 2}$$

Com estes parâmetros corrigidos procedeu-se a realização de quatro balanços hídricos normais para obter os zoneamentos agroclimáticos da cultura considerando os efeitos projetados pelos dois modelos (Eta MIROC5 e Eta HadGEM2-ES), para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, no período entre 2021 e 2050, considerando a Tabela 1.

3 – Resultados e Discussão

3.1 - Zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar, considerando a climatologia atual e cenários futuros do AR4

Considerando a climatologia atual do Estado do Tocantins, Collicchio (2008) obteve estimativas de temperatura média anual (25,7°C), precipitação pluviométrica anual (1650 mm) e deficiência hídrica anual (411 mm), com valores similares aos obtidos por Roldão; Ferreira (2019), com exceção da temperatura média anual, que foi de cerca de 25°C.

Os aumentos das temperaturas médias anuais observados em ambos os modelos e cenários, não impactaram negativamente na aptidão ao cultivo, pois ficaram dentro do intervalo de exigência térmica da cultura, ou seja, entre 20°C e 38°C (Tabela 1). Por isso, não foi identificada em nenhuma situação com zona de aptidão “inapta”. Porém esse aumento da temperatura, associado às alterações dos totais de precipitação anual em relação ao clima atual, provocou reflexos nos balanços hídricos, gerando um aumento na deficiência hídrica anual (Da) média de cada cenário e na média dos modelos, conforme esperado e também observado por Barbarisi *et al.* (2007).

A Da média do modelo GFDL atingiu 577 mm e do HadCM3 foi de 613 mm, correspondendo aos respectivos incrementos de 40% e 49% sobre a Da média do clima atual. Constatou-se também os aumentos da Da média de 42% para o cenário B₁ e de 47% para A₁B em relação à Da média do clima atual, resultados concordantes foram obtidos por Salati *et al.* (2007).

Comparando a situação climática atual com os resultados das simulações dos modelos e cenários: GFDL_B₁, GFDL_A₁B, HadCM3_B₁ e HadCM3_A₁B, sobre o zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar, observa-se que houve uma mudança extrema com relação à aptidão da cultura dentro do Estado (Figuras 2 e 3).

Mesmo com o modelo/cenário mais otimista (GFDL_B₁), já constata-se uma acentuada alteração no delineamento do zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar no Estado, ocorrendo redução das áreas com possibilidades de cultivo da cultura com irrigação de salvamento ou suplementar (classe de aptidão “marginal”), deslocando-as para as regiões noroeste e no extremo sudeste do Tocantins (Figura 2b), ampliando a área de aptidão climática “restrita” para aproximadamente 96% (Tabela 2).

Considerando o modelo/cenário GFDL_A₁B, a Da apresentaria uma variação de 324 a 887 mm, sendo assim, áreas com aptidão “marginal” passariam para “restrita”, fazendo com que praticamente todo o Estado necessitasse de irrigação plena (98,3%), com exceção da região noroeste e pequena porção no sudeste (1,7% da área) que continuaria sendo classificada como aptidão “marginal” (Figura 2c).

Nesse sentido, dentro do mesmo modelo (GFDL) e cenários distintos registra-se que houve um decréscimo da área da classe “marginal” de 4% em B₁, para 1,7% em A₁B.

O modelo/cenário HadCM3_B₁ causaria um impacto mais severo sobre o zoneamento, uma vez que a totalidade do Estado teria restrição climática para o cultivo de sequeiro da cana-de-açúcar, devido à elevada deficiência hídrica anual, uma vez que a Da mínima seria de 404 mm e a máxima atingiria 819 mm.

Na situação HadCM3_A₁B verifica-se uma pequena área representando 2% do total, localizada na porção sul-sudeste do Estado, com classe de aptidão “marginal”. Esse pequeno aumento da área restrita em relação ao HadCM3_B₁ provavelmente aconteceu porque a Da mínima calculada em A₁B foi inferior (285 mm) e a Da média também foi menor.

Para este fato percebe-se também que do cenário B₁ para A₁B houve um deslocamento da “mancha” de Da mais acentuada da região sudoeste-sul para a nordeste-norte do Estado. Isso devido possivelmente ao incremento da temperatura média anual nas regiões centro-norte do Estado, associado à redução das chuvas na porção nordeste-norte e aumento da pluviosidade em toda região sul do Tocantins. Com referência apenas aos efeitos dos cenários entre os modelos sobre o zoneamento agroclimático da cultura, que para o cenário B₁ com dados do GFDL, o zoneamento apresentou duas classes de aptidão climática: “marginal” (4%) e “restrita” (96%) e referente ao HadCM₃ já não se constatou áreas com aptidão “marginal”, sendo que todo o Estado necessitaria de irrigação freqüente.

Tabela 2 - Área estimada do estado do Tocantins em percentual, por classe de aptidão climática para cultivo da cana-de-açúcar resultante da simulação dos distintos modelos e cenários de mudanças climáticas, em relação ao clima na condição atual

Modelos/ Cenários	Área do Estado por classe de aptidão climática ¹ (%)		
	Apta	Marginal	Restrita
Clima Atual	0,1	41,7	58,2
GFDL_B ₁	0,0	4,0	96,0
GFDL_A ₁ B	0,0	1,7	98,3
HadCM ₃ _B ₁	0,0	0,0	100,0
HadCM ₃ _A ₁ B	0,0	2,0	98,0

¹Área em % aproximada, estimada pelo SIG

Área total do estado do Tocantins: 277.620 km²

Constatou-se que a temperatura média anual de ambos os modelos são similares, porém a precipitação média anual do modelo HadCM₃ decresceu em relação ao GFDL, em cerca de 135 mm. Isso provavelmente refletiu no cálculo do

balanço hídrico, gerando uma Da média no GFDL (555 mm) menor que a do HadCM₃ (617 mm), cuja Da mínima neste cenário correspondeu a 404 mm, enquadrando-se de forma direta na classe de aptidão “restrita”.

Para o cenário A₁B, em ambos os modelos o zoneamento apresentou duas classes de aptidão climática: “marginal” e “restrita”, cujas áreas médias percentuais calculadas foram semelhantes, sendo 1,7% e 2,0% para os modelos GFDL e HadCM₃, respectivamente (Tabela 2). Entretanto as áreas da classe “marginal” provenientes dos distintos modelos se diferenciaram quanto à localização no Estado (Figuras 2c e 3c).

A temperatura média anual de ambos os modelos se assemelham, com diferença entre elas de apenas 0,2°C, o mesmo acontecendo para a precipitação anual e deficiência hídrica anual, embora as amplitudes do último parâmetro sejam distintas.

No caso do modelo GFDL a ocorrência da classe de aptidão climática “marginal” ocorreu na parte noroeste do Estado, em duas regiões descontínuas, e numa pequena porção à sudeste, isso porque foi detectada maior quantidade de chuva e temperatura mais amena nesses locais, refletindo nos valores de Da variando de 370 a 400 mm.

Fato semelhante aconteceu para o modelo HadCM₃, cuja área com classe de aptidão “marginal” limitou-se à região sul-sudeste do Estado.

Quando realizado a comparação entre modelos, ambos indicaram uma tendência de aumento significativo da deficiência hídrica anual, o que contribuiu de forma fundamental para aumentar a área da classe de aptidão “restrita”, do cenário B₁ para A₁B.

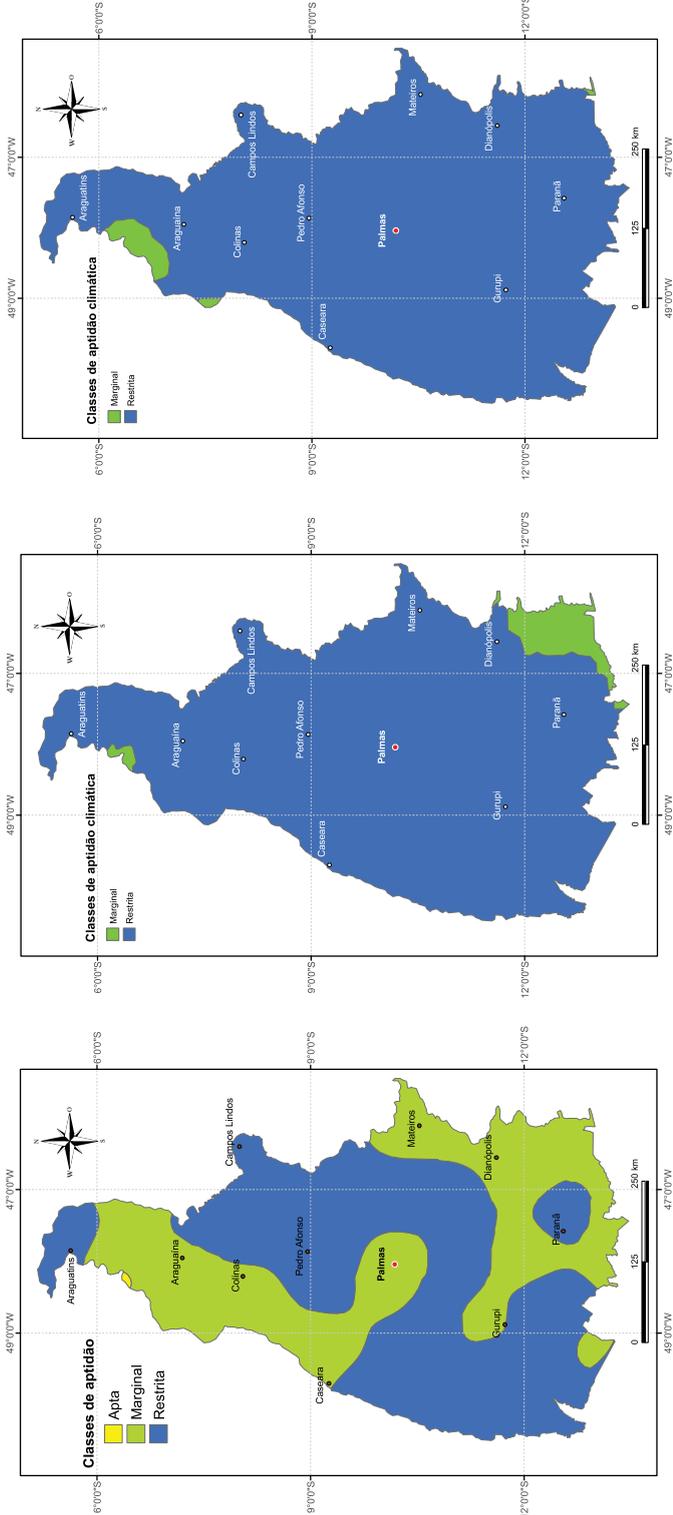
Ao analisar os modelos sob o mesmo cenário percebe-se discordância quanto ao cenário B₁, uma vez que o HadCM₃ projetou resultados mais pessimistas, mas no cenário A₁B ambos foram coincidentes.

Apesar das diferenças entre os modelos analisados neste trabalho, permite afirmar que haverá um agravamento do efeito da deficiência hídrica para todos os cenários futuros, reduzindo significativamente as regiões de aptidão consideradas “apta” e “marginal”. Isso colocaria praticamente todo o Estado na condição de aptidão “restrita” para o cultivo da cana-de-açúcar, a não ser que fosse irrigado.

Sendo assim, as regiões com necessidade de irrigação plena aumentariam consideravelmente em relação a suplementar, e a possível expansão do setor sucroalcooleiro para o Tocantins dependerá de irrigação para obter o máximo de produtividade.

Contudo, o uso de irrigação plena poderia onerar o custo de produção, associado ao fato que o elevado consumo de água devido ao aumento da deficiência hídrica do solo, poderia causar problemas de disponibilidade de água em algumas regiões, ou mesmo não ser concedida pelo órgão ambiental, a outorga de uso dos recursos hídricos para este fim.

Situação Climática Atual e Cenários Futuros para o Cultivo da Cana-de-Açúcar (Modelo GFDL-CM 2.1, período: 2021 – 2050)



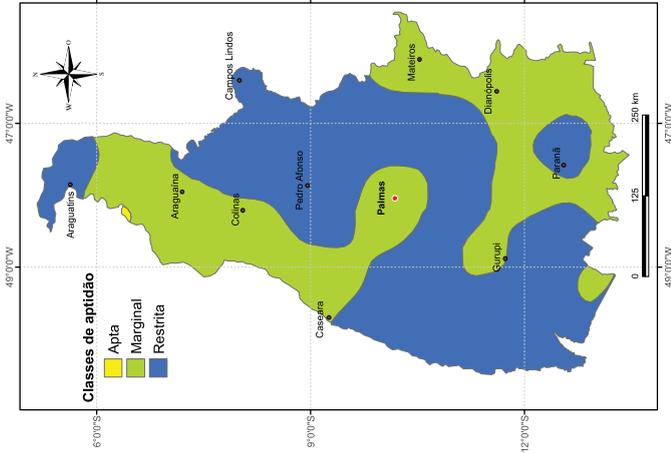
(a) Situação climática atual

(b) GFDL_Cenário B₁

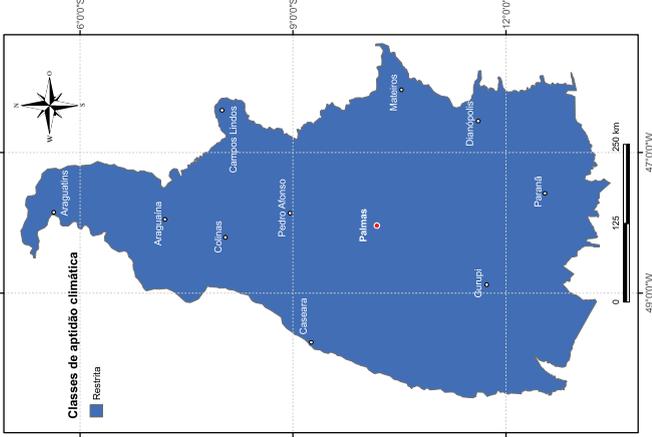
(c) GFDL_Cenário A₁B

Figura 2 – Situação climática atual e cenários futuros para o cultivo da cana-de-açúcar no estado do Tocantins considerando o Modelo GFDL-CM 2.1, para o período de 2021 – 2050 (AR4/IPCC)

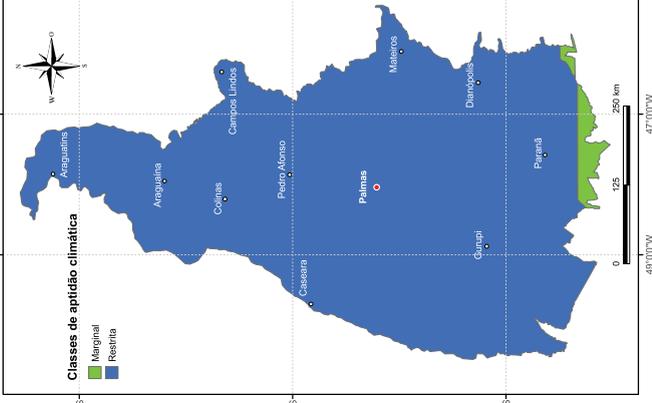
Situação Climática Atual e Cenários Futuros para o Cultivo da Cana-de-Açúcar (Modelo HadCM3, período: 2021 – 2050)



(a) Situação climática atual



(b) HadCM₃_Cenário B₁



(c) HadCM₃_Cenário A_{1B}

213 Figura 3 - Situação climática atual e cenários futuros para o cultivo da cana-de-açúcar no estado do Tocantins considerando o Modelo HadCM3, para o período de 2021 – 2050 (AR4/IPCC)

3.2 – Zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar, considerando a climatologia atual e cenários futuros do AR5

A zona de aptidão agrícola do modelo Eta MIROC5 para cenário intermediário (RCP 4.5 W/m²), prospectada para o período de 2021 a 2050 é similar ao do modelo GFDL-CM 2.1, cenário A₁B (cenário intermediário), do relatório AR4 (IPCC, 2007). Em ambos os casos, visualiza-se uma diminuição significativa das classes de aptidão “marginal” em termos de disponibilidade hídrica.

Sendo assim, no estudo que envolveu o modelo GFDL-CM 2.1 e cenário A₁B (AR4), a redução observada da classe de aptidão “marginal”, foi de 41,7% (clima atual) para 1,7%, enquanto no Eta MIROC5 e RCP 4.5 (AR5), decresceu de 44,4% (clima atual) para apenas 1,2%. (Tabela 2 e 3). Nas duas situações, o cultivo comercial da cana-de-açúcar requererá o uso de sistema de irrigação suplementar ou de salvamento (Tabela 1). Destaca-se que essa zona “marginal” localiza-se na microrregião de Araguaína, no município de Xambioá e entorno, assim como observado no trabalho de Collicchio *et al.* (2015), e constatado nas Figuras 2c e 4a.

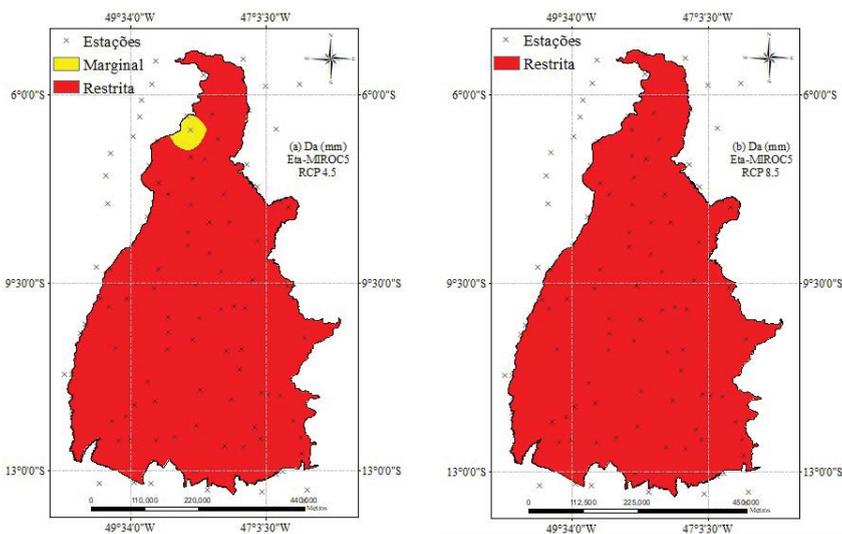
Tabela 3 – Área estimada de aptidão agrícola para a cana-de-açúcar no Estado do Tocantins (em %) para o clima atual e futuro (2021 a 2050), considerando dois cenários dos modelos Eta MIROC5 e Eta HadGEM2-ES

Modelos/Cenários	Área do Estado por classe de aptidão climática ¹ (%)		
	Apta	Marginal	Restrita
Clima Atual	0,14	44,40	55,46
Eta MIROC5_ RCP 4.5	0,00	1,20	98,80
Eta MIROC5_ RCP 8.5	0,00	0,00	100,00
Eta HadGEM2-ES_ RCP 4.5	0,00	0,00	100,00
Eta HadGEM2-ES_ RCP 8.5	0,00	0,00	100,00

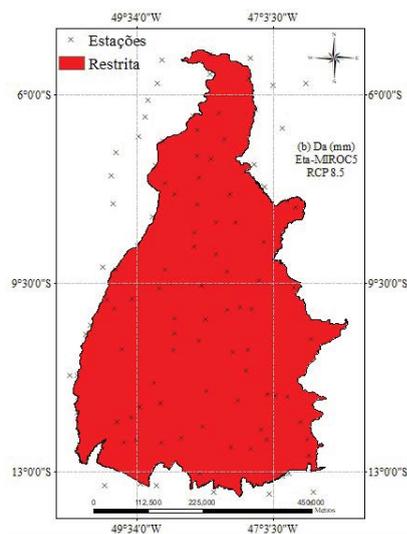
¹Área aproximada (em %), estimada pelo SIG

A microrregião de Araguaína apresentou uma condição mais favorável de acordo com os resultados dos modelos GFDL-CM 2.1 (AR4) e Eta MIROC5 (AR5), para o cenário otimista, a qual encontra-se parcialmente dentro do bioma Amazônia, que corresponde a 8,9% do território tocantinense. Esse fato pode ser atestado por Vianna; Sentelhas (2014) e Roldão; Ferreira (2019), os quais mostraram que essa região possui menor deficiência hídrica anual. Com isso, apesar desse cenário, Vianna; Sentelhas (2014) considerando a climatologia atual, afirmaram que a região de Araguaína, é a que apresenta o menor risco associado à eficiência climática para o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar no país. Tornando essa região, vantajosa em comparação às outras áreas cultivadas ou com potencial de cultivo no Brasil, como declaradas pelo projeto do INPE de monitoramento anual do plantio dessa cultura (CANASAT, 2013).

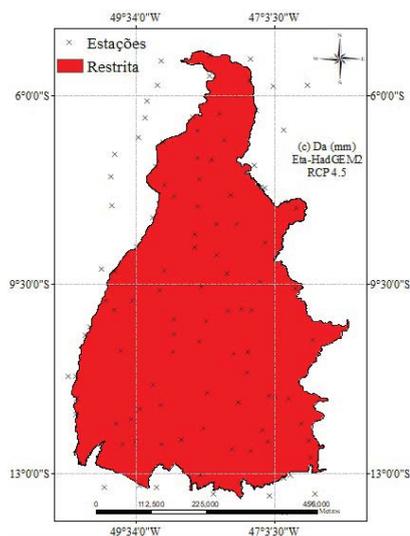
Cenários Futuros para o Cultivo da Cana-de-Açúcar (Modelos Eta MIROC5 e Eta HadGEM2, período: 2021 – 2050)



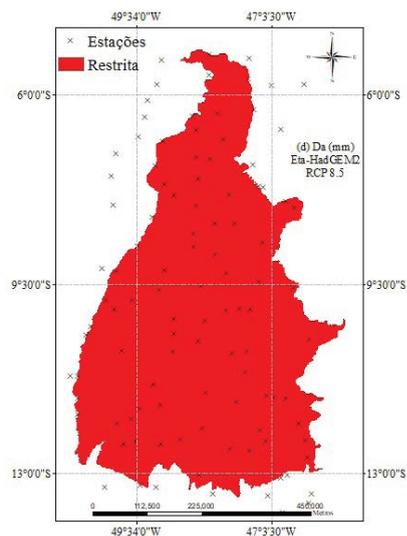
(a) Eta MIROC5 e cenário RCP 4.5



(b) Eta MIROC5 e cenário RCP 8.5



(c) Eta HadGEM2-ES e cenário RCP 4.5



(d) Eta HadGEM2-ES e cenário RCP 8.5

Figura 4 - Zoneamentos agrícolas da cana de açúcar considerando as variáveis climáticas entre 2021 a 2050 prospectadas pelo modelo Eta MIROC5 e cenários RCP 4.5 (a) e RCP 8.5 (b) e para o modelo Eta HadGEM2-ES e cenários RCP 4.5 (c) e RCP 8.5 (d) (AR5/IPCC)

O modelo Eta MIROC5 para o cenário RCP 8.5, assim como o modelo Eta HadGEM2-ES considerando todos os seus cenários (Figura 4b, 4c e 4d), mostram “restrições” sensíveis ao plantio desta cultura agroenergética, sendo impossibilitado o seu manejo nas condições sequeiro em todo o Estado do Tocantins.

Pelos resultados, constatou-se que à semelhança das projeções dos modelos/cenários do AR4, as relativas ao AR5, indicam que no Tocantins não deverão ter regiões “inaptas” considerando a restrição térmica. Isso porque, a maior e a menor temperatura média anual verificada, corresponderam a 30,9°C (Modelo Eta HadGEM2-ES para RCP 8.5) e 25°C (Modelo Eta MIROC5 para RCP 4.5), respectivamente.

Nesse contexto, com base na constatação da predominância de deficiência hídrica mais elevada nos zoneamentos agroclimáticos tanto para a condição da climatologia atual, quanto considerando os cenários futuros, sugere-se a necessidade de promoção de políticas públicas, financiamentos e de maiores investimentos em tecnologias de adaptação, como a utilização de variedades mais adaptadas às condições ambientais locais, manejo da cultura e do solo e uso de irrigação.

4 - Considerações Finais

Os resultados obtidos no presente estudo sugerem que não haverá restrição térmica para o cultivo da cana-de-açúcar, tanto sob as condições climáticas atuais, quanto para o conjunto de cenários climáticos futuros analisados.

De modo geral observou-se um incremento da deficiência hídrica anual para todos os cenários, mas com variações de intensidade regionais. Devido às elevadas deficiências hídricas observadas, para que a cultura tenha um desenvolvimento adequado e obtenha boa produtividade, será necessário dependendo da intensidade do déficit hídrico, utilizar irrigação de salvamento, suplementar ou plena, na estação da seca.

Constatou-se também que os modelos HadCM3 (AR4) e Eta HadGEM2-ES (AR5) apresentaram maior deficiência hídrica anual média do que o GFDL (AR4) e o Eta MIROC5 (AR5).

As simulações dos balanços hídricos realizadas para o Estado do Tocantins, considerando os cenários de mudanças climáticas, mostraram uma redução muito significativa das regiões de aptidão agroclimática “marginal” (apta com irrigação de salvamento ou suplementar) referente aos cenários do AR4 e redução total em todos os cenários do AR5, com exceção do Eta MIROC5 cenário RCP 4.5. Ou seja, considerando as atuais tecnologias aplicadas, as regiões que utilizam irrigação plena, deverão aumentar em relação à de salvamento e suplementar, apontando em direção à um potencial de inviabilização do cultivo da cana-de-açúcar no Estado.

Em regiões climaticamente “restritas” e/ou “marginais”, onde a produção de alimentos poderá ser mantida com o uso de irrigação e estando a cana-de-açúcar presente, esta poderá vir a competir por água, apesar das destilarias aproveitarem comumente a vinhaça para fertirrigação.

Particularmente, os resultados das simulações deste trabalho buscaram horizontes prognósticos próximos do momento presente, ou seja, de 2021 até 2050. Assim as projeções deste estudo sugerem reforçar o alerta para a necessidade de tomada de decisões antecipadas, a fim de atenuar os possíveis impactos futuros.

Dentre diversas medidas que poderão ser tomadas para enfrentamento das mudanças climáticas, pesquisas agronômicas nas áreas de biotecnologia e melhoramento genético poderão dar uma valiosa contribuição, como por exemplo: o desenvolvimento de materiais genéticos tolerantes às altas temperaturas e à deficiência hídrica, e que visem a potencialização do efeito benéfico das elevadas concentrações de CO₂ na atmosfera.

Em algumas regiões produtoras vulneráveis, as mudanças tecnológicas poderão atenuar os efeitos negativos das mudanças climáticas. Portanto há a necessidade de análises e estudos mais aprofundados sobre o tema nessas regiões, o que implica na ampliação de investimentos em pesquisas e no desenvolvimento de tecnologias apropriadas.

Agradecimentos

Ao Governo do Estado do Tocantins, por meio da Universidade Estadual do Tocantins – UNITINS, Secretaria da Agricultura, Pecuária e Aquicultura – Seagro e da antiga Secretaria de Ciência e Tecnologia – SECT;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES;

Ao Laboratório de Geoprocessamento e Tratamento de Imagens do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo - CENA/USP;

Ao Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais - LAMAM, da Universidade Federal do Tocantins - UFT.

Referências

- ALMEIDA, T. S.; CALIJURI, M. L.; PINTO, L. B. Zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar para o estado de Minas Gerais com base em regressões múltiplas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n.3, p. 352-355. 2013.
- ASSAD, E. A.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. M. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064, nov. 2004.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J. Impacts of global warmin in the brazilian agroclimatic risk zoning. In: DIAS, P. L. da S.; RIBEIRO, W. C.; NUNES, L. H. **A contribution to understanding the regional impacts of global change in South America**. São Paulo: IEA/USP, 2007. p.175 – 182.
- BARBARISI, B. F.; MARIN, F. R.; ASSAD, E. A.; BARBARISI, B. F.; PILAU, F. G.; PACHECO, L. R. F. Efeito da mudanças climáticas sobre a aptidão climática para cana-de-açúcar no Estado de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007. Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBA, 2007.
- BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. **Climatologia e a cana-de-açúcar**. Araras: Planalsucar, p.1-22.1977.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Plano Nacional de Agroenergia, 2006 - 2011**. 2. ed. rev. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento agrícola**. Brasília: MAPA. 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscoseguro/risco-agropecuario/zoneamento-agricola>>. Acesso em: 04 jan. 2020.
- BRUNINI, O; PRADO, H. do; LANDELL, M. G. A.; CARVALHO, J. P. de; BRUNINI, A.; MORAIS, J. F. L. de. **Zoneamento de culturas bioenergéticas no Estado de São Paulo**: aptidão edafoclimática da cana-de-açúcar. Campinas: IAC, 2008. 31p.
- CAMARGO; A. P. de; ALFONSI; R. R.; PINTO, S. H.; CHIARINI, J. V. Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em zonas de cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, 4., **Anais...** São Paulo: Ed. USP, 1977. p. 89-105.
- CAMPANHARO, W. A.; CECÍLIO, R. A.; SPERANDIO, H. V.; JESUS JÚNIOR, W. C.de; PEZZOPANE, J. E. M. Potencial impacto das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimático para a seringueira no Espírito Santo. **Scientia Forestalis**, n. 39, p. 105-116. 2011.

CECÍLIO, R. A.; MEDEIROS, S. de S.; DANTAS NETO, F. S.; SOUZA, J. A. A. de; SOARES, A. A. de. Zoneamento climático associado ao potencial de cultivo das culturas do café, cana-de-açúcar e amendoim nas sub-bacias do alto e médio São Francisco em Minas Gerais. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE SENSORAMENTO REMOTO, 9., 2003. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2003. p. 39-45.

COLLICCHIO, E. **Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cultura da cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no estado do Tocantins**. 2008. 157 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – ESALQ/USP. Piracicaba, 2008.

COLLICCHIO, E.; ROCHA, H. R.; VICTORIA, D. de C.; BALLESTER, M. V. R.; TOLEDO, A. M. A. Implicações das mudanças do clima no zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar no Estado de Tocantins, considerando o modelo GFDL. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, v. 08, n. 06, p. 1730-1747, 2015.

COLLICCHIO, E.; LOPES, R. B. S.; MARCOLINI, M. de P. Análise dos possíveis efeitos das mudanças do clima no cultivo da cana-de-açúcar e do eucalipto no estado do Tocantins. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 6, n.1, p. 1-17, 2019.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Indicadores de agropecuária. **Observatório Agrícola**, v. 6, p. 1-116. 2017. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 13 out. 2019.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**: safra 2020/21, v. 7, n.1, Primeiro levantamento, maio 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33)

FAUCONIER, R.; BASSEREAU, D. **La cana de azucar**. Barcelona: Blume, 1975. 433 p.

IPCC. **IPCC WG1 Fourth assessment Report**. Paris, 2007. 21p.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013. **Climate Change 2013: the physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, in: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX V.; MIDGLEY, P. M. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge. United Kingdom and New York, New York. 1.535 p.

JANDREY, D. B.; SILVA, P. R. F. da; FEDERIZZI, L. C.; VIEIRA, V. M.; SANGOI, L. Agroenergia e agricultura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, n. 9, p. 82-89. 2010.

JANK, M. S.; RODRIGUES, L. Dinâmica e agenda do setor sucroalcooleiro na próxima década. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, n.4, p.86-96, out/dez 2007.

LENDERINK, G. et al. Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. **Hydrology and Earth System Science**, v. 11, n. 3, p. 1145-1159, 2007.

MACHADO, M. Os limites do preço do petróleo. **Desafios do Desenvolvimento**, v. 87, p. 44 – 51, Ano 13, 2016. Disponível em: <http://desafios.ipea.gov.br/images/stories/ed87/pdfs/160616_revista_desafios_87.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2019.

MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**: expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2009.

MME, Ministério de Minas Energia e Energia. Lançamento do RenovaBio 2030. **Boletim Mensal dos Biocombustíveis**, Brasília, n. 104, out. 2016. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

MARCOLINI, M. de P. **Efeito das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático para cultura de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) no estado do Tocantins**. 2014. 100f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, UFT, Palmas, 2014.

MARIN, F. R.; ASSAD, E. D.; BARBARISI, B. F.; PILAU, F. G.; PACHECO, L. R. F.; ZULLO JUNIOR, J.; PINTO, H. S. Efeito das mudanças climáticas sobre a aptidão climática para cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA15., 2007. Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBA, 2007.

MÁRTIL, I. La historia del precio del petróleo: subidos a una montaña rusa. **Público**, EconoNuestra, 13 feb. 2016. Disponível em: <<https://blogs.publico.es/econonuestra/2016/02/13/la-historia-del-precio-del-petroleo-subidos-a-una-montana-rusa/>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

MINGUEZ, M. I.; RUIZ-RAMOS, M.; DÍAZ-AMBRONA, C. H.; QUEMADA, M. Productivity in agricultural systems under climate change scenarios: evaluation and adaptation. **Journal de Physique**, Paris, v.4, n. 121, p.269-281, 2004.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. **Trends in atmospheric carbon dioxide**: monthly average Mauna Loa CO₂. Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>>. Acesso em: 30 jul. 2021.

NAVES-BARBIERO, C. C. **Efeito das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimático da *Hevea brasiliensis* no estado do Tocantins**. 2014. 108 f. Tese (Doutorado em Biologia e Ecologia das Alterações Globais). Universidade de Aveiro - UA. Aveiro. Portugal. 2014.

UNFCCC. Convenção Quadro sobre Mudança do Clima. Conferência das Partes – COP 21. **Adoção do Acordo Paris**. Paris: UNFCCC. 12 dez. 2015. 42 p. Disponível em: <<https://unfccc.int/documents/9064>>. Acesso em: 31 jul. 2020.

OLIVEIRA FILHO, A. A. de; CONSONI, F. L. Reestruturação do setor sucroalcooleiro brasileiro na transição para o etanol de segunda geração. In: XVI CONGRESSO LATINO-IBEROAMERICANO DE GESTÃO DA TECNOLOGIA – ALTEC 2015. **Anais...** Porto Alegre: ALTEC, 2015. p. 1 - 20. Disponível em: <<http://altec2015.nitec.co/altec/papers/676.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

OLIVEIRA, G. G.; PEDROLLO, O. C.; CASTRO, N. M. As incertezas associadas às condições climáticas obtidas pelo modelo ETA CPTEC/HADCM3: avaliação comparativa entre os dados simulados e observados de precipitação, evapotranspiração e vazão na bacia hidrográfica do rio Ijuí, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 1, 101 - 121, 2015.

OLIVEIRA, M. N. Produção agropecuária agregada: uma aplicação para o estado do Tocantins. **Revista Desafios**, Palmas, v. 05, n. 01, p. 135-147, 2018.

PEREIRA, A. R. Simplificado o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n.2, p.311-313, 2005.

RANIERI, S. B. L.; BARRETTO; A. G. O. P.; KLUG, I. L. F. Potencial de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar para o estado do Maranhão. In: Pólo Nacional de Biocombustíveis. **Estudo comparativo do potencial de produção de etanol no Maranhão: vantagens competitivas e comparativas**. Piracicaba: ESALQ, 2007. cap.1, p. 1-69.

RODRIGUES FILHO, S.; JULIANI, A. J. Sustentabilidade da produção de etanol de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 27, n. 78, p. 195 – 212. 2013.

ROLDÃO, A. de F.; FERREIRA, V. de O. Climatologia do estado do Tocantins – Brasil. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 59, p. 1161 – 1181. 2019

ROSSETTI, L. A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e seguridade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n.3, p. 386 - 399, 2001.

SALATI, E.; SALATI, E.; CAMPANHOL, T.; VILLA NOVA, N. **Tendências das variações climáticas para o Brasil no século XX e balanços hídricos para cenários climáticos para o século XXI**: relatório 4. Rio de Janeiro: MMA, 2007. 182 p.

SANTIAGO, G. A. C. F. **Impactos de cenários climáticos futuros na aptidão agroclimática da cana-de-açúcar na Zona da Mata de Pernambuco**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal do Pernambuco - UFPE. Recife. 2015.

THORTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Thechnology, 1955. 104 p.

UNICA; CEISE. **Setor sucroenergético no Brasil: uma visão para 2030**. São Paulo: UNICA/CEISE. 2016, 8p. Disponível em: <www.mme.gov.br-documents>. Acesso em: 14 jan. 2020.

VIANNA, M. S; SENTELHAS, P. C. Simulação do risco de déficit hídrico em regiões de expansão do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v. 49, n. 4, p. 237-246, abr. 2014.

VICTORIA, D. de C.; SANTIAGO, A. V.; BALLESTER, M. V. R.; PEREIRA, A. R.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. Water balance for the Ji-Paraná river basin, western Amazon, using a simple method through geographical information systems and remote sensing. **Earth Interactions**, Madison, v. 11, n. 5, p. 1-21, 2007.

ZULLO JUNIOR, J.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. Alterações devem deslocar culturas agrícolas. **Scientific American Brasil**, São Paulo, n. 74, p. 72-77, jul. 2008.

WALDHEIM, P. V.; CARVALHO, V. S. B.; CORREA, E.; FRANÇA, J. R. de A. Zoneamento climático da cana-de-açúcar, da laranja e do algodão herbáceo para a região Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 2, p. 28-41, 2006.

Impactos Prováveis das Mudanças Climáticas no Zoneamento Agroclimático do *E. urophylla* x *E. grandis* no Estado do Tocantins

Murilo de Pádua Marcolini¹, Erich Collicchio², Flávia Lucila Tonani de Siqueira³, Maria Inês Ramos Azevedo⁴

¹Professor do Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP/ULBRA, ²Professor Associado II da Universidade Federal do Tocantins - UFT, ³Professora Associada da Universidade Federal do Tocantins - UFT, ⁴Engenheira Florestal, Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais - LAMAM/UFT

1 - Introdução

O gênero *Eucalyptus* tem a sua origem na Austrália, Tasmânia e outras ilhas da Oceania e existem cerca de 730 espécies reconhecidas botanicamente (PINTO JÚNIOR; SANTAROSA; GOULART, 2014).

Suas espécies são adaptadas às mais diversas condições de solo e clima, e apresentam como características árvores típicas de florestas altas, é composta por plantas sempre-verdes que possui madeira de pequena a elevada densidade, variando de aproximadamente 0,3 a 1,0 g/cm³ (RIBEIRO, 2009).

As principais espécies plantadas no Brasil são: *Eucalyptus camaldulensis*, *Corymbia citriodora*, *E. grandis*, *E. robusta*, *E. saligna*, *E. globulus*, *E. deglupta*, *E. tereticornis*, *E. pellita*, *E. moorei*, *E. smithii*, *E. urophylla* e *E. resinifera*, bem como o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* (CIB, 2008), sendo que o *E. urophylla*, é uma das espécies mais cultivadas no País.

O cultivo do eucalipto sempre esteve relacionado ao rápido crescimento e a elevada capacidade de adaptação às diversas regiões ecológicas (PINTO JÚNIOR; SANTAROSA; GOULART, 2014). Tem como vantagem a grande diversidade de espécies que se destacam como fontes de matéria-prima em potencial para uma diversidade de áreas na atividade industrial. A partir da planta do eucalipto pode-se produzir celulose e papel e madeira para diversos fins, além de óleos essenciais, produtos apícolas, tanino e outras substâncias (SANTAROSA *et al.*, 2014).

O setor brasileiro de árvores plantadas apresentou crescimento de 13,1% de 2017 para 2018, atingindo uma receita setorial de R\$ 86,6 bilhões. Essa evolução do segmento foi muito superior à média nacional, que registrou um aumento no Produto Interno Bruto (PIB) Nacional de 1,1%, enquanto o da agropecuária evoluiu 0,1%, o setor de serviços, 1,3% e a indústria em geral, 0,6%. As atividades deste setor em 2018, representou 6,9% do PIB industrial e 1,3% do PIB nacional (IBÁ, 2019).

A área de floresta plantada no Brasil totalizou 7,83 milhões de hectares em 2018, mantendo-se praticamente estável em relação ao ano de 2017, sendo que

a área plantada de eucalipto teve uma participação significativa de 73%, ocupando 5,7 milhões de hectares. Os estados com maiores áreas de plantio de eucalipto são: Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (16%). Destaca-se que nos últimos sete anos, o crescimento médio da área de eucalipto foi de 1,1% ao ano, com o Mato Grosso do Sul liderando esta expansão, pois apresentou uma taxa média de crescimento de 7,4% ao ano (IBÁ, 2019).

Embora a participação histórica com produtos oriundos dos reflorestamentos no Estado do Tocantins seja pequena diante da produção nacional, dados mais recentes e detalhados indicam um crescimento expressivo da área de florestas plantadas no Estado (DUARTE; COLLICCHIO, 2020). Destaca-se o aumento do plantio de eucalipto no Tocantins, no período de 2010 (47.542 ha) a 2018 (144.793 ha), que atingiu 204%, com uma taxa média de crescimento anual da área plantada de 25,5% (IBGE, 2018).

Apesar desse expressivo aumento da área plantada de eucalipto no Tocantins, a sua participação em relação ao Brasil ainda é muito discreta. Como pode ser observado, em 2010 a área de plantio correspondia a apenas 0,97% da área total do País, sendo que no ano de 2018, passou para 3,10% (IBGE, 2018; IBÁ, 2019). Das espécies florestais plantadas no Tocantins, o eucalipto corresponde em média a cerca de 91%, seguido da teca, seringueira e do pinus (MATTEO *et al.*, 2016).

Com a expansão da cultura no Estado torna-se relevante o zoneamento agroclimático para o eucalipto, uma vez que delimita as áreas de aptidão de cultivo para o seu desenvolvimento, a fim de proporcionar garantia de retorno aos investimentos realizados pelos produtores. Sendo assim, esta ferramenta é importante no processo de planejamento e de tomada de decisão, tanto por parte do governo, quanto dos agricultores (MEDEIROS *et al.*, 2013).

O Ministério da Agricultura do Brasil utiliza o zoneamento agrícola de risco climático como um instrumento de política agrícola e gestão de riscos na agricultura, o qual visa “minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos adversos e permite a cada município identificar a melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solo e ciclos de cultivares” (MAPA, 2019).

Nesse sentido, em observância à expansão adequada do eucalipto no Tocantins, Souza *et al.* (2015) elaboraram o zoneamento agroclimático do híbrido de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis* para o Estado.

Contudo o IPCC (2013) alertou sobre os impactos climáticos que vem sendo observados no planeta, devido aumento dos gases de efeito estufa, cujos cenários de emissões indicam um aumento médio na temperatura média global para o final do século entre 2,6°C a 4,8°C. Essas projeções se confirmadas poderão provocar alterações dos locais de produção agrícola atuais, tornando relevante a realização de estudos que visam antever possíveis impactos negativos na agricultura, plantios florestais e no meio ambiente.

Diante desse contexto, o presente trabalho visou verificar os possíveis efeitos das mudanças do clima sobre o zoneamento agroclimático do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* no Estado do Tocantins.

2 - Procedimentos metodológicos

O presente estudo foi viabilizado a partir de uma base de dados meteorológicos, organizada por Collicchio (2008), provenientes de estações meteorológicas e pluviométricas, do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Agência Nacional de Águas - ANA, Secretaria da Agricultura e Pecuária do Tocantins - SEAGRO e Embrapa, situadas no estado do Tocantins e estados circunvizinhos, compreendidas entre os paralelos 4° 30' e 13° 30' Sul e meridianos 45° 30' e 51° 30' Oeste.

Foi elaborado o zoneamento agroclimático do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* considerando a situação climática atual, de acordo com o procedimento adotado por Souza *et al.* (2015).

As exigências agroclimáticas deste híbrido, para que tenha um desenvolvimento comercial favorável, estão apresentadas na Tabela 1, conforme parâmetros indicados por Sperandio *et al.* (2010).

Tabela 1 - Classes de aptidão climática do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*

Aptidão Climática	Temperatura Média Anual (Ta)	Deficiência Hídrica Anual (Da)	Precipitação Anual (P)
Apta	$18 \leq Ta \leq 25$ °C	$15 \leq Da \leq 170$ mm	$720 \leq P \leq 1800$ mm
Inapta	$18 > Ta > 25$ °C	$15 > Da > 170$ mm	$720 > P > 1800$ mm
Marginal	Ocorreu nas áreas em que apenas uma variável (T, Da ou P) foi inapta		
Restrita	Ocorreu nas áreas em que apenas uma variável (T, Da ou P) foi apta		

Fonte: Sperandio *et al.* (2010)

Para a simulação dos possíveis impactos das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimático da cultura em estudo, utilizou-se os dados de saída do modelo Hadley Centre for Climate Prediction, (HadGEM2-ES/INPE), o qual foi desenvolvido na Grã-Bretanha e modelado com contribuições do INPE do Brasil. Este modelo segue o protocolo do CMIP5-IPCC-AR5 e pode ser acessado na página oficial da organização WordClim.

A partir dos dados de saída do referido modelo, relativos ao período de 2041 a 2060, elaborou-se os zoneamentos agroclimáticos para o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*, considerando três cenários distintos de emissões: RCP 2.6 (Cenário otimista); RCP 4.5 (Cenário intermediário) e o RCP 8.5 (Cenário pessimista). Para isso, adotou-se o procedimento de correção utilizado por Minguez *et al.* (2004), Salati *et al.* (2007) e Collicchio (2008), para adequar os dados simulados pelo modelo para cada cenário de emissões, aos dados observados.

3 - Resultados e Discussão

A partir dos resultados observados na Tabela 2, destaca-se que a temperatura média anual para o clima atual (25,69°C) do estado do Tocantins, aumentou para todos os cenários de emissões. Notou-se em relação ao clima atual, diferenças gradativas da temperatura média anual para os cenários RCP 2.6, 4.5 e 8.5 de 2,16°C, 2,78°C e 3,70°C, respectivamente.

O maior aumento observado na temperatura anual em relação ao clima atual foi na região sudoeste do Estado, para todos os cenários. Contudo, percebe-se uma expansão da área de aquecimento numa faixa extensa do sudoeste-nordeste, bem como na região do Bico do Papagaio do Tocantins, à medida que tende a piorar o cenário de emissão.

Inversamente ao ocorrido com a temperatura (Ta), a precipitação anual do clima atual (1.662 mm) apresentou uma redução, sendo que o cenário RCP 2.6, foi o que mais diminuiu, registrando 1.301 mm, que representa uma redução média de 21,7%. Já a redução estimada da precipitação para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, foram de 8,9% e de 10,6% (Tabela 1). Constata-se que houve uma redução generalizada da precipitação em todo o Estado, porém sendo intensificada nas regiões sul, centro-leste e norte/nordeste do Tocantins.

Com referência a deficiência hídrica anual (Da), observou-se que a Da média para o clima atual, passou de 255 mm para 460 mm no cenário RCP 8.5, representando um aumento de 80,3%. A Da máxima no clima atual aumentou de 408 mm para 670 mm no cenário RCP 8.5, correspondendo a um aumento de 35,8%. A Da mínima se comportou de forma similar, porém mais expressiva, pois passou de 76 mm (clima atual) para 232 no cenário RCP 4.5, correspondendo a um incremento de 305,3% (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores mínimos, máximos e médios anuais calculados para Temperatura média anual (Ta), Precipitação anual (P) e Déficit hídrico anual (Da), considerando os cenários de mudanças climáticas em relação ao clima na condição atual

Cenários	Ta (°C)			P (mm)			Da (mm)		
	Mín.	Máx.	Méd.	Mín.	Máx.	Méd.	Mín.	Máx.	Méd.
Clima Atual	23,3	27,3	25,7	821	2112	1662	76	408	255
RCP 2.6	25,4	29,5	27,8	908	1844	1301	162	631	437
RCP 4.5	25,9	30,2	28,5	1043	2038	1513	232	629	433
RCP 8.5	26,3	30,9	29,0	1054	1929	1486	215	670	460

Ressalta-se que esses aumentos na temperatura simulados pelo modelo/cenários foram projetados com possibilidade de ocorrer daqui a aproximadamente 25 a 30 anos, o que merece atenção tendo em vista que o aumento médio da temperatura global registrado no século XX foi de aproximadamente 0,6°C (IPCC, 2007; MARENGO, 2006), uma vez que os valores obtidos neste trabalho foram mais elevados do que este.

Ao comparar as áreas de aptidão agroclimática para o cultivo do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* no estado do Tocantins para o clima atual e cenários futuros, nota-se uma alteração extrema com relação à aptidão desta cultura como pode ser verificado na Tabela 3 e Figura 1.

Considerando a classe de aptidão “apta” na climatologia atual, identificou-se uma área total de somente 1.971 km² (0,71% do Estado). Contudo para todos os cenários de emissões, nenhuma área de aptidão adequada ao cultivo foi encontrada, devido especialmente às temperaturas projetadas não serem satisfatórias ao cultivo deste híbrido.

A área de aptidão “marginal” diminuiu em todos os cenários, passando de 45.335 km² para o clima atual (16,33% do Estado), para 250 km² (0,09%) no cenário otimista, não observando nenhuma área “marginal” no cenário intermediário e apenas 28 km² (0,01%) no cenário pessimista.

No que se refere à área total do Estado com classe de aptidão “restrita”, esta foi a que sofreu maior expansão em relação ao clima atual, cuja área era de 175.817 km² (63,33%).

Considerando os cenários de emissões, nota-se que o cenário RCP 2.6, atingiu 99,87% da área bruta do Estado (277.260 km²), e os cenários RCP 4.5 e 8.5 alcançaram respectivamente, 257.260 km² (92,70%) e 261.547 km² (94,21%).

As áreas de classe “inapta” diminuiram sensivelmente em relação à situação do clima atual (54.497 km²), sendo que as reduções atingiram 112 km², 20.266 km² e 16.046 km², para os cenários RCP 2.6, 4.5 e 8.5, respectivamente.

Tabela 3 - Área estimada do estado do Tocantins em percentual, por classe de aptidão climática para o plantio do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* resultante da simulação dos distintos cenários de mudanças climáticas, em relação ao clima na condição atual

Cenários	Área do Estado por classe de aptidão climática ¹							
	Apta		Marginal		Restrita		Inapta	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Clima Atual	1.971	0,71	45.335	16,33	175.817	63,33	54.497	19,63
RCP 2.6	0	0,00	250	0,09	277.260	99,87	112	0,04
RCP 4.5	0	0,00	0	0,00	257.355	92,70	20.266	7,30
RCP 8.5	0	0,00	28	0,01	261.547	94,21	16.046	5,78

¹ Área aproximada estimada pelo SIG

Percebe-se que na situação climática atual, a área total das classes “apta” e “marginal” representam apenas 17% da área do Estado, já demonstrando uma restrição natural ao cultivo desta espécie na maior parte do território tocantinense. Pela Tabela 3 e Figura 1, constata-se de forma geral que com o aumento dos cenários de emissões, ocorre o aumento significativo de áreas “restritas” ao cultivo, assim como, a redução de áreas “aptas”, “marginais” e “inaptas”.

Com os resultados obtidos é possível afirmar que haverá uma acentuação do efeito da temperatura e da deficiência hídrica em todos os cenários futuros (Tabela 2),

extinguindo as regiões “aptas” e diminuindo significativamente as “marginais”, com isso colocando quase a totalidade do Estado na condição de aptidão “restrita” para o cultivo (Tabela 3 e Figura 1).

Situação Climática Atual e Cenários Futuros para o cultivo do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* - 2041 a 2060

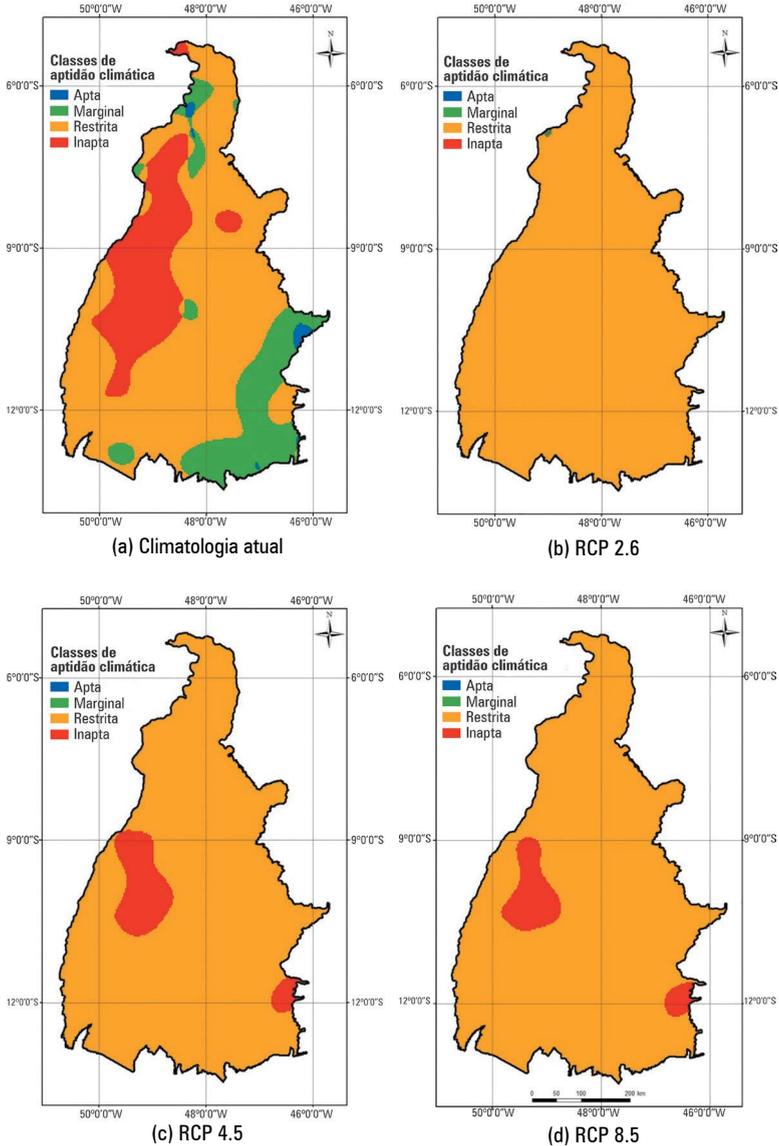


Figura 1 - Zoneamento agroclimático para o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* no estado do Tocantins referente à: (a) climatologia atual; (b) cenário RCP 2.6; (c) cenário RCP 4.5 e (d) cenário RCP 8.5 para o período de 2041 a 2060

4 – Considerações finais

O presente estudo constatou que não ocorrerá restrição quanto à precipitação para o cultivo em quase todo Estado, levando em consideração as condições climáticas atuais, bem como para os cenários futuros. Já com relação à temperatura média anual, para os cenários de emissões, foi considerada “inapta” em todo o Estado.

Pode-se afirmar que, a partir dos dados de saída do modelo HadGEM2-ES/INPE, haverá uma acentuação do efeito da temperatura e da deficiência hídrica em todos os cenários de emissões, extinguindo as regiões “aptas” e diminuindo significativamente as “marginais”, com isso colocando quase a totalidade do estado do Tocantins na condição de aptidão “restrita” para o cultivo do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*.

Isso vem mostrar que o cultivo deste híbrido nessas condições, se tornaria impraticável no Estado, caso sejam confirmadas essas tendências e não sejam adotadas medidas de mitigação.

Sugere-se novos estudos visando a definição da capacidade de água disponível (CAD) para regiões do Estado, devido à grande extensão territorial, possuindo características distintas do solo de uma região para outra.

Recomenda-se assim, medidas como técnicas de manejo do solo e da cultura e o desenvolvimento de pesquisas na área de melhoramento genético que busquem, por exemplo, avaliar e identificar genótipos (clones) que apresentem tolerância às altas temperaturas e à deficiência hídrica e que se adaptem às condições de estresses ambientais no Estado.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, à Universidade Federal do Tocantins – UFT, ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia/UFT e ao Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais – LAMAM/UFT.

Referências

CIB. Conselho de Informações sobre Biotecnologia. **Eucalipto: oportunidades para um desenvolvimento sustentável**. 2008. 20 p. Disponível em: <http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/Guia_do_Eucalipto_junho_2008.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2020.

COLLICCHIO, E. **Zoneamento agroclimático e ambiental para a cultura da cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no estado do Tocantins**. 2008. 156 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

DUARTE, F. A.; COLLICCHIO, E. Desafios e perspectivas do cultivo do eucalipto para fins energéticos no Estado do Tocantins. **Liberato**, Novo Hamburgo, v. 21, n.35, p. 15-26, jan./jun. 2020.

IBÁ, Instituto Brasileiro de Árvores. **Relatório anual IBÁ 2019**. Brasília: IBÁ, 2019. 80 p. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>> Acesso em: 10 jan. 2020.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da extração vegetal e da silvicultura - PEVS**. Bases de dados. 2018. Rio de Janeiro: IBGE. 2018. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/234/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=45>. Acesso em: 15 dez. 2019.

IPCC. **Summary for Policymakers**. In: Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; ENHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press/United Kingdom/New York. 2007. 18p.

IPCC. **Climate Change 2013: the physical science basis**. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press/United Kingdom/New York. 2013. 1535 p.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento agrícola**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/zoneamento-agricola>>. Acesso em: 11 out 2019.

MARCOLINI, M. de P. **Efeito das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático para cultura de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) no estado do Tocantins**. 2014. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, UFT, Palmas, 2014.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 2006. 212 p.

MATTEO, K. C. de et al. **Diagnóstico da dinâmica social e econômica do estado do Tocantins**: inventário socioeconômico. Palmas: SEPLAN-TO, 2016. 413p.

MEDEIROS; R. M.; AZEVEDO, P. V.; SABOYA, L. M. F.; FRANCISCO, P. R. M. Classificação climática e zoneamento agroclimático para o município de Amarante-PI. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, n. 2, p. 170-180, 2013.

MINGUEZ, M. I.; RUIZ-RAMOS, M.; DÍAZ-AMBRONA, C. H.; QUEMADA, M. Productivity in agricultural systems under climate change scenarios evaluation and adaptation. **Journal de Physique**, Paris, v.4, n. 121, p.269-281, 2004.

PINTO JÚNIOR, J. E.; SANTAROSA, E.; GOULART, I. C. G. R. Histórico do cultivo de eucalipto. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. R. (ed.). **Transferência de tecnologia florestal**: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília: Embrapa, cap. 1, p. 11 – 12. 2014.

RIBEIRO, C. A. D. **Delimitação de zonas agroclimáticas para cultura do eucalipto no norte do Espírito Santo e sul da Bahia**. 2009. 102 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Alegre, 2009.

SALATI, E.; SALATI, E.; CAMPANHOL, T.; VILLA NOVA, N. **Tendências das variações climáticas para o Brasil no século XX e balanços hídricos para cenários climáticos para o século XXI**: relatório 4. Rio de Janeiro: MMA, 2007. 182 p.

SANTAROSA, E.; PINTO JÚNIOR, J. E.; GOULART, I. C. G. R.; SALATI, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F. Importância sócioeconômica e principais usos do eucalipto. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. R. (ed.). **Transferência de tecnologia florestal**: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília: Embrapa, cap. 2, p. 13 – 22. 2014.

SOUZA, O. M. M.; COLLICCHIO, E.; PEREIRA, E. Q.; AZEVEDO, M. I. R. Edapho-climatic zoning for *Eucalyptus urograndis* in the State of Tocantins, Brazil. **Journal of Bioenergy and Food Science**, Macapá, v.2, n. 2, p. 62-71, abr./jun. 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.18607/jbfs.v2.i.2.36>.

SPERANDIO, H. V.; CAMPANHARO, W. A.; CECILIO, R. A.; NAPPO, M. E. Zoneamento Agroecológico para espécies de eucalipto no Estado do Espírito Santo. **Revista Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 34, p. 203 – 216, jun. 2010.

Efeito dos Cenários Climáticos Futuros na Aptidão Agroclimática do *Eucalyptus urophylla* no Estado do Tocantins

Danillo Silva Nunes¹ e Erich Collicchio²

¹Engenheiro Ambiental e Mestrando em Desenvolvimento Regional - UFT; ²Professor Associado II da Universidade Federal do Tocantins - UFT.

1 - Introdução

Oriunda da Indonésia e do Timor-Leste, a espécie *Eucalyptus urophylla* (FONSECA *et al.*, 2010; FLORES *et al.*, 2016) foi introduzida no Brasil por volta do ano de 1919, tendo se disseminado por praticamente todas as regiões brasileiras.

Esta espécie apresenta um elevado potencial para reflorestamento devido a sua boa adaptação ao clima do Brasil (FLORES *et al.*, 2016) e resistência a doenças, como “cancro do eucalipto” (MORA; GARCIA 2000; MOURA, 2004), além de possuir aplicação em mais de um setor, ou seja, permite o uso múltiplo (SILVA; CASTRO; XAVIER, 2008).

O eucalipto tem sido uma das árvores mais plantadas no Brasil devido as suas características de adaptação às diferentes condições de clima e solo (CIB, 2008).

O Brasil em 2018 teve uma área cultivada de 9.895.560 ha de florestas plantadas, sendo composta por 76,2% de eucalipto e 20,0% de pinus, o equivalente a 7.543.542 ha e 1.984.333 ha, respectivamente (IBGE, 2018).

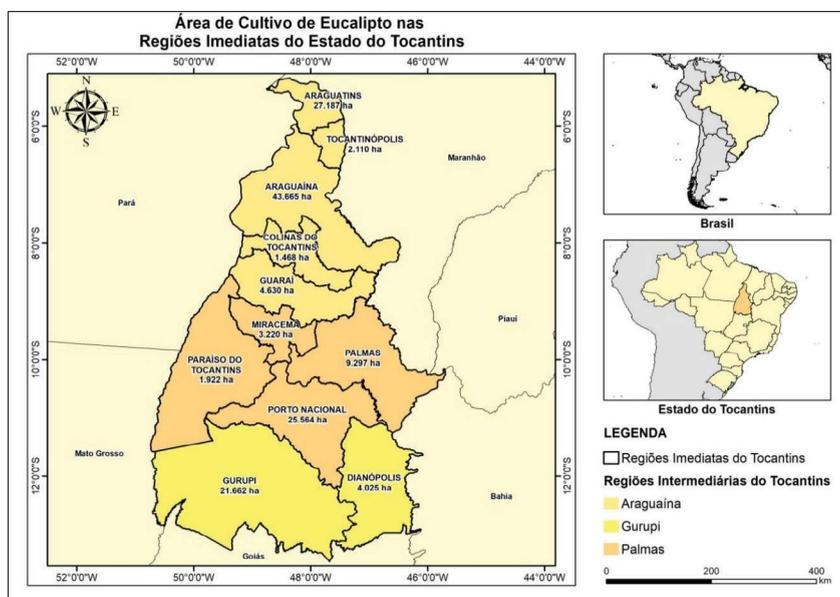
De acordo com o relatório IBÁ (2019), o setor brasileiro de árvores plantadas apresentou crescimento de 13,1% de 2017 para 2018, atingindo uma receita setorial de R\$ 86,6 bilhões. Destaca-se ainda, que as atividades deste setor em 2018 representaram 6,9% do PIB industrial e 1,3% do PIB nacional.

Observa-se que as florestas plantadas além de serem atividades econômicas estratégicas para o país, têm como benefícios a diminuição da pressão sobre florestas nativas, a utilização de terras degradadas pela agropecuária, à fixação de carbono, a proteção do solo e da água, dentre outros (SNIF, 2015).

No Estado do Tocantins houve um aumento expressivo de florestas plantadas nos últimos dez anos, em especial do cultivo de eucalipto, que representou mais de 90% dos cultivos. De acordo com o IBGE (2018), no período de 2010 a 2018 houve um incremento da área plantada de eucalipto de cerca de 204%. Contudo a participação da área cultivada com eucalipto do Estado, que correspondeu a

144.793 ha em 2018, é muito pequena (2,0%) em relação à área plantada brasileira (IBGE, 2018).

Esse crescimento do plantio de eucalipto no Tocantins foi estimulado pelo governo estadual e pela expectativa por parte dos produtores com relação ao aumento na demanda de matéria-prima para a provável instalação de uma indústria de Papel e Celulose no Estado, além da expectativa de buscar atender às demandas do parque siderúrgico nacional (DUARTE; COLLICCHIO, 2020). Porém, a existência de indústrias siderúrgicas localizadas em Marabá – PA e em Açailândia – MA, bem como a implantação e funcionamento de uma indústria de Papel e Celulose no município de Imperatriz - MA, favoreceram a implantação de áreas de produção de eucalipto em todo o Estado (Figura 1), especialmente na porção norte, tornando uma boa oportunidade de mercado para os produtores tocantinsenses (IBÁ, 2015).



Fonte: IBGE (2018) Nota: Produto cartográfico elaborado pelos autores.

Figura 1 - Área plantada em hectares de Eucalipto no Estado do Tocantins em 2018, agrupadas por Regiões Imediatas do IBGE

Pela Figura 1, percebe-se que o eucalipto é cultivado em todas as regiões imediatas e intermediárias do estado do Tocantins, com destaque a região imediata de Araguaína, ao norte, que possui em seu território 30,17% de todas as áreas cultivadas no estado no ano de 2018, tornando-a líder em comparação às demais. Ao agrupar esta região imediata com as outras componentes da região intermediária, temos que a Região Intermediária de Araguaína concentra 54,62% das áreas de cultivos no Estado.

A Região Intermediária de Palmas, localizada na parte central, dispõe de 27,64% das áreas de cultivo de eucalipto no Estado, com destaque a região imediata de Porto Nacional que corresponde a 17,66%, sendo a terceira a nível estadual, atrás apenas das regiões imediatas de Araguaína e Araguaí.

Na porção sul do Estado, a Região Intermediária de Gurupi, possui 17,75% das áreas reflorestadas com eucalipto, de modo que a região imediata homônima corresponde a 14,97%, enquanto a região imediata de Dianópolis colabora com 2,78%.



Fotos: Erich Collicchio (2019)

Figura 2 - Plantio de eucalipto situado ao sul da região imediata de Porto Nacional (a) e transporte de eucalipto oriundo de áreas de plantio localizadas na porção nordeste da região imediata de Guaraí (b)

Apesar da ampla adaptação do eucalipto às distintas condições ambientais, as informações climáticas e edáficas favorecem a determinação de áreas mais aptas ao cultivo e à mecanização agrícola. Nesse contexto, o zoneamento agroclimático é uma ferramenta estratégica no processo de tomada de decisão, que permite a delimitação de regiões com melhor aptidão climática para cultivo agrícola e florestal (RIBEIRO, 2009; BRUNINI; CARVALHO, 2018), proporcionando maior retorno de investimentos para os produtores e contribuindo para uma agricultura mais eficiente, produtiva e sustentável (HIGA; WREGG, 2009).

Por outro lado, poderá ocorrer à elevação do risco climático nas regiões produtoras devido à possível influência das mudanças do clima, com potencial de provocar alteração dos locais onde os cultivos estão sendo desenvolvidos (IPCC, 2007; PINTO *et al.*, 2008; IPCC, 2013; GARCIA *et al.*, 2014).

Tendo em vista que as mudanças climáticas poderão afetar o setor florestal brasileiro, têm sido desenvolvidos estudos no Brasil referentes aos seus possíveis impactos no zoneamento agroclimático para o eucalipto (DOHLER *et al.*, 2012; RODY *et al.*, 2012; MARCOLINI, 2014; LOPES, 2019).

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou a elaboração do zoneamento de aptidão agroclimática do *Eucalyptus urophylla* no Estado do Tocantins, considerando o clima atual, bem como os efeitos das mudanças climáticas neste zoneamento, usando os resultados gerados pelo modelo GFDL, com base em três cenários de emissões projetados para o período de 2041 a 2060.

2 - Procedimentos Metodológicos

A elaboração do zoneamento agroclimático do *Eucalyptus urophylla* foi realizada considerando o limite geográfico o Estado do Tocantins, cuja área corresponde a 277.720,57 km². Para isso, utilizou-se a base de dados do Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais (LAMAM/UFT), composta por 110 estações meteorológicas e/ou pluviométricas, provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Agência Nacional de Águas - ANA, da Secretaria da Agricultura, Pecuária e Aquicultura do Tocantins - Seagro e Embrapa.

Obteve-se a estimativa da evapotranspiração potencial pelo Método de Thornthwaite (1948), sendo que as estimativas da evapotranspiração real, excedente hídrico e déficit hídrico de cada localidade, foram obtidas por meio do cálculo do balanço hídrico (THORTHWAITE-MATHER, 1955), executado conforme proposto por Pereira (2005). A capacidade de água disponível (CAD) estabelecida neste estudo, foi de 300 mm (STAPE; GOMES, 1996 apud RIBEIRO, 2009).

Os dados mensais de temperatura, precipitação e de déficit hídrico foram espacializados utilizando o *software* ArcGIS 10.1 (ESRI), com licença de uso concedida a Universidade Federal do Tocantins, por meio do método de interpolação *spline*.

Conforme preconizado por Sperandio *et al.* (2010), as necessidades climáticas consideradas ideais para o cultivo da espécie *E. urophylla* são: a) Temperatura Média Anual variando entre 19°C e 26°C; b) Precipitação Média Anual de 900 mm a 1800 mm e c) Déficit Hídrico Anual entre 30 mm a 210 mm.

A partir dos produtos gerados no SIG, foi realizada a classificação de aptidão de cultivo de acordo com as exigências climáticas da espécie, segundo a metodologia preconizada por Nappo; Nappo; Paiva (2005) e usada por Souza *et al.* (2014). Através do cruzamento dos arquivos em formato *raster*, pela multiplicação dos grids, obteve-se as classes de aptidão agroclimática, onde considerou-se: a) classe 'apta', quando todas as variáveis estão dentro dos parâmetros estabelecidos; b) 'marginal', quando uma das variáveis é considerada 'inapta'; c) 'restrita', quando apenas uma das variáveis é 'apta'; e d) 'inapta', quando todas as variáveis encontram-se fora dos padrões.

Para obter as estimativas dos possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre o zoneamento de aptidão agroclimática do *E. urophylla*, utilizou-se três cenários de emissões, RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 8.5, do período de 2041 a 2060 e as suas prováveis concentrações de CO₂. Nesse sentido, foram adquiridos os dados de saída, considerando os cenários propostos para o período do estudo, do modelo climático Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-CM3), do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), dos Estados Unidos, utilizado nos estudos apresentados no Relatório AR5 do IPCC (2013).

3 - Resultados e Discussão

Os mapas contendo o zoneamento agroclimático para o *E. urophylla* no Estado do Tocantins com base no clima atual e projeções de cenários futuros estão apresentados na Figura 3.

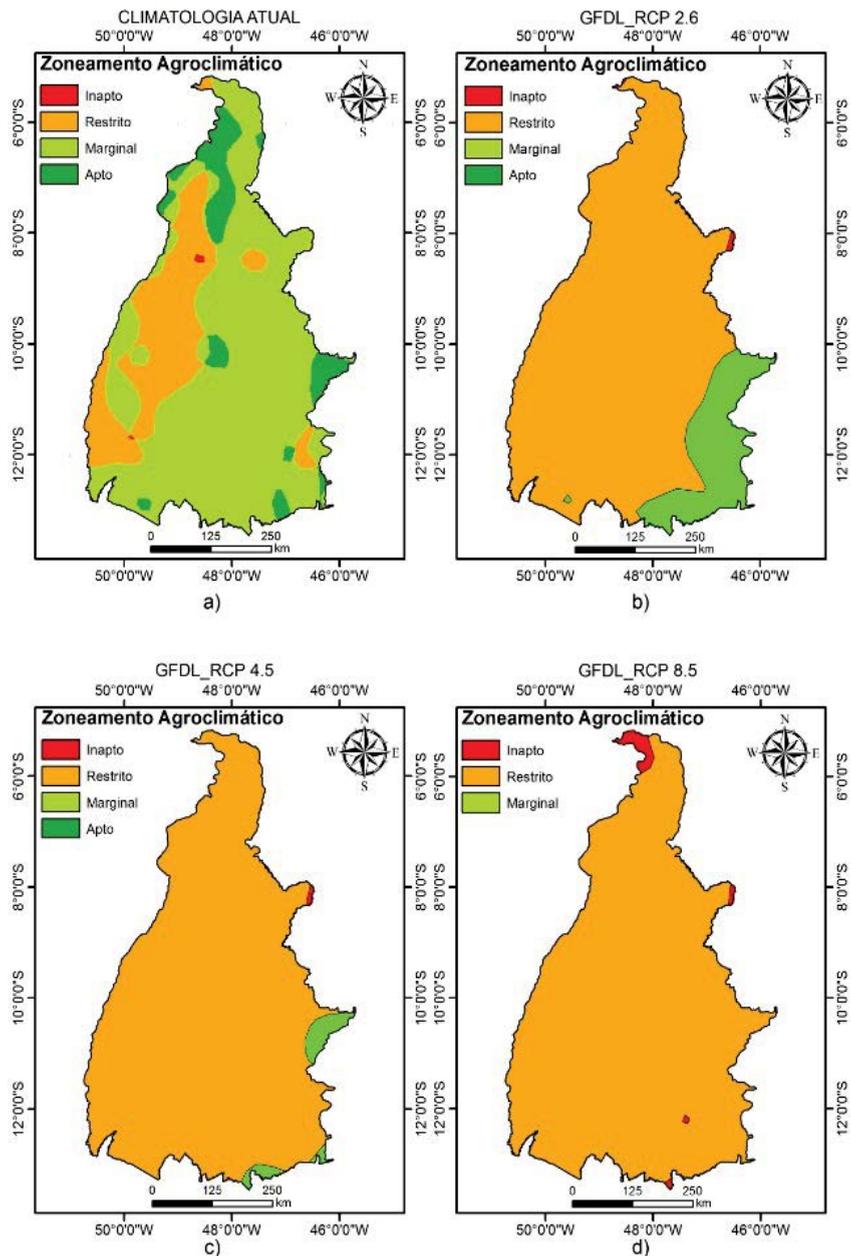
Observa-se na Tabela 1, que as projeções dos cenários de emissões, indicam que poderão influenciar de forma significativa as classes de aptidão de cultivo do eucalipto no Estado.

Tabela 1 - Áreas estimadas (em km² e percentual) no Estado do Tocantins, por cada classe de aptidão de cultivo de *E. urophylla*, com base no clima atual e cenários projetados pelo modelo GFDL

Classes de Aptidão	Climatologia Atual	Cenário RCP 2.6	Cenário RCP 4.5	Cenário RCP 8.5
Área em km ²				
Apta	27.218,89	3.132,8	3.107,3	-
Marginal	181.782,80	38.326,4	9.480,3	4.143,3
Restrita	65.134,19	232.651,7	261.631,9	265.983,6
Inapta	3.584,67	3.609,7	3.501,0	7.593,7
Área em %				
Apta	9,80	1,13	1,12	-
Marginal	65,46	13,80	3,41	1,50
Restrita	23,45	83,77	94,21	95,77
Inapta	1,29	1,30	1,26	2,73

As áreas consideradas 'aptas' ao cultivo do *E. urophylla* na condição do clima atual, corresponde a 27.218,89 ha (9,8% da área do Estado), porém para os cenários RCP 2.6 e RCP 4.5, as áreas aptas reduziriam para apenas 1%, sendo que no cenário mais pessimista (RCP 8.5), não haveria áreas aptas disponíveis ao cultivo da espécie em estudo.

Situação Climática Atual e Cenários Futuros para o cultivo de *Eucalyptus urophylla* - 2041 a 2060



Fonte: Nunes; Collicchio (2016)

Figura 3 - Zoneamento agroclimático para a espécie *E. urophylla* no estado do Tocantins, considerando: a) Climatologia atual, e os resultados do modelo GFDL para os cenários: b) RCP 2.6; c) RCP 4.5; d) RCP 8.5, para o período de 2041 a 2060

Observando-se os mapas da Figura 3a (climatologia atual), constata-se que a grande faixa de área 'apta' ao cultivo, encontra-se predominantemente na Região Imediata de Araguaína, que coincide com as maiores áreas de plantio de eucalipto do Estado, correspondendo a cerca de 54,62% do total cultivado no território, o equivalente a aproximadamente 79.060 ha. Já na Região Intermediária de Gurupi, onde tem-se uma área plantada de eucalipto correspondente a 17,25% do Estado, verifica-se que estão localizadas em áreas de aptidão considerada 'marginal'.

Contudo, considerando os três cenários de emissões, todas essas áreas seriam classificadas como 'restritas', havendo, portanto, dificuldade ou mesmo impossibilidade de cultivo desta espécie nessas regiões, caso os clones comerciais atualmente utilizados não sejam melhorados geneticamente ou mesmo não haja tecnologias adequadas/desenvolvidas para estas novas condições.

Percebe-se a ampliação da classe 'restrita' e conseqüentemente as reduções das áreas das classes 'apta' e 'marginal', para todos os cenários. Conforme pode ser constatado na Tabela 1 e na Figura 3, houve um acréscimo muito significativo da classe de aptidão 'restrita' de 23,45% (clima atual), para 95,77% (Cenário RCP 8.5), o equivalente a um aumento de área de 200.849,41 km².

Nota-se de forma geral que existe uma tendência de redução das áreas 'aptas' e 'marginais' e um incremento significativo das áreas 'restritas' ao cultivo, à medida que os cenários de emissões ficam mais críticos. Resultados semelhantes a estes foram observados por Marcolini (2014) para o híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* no Tocantins.

Depreende-se que na condição da climatologia atual, a espécie *E. urophylla*, quando comparada com o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, estudado por Marcolini (2014), apresenta uma área maior com classe de aptidão classificada como 'apta', demonstrando que este híbrido tem uma restrição natural ao seu cultivo, na maior parte do território, possivelmente devido a maior exigência com relação à disponibilidade hídrica do solo.

4 - Considerações finais

Considerando o cenário climático atual, a maior parte do Estado do Tocantins apresenta de forma geral boas condições agroclimáticas (apta e marginal) para o desenvolvimento do *Eucalyptus urophylla*, porém com grande predominância da classe de aptidão marginal ao cultivo.

Conforme os resultados das simulações do modelo GFDL-CM3 para os cenários futuros, percebe-se que as mudanças climáticas poderão exercer efeitos significativos na aptidão das regiões para o cultivo do *Eucalyptus urophylla*. Isso porque, mesmo diante do cenário de baixa emissão (RCP 2.6 - otimista), haveria uma drástica redução das áreas consideradas aptas e marginais, e conseqüentemente seriam ampliadas expressivamente as áreas com restrições ao cultivo.

Apesar deste estudo evidenciar a possibilidade de ocorrer significativos impactos negativos no cultivo desta espécie de eucalipto no Estado do Tocantins, porém espera-se que essas possíveis mudanças não venham ocorrer de forma abrupta. Isso pode possibilitar a realização de estudos científicos, como a implementação de melhoramento genético e adaptação de clones para condições ambientais mais críticas, além do uso de formas alternativas de manejo da cultura e do solo e o desenvolvimento novas tecnologias que visam a mitigação dos efeitos negativos sobre a cultura.

O uso do zoneamento de aptidão agroclimática pode ser útil no apoio ao planejamento de programas de melhoramento genético e de trabalhos científicos futuros, com o objetivo de desenvolver novos clones, inclusive para as regiões com menor grau de aptidão.

Com vistas a auxiliar no processo de tomada de decisão à implantação de cultivos comerciais de eucalipto, que são importantes do ponto de vista econômico e energético para o Estado, torna-se relevante incentivar a realização de estudos regionais que permitam obter um melhor detalhamento e precisão dos fenômenos estudados.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal do Tocantins – UFT, por meio do Programa de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC e do Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais – LAMAM/UFT.

Referências

BRUNINI, O.; CARVALHO, J. P. de. **Zoneamento agroambiental para o setor florestal**: zoneamento edafoclimático, orientações técnicas e viabilidade de cultivo. Campinas: IAC, 2018, 39p (Série Tecnologia APTA. Boletim técnico IAC, 218).

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA (CIB). **Guia do eucalipto oportunidades para um desenvolvimento sustentável**. São Paulo, 2008.

COLLICCHIO, E. **Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no estado do Tocantins**. 2008, 157 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2008.

DOHLER, R. E.; KLIPPEL, A. H.; XAVIER, A. C.; PIMENTA, L. R.; CASTRO, F. S. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático global para *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.8, n.15, p. 992 - 1000, 2012.

DUARTE, F. A.; COLLICCHIO, E. Desafios e perspectivas do cultivo do eucalipto para fins energéticos no Estado do Tocantins. **Liberato**, Novo Hamburgo, v. 21, n. 35, p. 15-26, jan./jun. 2020. DOI: 10.31514/rliberato.2020v21n35.p15

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. ***Eucalyptus no Brasil***: zoneamento climático e guia para identificação. Piracicaba: IPEF, 2016. 448 p.

FONSECA, S. M.; RESENDE, M. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa: UFV. 2010. 200 p.

GARCIA, L. G.; FERRAZ, S. F. de B.; ALVARES, C. A.; FERRAZ, K. M. P. M. de B.; HIGA, R. C. V. Modelagem da aptidão climática do *Eucalyptus grandis* frente aos cenários de mudanças climáticas no Brasil. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p.503-511, dez. 2014.

HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S. **Zoneamento climático de *Eucalyptus grandis* para a região Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas. 2010. 23 p. (Documentos 209).

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2015**. São Paulo: IBÁ. 77 p. Disponível em: <http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2019.

IBÁ, Instituto Brasileiro de Árvores. **Relatório anual IBÁ 2019**. Brasília: IBÁ, 2019. 80 p. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>> Acesso em: 20 dez. 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da extração vegetal e da silvicultura - PEVS**. Bases de dados. 2017. Rio de Janeiro: IBGE. 2017. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica234/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=45>. Acesso em: 15 maio 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da extração vegetal e da silvicultura - PEVS**. Bases de dados. 2018. Rio de Janeiro: IBGE. 2018. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home>>. Acesso em: 15 dez. 2019.

IPCC. **IPCC WG1 Fourth assessment report**. Paris, 2007. 21p.

IPCC. **Climate Change: the physical science basis – contribution of working group 1 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge / New York: Cambridge University Press, 2013, 1.535p.

LOPES, R. B. S. **Efeito das mudanças do clima no zoneamento agroclimático do *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA**. 2019. 98f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Federal do Tocantins. Palmas. 2019.

MARCOLINI, M. de P. **Efeito das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático para cultura do eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) no estado do Tocantins**. 2014. 101f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Federal do Tocantins. Palmas. 2014.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura. 2000. 114 p

MOURA, V. P. G. **Germoplasma de *Eucalyptus urophylla* no Brasil**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. 2004. 12 p. (Comunicado Técnico 111).

NAPPO, M. E.; NAPPO, A. E.; PAIVA, H. N.; Zoneamento ecológico de pequena escala para nove espécies arbóreas de interesse florestal no estado de Minas Gerais. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, n. 5. 14 p. jan. 2005.

NUNES; D. S.; COLLICCHIO, E. Efeito das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do *Eucalyptus urophylla* no Estado do Tocantins. **Anais... 3**. SEMINÁRIO INTEGRADO DE ENSINO, PESQUISA, EXTENSÃO E CULTURA – UFT; 12. Seminário de Iniciação Científica; 5. Seminário de Programas Especiais em Educação; 5. Seminário de Extensão e Cultura; 6. Seminário PIBID. Gurupi, Araguaína e Palmas, p. 1-6. 2016.

PEREIRA, A. R. Simplificado o balanço hídrico de Thornthwaite – Mather. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 311- 313. 2005.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JR, J.; EVANGELISTA, S. R. M.; OTAVIAN, A. F.; AVILA, A. M. H. de; EVANGELISTA, B. A.; MARIN, F. R.; MACEDO JR, C.; PELLEGRINO, G. Q.; COLTRI, P. P.; CORAL, G. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. 2 ed. Campinas: Embrapa, 2008. 84p.

RIBEIRO, C. A. D. **Delimitação de zonas agroclimáticas para cultura do eucalipto no norte do Espírito Santo e sul da Bahia**. Alegre: Universidade Federal do Espírito Santo – Centro de Ciências Agrárias. 2009. 105 p.

RODY, Y. P.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. E. M.; RIBEIRO, A.; ALMEIDA, A. Q. de. Influencia del cambio climático en los escenarios del futuro sobre plantaciones de eucalipto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 470-477, jul-set, 2012.

SILVA, J. de C.; CASTRO, V. R. de; XAVIER, B. A. **Eucalipto**: cartilha do fazendeiro florestal. 2. ed. Viçosa: Ed. Viçosa. 2008. 44p.

SNIF. Sistema Nacional de Informações Florestais. **Recursos Florestais. 2015**. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>>. Acesso: 13 mar. 2019.

SOUZA, O. M. M.; COLLICCHIO, E.; PEREIRA, E. Q.; AZEVEDO, M. I. R. Zoneamento para *Eucalyptus urograndis* no Estado do Tocantins. **Anais... 5**. SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL. Campo Grande, p. 231-239. 2014.

SPERANDIO, H. V.; CAMPANHARO, W. A.; CECILIO, R. A.; NAPPO, M. E. Zoneamento agroecológico para espécies de eucalipto no Estado do Espírito Santo. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia. v. 11, n. 34. p. 203 - 216. jun. 2010.

Implicações das Mudanças do Clima no Zoneamento de Aptidão Agroclimática da Dendeicultura no Estado no Tocantins

André de Moura Andrade¹ e Rodrigo Barbosa Sellos Lopes¹

¹Engenheiro Ambiental, Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins - SEMARH

1 - Introdução

A taxa de urbanização e seu reflexo na industrialização aumenta significativamente a pegada de carbono global, devido às emissões dos gases de efeito estufa (GEE), agentes precursores das mudanças climáticas (IPCC, 2014).

As demandas de infraestrutura e conseqüentemente energéticas, são ampliadas provavelmente como consequência do modelo econômico liberal de dependência de um recurso em escassez (o petróleo), e também devido aos acréscimos populacionais. O estímulo e a percepção mercadológica da utilização de recursos renováveis, em destaque as culturas de oleaginosas na geração de energia, a bioenergia, formou-se como uma solução ecologicamente viável ao contentamento deste alto padrão de requerimento energético de forma segura (SERATTO; MICHELLON, 2009).

Nesse contexto, a cultura do dendê (*Elaeis guineenses* Jacq) possui grande importância no patamar do desenvolvimento sustentável, e na redução de emissão de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Isto ocorre pela vinculação deste GEE em dois reservatórios de CO₂, sendo um durante a produção e o outro na utilização do óleo de Palma, ou seja, pela fixação biológica da cultura durante o seu desenvolvimento e pelo uso alternativo de seus insumos em biocombustíveis, em contraposição ou redução do uso de combustíveis fósseis. Isto, desde que sua complexa rede de atividades seja estrategicamente dimensionada para este fim, por meio do aproveitamento de seus resíduos (CASSOL *et al.*, 2016).

Além deste caminho vantajoso, o alto teor de óleo nos frutos, variando entre 55% a 58% (LIMA *et al.*, 2002), cujo desempenho agrícola médio corresponde a 5 t.ha⁻¹ de óleo, em comparação a cultura da soja que é de cerca de 0,5 t.ha⁻¹, remete a uma forte predisposição econômica ao seu manejo (BENTES; HOMMA, 2016).

O dendê é uma monocotiledônea da família Arecaceae, sendo geneticamente também diferenciado pelo intercruzamento de espécies para expressar diferentes espessuras do endocarpo de seu fruto, que tem uma geometria elipsoidal, possuindo em média 5 cm de comprimento. Esta variação fenotípica que o classifica como Psífera, Tenera ou Dura e ressalta sua utilização comercial para determinadas atividades industriais, no processamento de subprodutos alimentícios derivados de sua polpa, de cosméticos e farmacêuticos advindos de sua amêndoa e na aplicação em biocombustíveis sólidos e líquidos (FEROLDI; CREMONEZ; ESTEVAM, 2014). A planta é monóica, e por esta razão suas inflorescências masculinas e femininas são passíveis de serem correlacionadas aos eventos de chuva e estiagem. Sua raiz é fasciculada e assim encontrada em solos profundos de textura argilosa e de condições edafoclimáticas particulares de extensa parte da Amazônia Legal e em toda faixa equatorial do planeta (BORGES; COLLICCHIO; CAMPOS, 2016).

Segundo o Departamento de Agricultura Norte Americano – USDA (2018), na última atualização de seu anuário de produção, distribuição e valoração de oleaginosas, a dendecultura alavancou índices expressivos na demanda agroenergética mundial. Em 2019, foram produzidas aproximadamente 204 milhões de toneladas métricas (TM) de óleos vegetais, dos quais cerca de 36% pertenciam ao sistema produtivo do dendê, enquanto 28% de óleo de soja. Entre os países produtores, observa-se a Indonésia que obteve produções mais significativas ao longo da última década. Em 2018 este país produziu 41,5 milhões de TM, sendo responsável por 56% do que foi produzido mundialmente. A Indonésia, a Malásia e a Guatemala são os maiores exportadores do azeite, com percentuais de 56%, 33% e 1,55% da exportação mundial, respectivamente. O Brasil é o décimo na produção mundial, produzindo em 2018, especialmente no Estado do Pará, 525 mil TM e exportando apenas 20 mil TM.

A dendecultura desenvolvida no Pará, tem como prática para seu fomento a integração de agrupamentos familiares com grandes alicerces institucionais, agroindústrias como a Agropalma. A objetivação deste vínculo está na interação destes pequenos produtores com as tecnologias mais adequadas aos rendimentos e qualidades demandadas pelo mercado nacional, conforme objetiva o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) de dezembro de 2004. Além deste programa, vários outros instrumentos foram criados para inclusão social a partir desta atividade, como por exemplo a Lei nº 5.297 de 06 de dezembro de 2004, que institui o Selo Combustível Social ao produtor de biodiesel que adquirir matéria prima advinda da agricultura familiar (CARVALHO; POTENGY; KATO, 2007).

Entretanto Silva; Alves (2017) relatam por meio de uma pesquisa de revisão sistemática de literatura, que vários autores discordam desta prerrogativa de

sustentabilidade nesse pólo nacional de comercialização do dendê, caracterizando por vezes, como um mecanismo contratual de beneficiamento apenas da empresa, que desestimula o agricultor a diversificar suas atividades, além da geração empréstimos altos. Este fator é chamado por Ferreira *et al.* (2016) de governança de cadeia produtiva e atribuído como a maior causa de prejuízo à dinâmica da comunidade local do Baixo do Tocantins. Embora tenha ocorrido ganhos ambientais com a incorporação deste monocultivo (recuperação de pastagens degradadas, desestímulo a queimadas e dentre outras práticas inapropriadas), houve um grande abandono pela produção de alimentos, em especial a mandioca, em torno de 24% dos produtores, e de outras culturas anuais como milho e feijão, basicamente em razão da procura das unidades familiares por trabalho assalariado, assim ofertado pela Agropalma. O trabalho assim ressalva que a diversidade no sistema de produção é a única possibilidade de geração de renda mínima às necessidades básicas destas famílias (SILVA; ALVES, 2018).

De acordo com o Plano Estadual de Baixa Emissão de Carbono (ABC/TO), o Tocantins possui praticamente 70% de suas pastagens comprometidas, em algum estágio de degradação, consoante a uma insuficiência na assistência técnica de tecnologias convencionais, que é de extrema valia no norte paraense para a consolidação do cultivo de dendê. Este percentual de áreas impactadas pelas pastagens é um potencial de exploração para a cultura do dendê, que normalmente está associada a recuperação ambiental destas frações de usos do solo. Como complemento, o referido planejamento estadual caracteriza em seu parecer diagnóstico outras potencialidades para o manejo desta espécie e outras várias culturas, como a irradiação solar, a pedologia e outras variáveis ambientais, governamentais, e econômicas que tem alavancado esta região no cenário nacional do agronegócio (BRASIL, 2013).

Contudo, a precipitação que é um destes condicionantes físicos naturais, tem-se demonstrado ser um fator crítico relevante. Dadas as exigências hídricas da planta e as restrições pluviométricas da unidade federativa, infelizmente espera-se que o território tocantinense seja agraciado de poucas áreas com aptidões regulares ao dendê.

O regime de chuvas é até então um dos maiores gargalos ao seu plantio de acordo com Costa *et al.* (2018). Por meio de uma experimentação e revisão de literatura, esses autores demonstraram a alta correlação negativa da produção de fotoassimilados na fabricação do óleo da palma e o estresse hídrico da planta. Esta peculiaridade pode ser revertida em função do melhoramento genético e/ou por métodos de irrigação (COSTA *et al.*, 2018).

Em virtude disso, é essencial a construção de um zoneamento climático regional para esta cultura em específico, visando identificar a existência de áreas com aptidão potencialmente favoráveis, para que atraiam investimentos

econômicos, considerando os aspectos ambientais e sociais, a fim de viabilizar o desenvolvimento desta oleaginosa na região (RAMALHO-FILHO *et al.*, 2008).

Comprovar ou desmitificar a viabilidade de implementação desta cultura, utilizando-se de variáveis ambientais em um cenário presente, tendencial e futuro, é de fundamental relevância para que ocorra investimentos no agronegócio no contexto regional.

Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo e determinar geograficamente as regiões com potencialidades e fragilidades do sistema de produção de dendê, face às mudanças do clima, a partir de cenários futuros de modelos regionais climáticos.

2 - Procedimentos metodológicos

Com o intuito de delinear espacialmente as regiões climáticas mais favoráveis ao desempenho em produção do dendê no limite estadual tocantinense, realizou-se o balanço hídrico climatológico, onde foram amostrados os dados climáticos (precipitação e temperaturas médias mensais) de 110 estações meteorológicas/pluviométricas localizadas no Estado e seu entorno. Esses dados foram obtidos para o período entre os anos de 1982 e 2000, totalizando séries mensais de 18 anos tratadas e organizadas apropriadamente em um banco de dados geográficos. Esta organização se deu efetivamente pelo mapeamento destas variáveis por intermédio de um interpolador de superfície, o *Spline* de Tensão e Regularização, cujo objetivo é a suavização da representação dos atributos (neste caso, referentes ao clima) na curvatura terrestre.

Para a obtenção das disponibilidades hídricas regionais atuais, foi efetuado o balanço hídrico climatológico segundo o método de Thornthwaite-Mather (1955), com auxílio de um programa desenvolvido em *Python*, que usa de bibliotecas do Sistema de Informações Geográficas, GRASS GIS, otimizado por Victoria *et al.* (2007).

De acordo com o preconizado pela Embrapa (2010), construiu-se a estrutura de classificação da aptidão agroclimática para a cultura do dendê, considerando as suas necessidades de temperatura e hídricas (Tabela 1).

A Embrapa (2010) destaca que, o dendê tem seus requisitos ecofisiológicos atendidos dentro de uma faixa de temperatura média anual de 25°C a 28°C e de deficiência hídrica anual, inferior a 200 mm. Nesse sentido, as regiões com valores não compreendidos nesta faixa termal, são consideradas inaptas ao cultivo desta oleaginosa, independentemente das demais variáveis avaliadas. As áreas que possuem deficiência hídrica média anual acima de 450 mm, também estarão em condição de inaptidão.

As demais associações de intervalos de temperatura média anual (T_a) e de deficiência hídrica média anual (D_a), que compõem a estrutura classificatória de aptidão agroclimática do dendê, podem ser visualizados segundo os critérios destacados na Tabela 1.

Tabela 1 – Estrutura classificatória de aptidão agroclimática da cultura do dendê

Temperatura média anual (T_a)	Deficiência hídrica média anual (D_a)	Classes de Aptidão
Apta ($25^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 28^{\circ}\text{C}$)	$D_a < 200$ mm	Preferencial
	$D_a \geq 200$ e $D_a < 350$ mm	Regular
	$D_a \geq 350$ e $D_a \leq 450$ mm	Marginal
	$D_a > 450$ mm	Inapta
Inapta ($< 25^{\circ}\text{C}$ e/ou $> 28^{\circ}\text{C}$)	$D_a < 200$ mm	Inapta
	$D_a \geq 200$ e $D_a < 350$ mm	
	$D_a \geq 350$ e $D_a \leq 450$ mm	
	$D_a > 450$ mm	

Fonte: Adaptado da Embrapa (2010)

Em busca de verificar os possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre as áreas de aptidão agrícola da dendeicultura no estado do Tocantins, ao longo do presente século, foram coletadas as informações das mesmas variáveis anteriormente citadas, entretanto simuladas pelo modelo Eta MIROC5 para dois cenários de emissões e considerando três intervalos de tempo distintos (2006 a 2040, 2040 a 2070 e 2070 a 2099).

Esses cenários são chamados de Caminhos Representativos de Concentração, em inglês Representative Concentration Pathways (RCP), e no presente estudo, considerou-se os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. No cenário RCP 4.5, as taxas de emissão de gases de efeito estufa (GEEs) esperadas, são consideradas de médias concentrações, conquanto para o RCP 8.5, projeta-se significativas concentrações de GEE na atmosfera, descaracterizando qualquer inserção ou execução de planejamento estratégico e socioeconômico para fins de gestão de riscos climáticos (IPCC, 2014).

Estas condicionantes climáticas, chuvas e temperaturas médias mensais do modelo para estes diferentes cenários, são disponibilizadas em extensão NetCDF no Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este projeto disponibiliza em sua plataforma, os referidos dados dos modelos climáticos regionais (MCR) Eta HadGEM2 e Eta MIROC5, ambos derivados do procedimento de downscaling dos modelos climáticos globais (MCG), HadGEM2 (Hadley Centre Global Environmental Model version 2 Earth System) e MIROC5 (Model for Interdisciplinary Research on Climate).

Este procedimento visa a incorporação do efeito do relevo sob as variações dos caracteres climáticos encontrados nos MCGs, em especial a temperatura. Também o mesmo método, assiste no detalhamento da resolução espacial, e como exemplo, cita-se o MIROC5, que possui 150 km de resolução, todavia a sua composição regional (RCM) é de 20 km (SOUSA, 2018).

Após a amostragem destes atributos regionalizados e contemplados em série de médias mensais na extensão NetCDF, procedeu-se a correção destes valores simulados, trazendo-os em medidas de dispersão aceitáveis, próximas estatisticamente dos valores reais de clima atual amostrado. Estes métodos de correção foram realizados por uma série de algoritmos criados em linguagem *Python*, utilizando uma biblioteca gratuita (NetCDF4) para manipulação destes valores multidimensionais (séries temporais de chuvas e temperaturas médias mensais). O método de correção utilizado para os dados de chuvas simulados foi o de Direct Change Approach, de aplicação direta, retirado de Lenderink *et al.* (2007), onde os valores simulados de qualquer período são multiplicados por um fator de correção. Este fator é a razão entre as precipitações médias mensais observadas (P_{Obs}) e simuladas (P_{Sim}) na baseline (intervalo da série observada) (OLIVEIRA; PEDROLLO; CASTRO, 2015), conforme apresentado na Equação 1.

$$P_{cor} = P_{sim(j,k)} \cdot \left[\frac{P_{Obs(j)}}{P_{Sim(j)}} \right] \quad \text{Equação 1}$$

O método utilizado para a aproximação da realidade climatológica computada nas estações meteorológicas das médias mensais de temperatura simuladas, também é direto e adaptado de Lenderink *et al.* (2007), cujos autores fizeram uso desta correção de viés (bias correction) em médias decendiais. O mesmo, representado pela Equação 2, consiste na soma das temperaturas simuladas de mês "j" e de ano "k" ($T_{sim}(j; k)$), a um delta de aproximação, este último composto pelas diferenças entre as médias mensais das temperaturas observadas ($T_{Obs}(jj)$) e simuladas "j" ($T_{sim}(jj)$) (OLIVEIRA; PEDROLLO; CASTRO, 2015).

$$T_{cor} = T_{sim(j,k)} + \left[\overline{T_{Obs(j)}} - \overline{T_{sim(j)}} \right] \quad \text{Equação 2}$$

Com os mapeamentos dos parâmetros climáticos mensais corrigidos, foram calculadas as médias das precipitações e temperatura para cada horizonte de tempo, dados exigíveis para o balanço hídrico da cultura, considerando uma capacidade de água disponível (CAD) em torno de 125 mm. Os intervalos de anos escolhidos foram de 2006 à 2040, de 2040 à 2070 e de 2070 à 2099 para as duas forçantes (RCPs) relatadas (RCP 4.5 e RCP 8.5), do modelo Eta MIROC5. Obteve-se os valores de evapotranspiração potencial, dentre outros parâmetros executando-se o procedimento do cruzamento do mapa de deficiência hídrica anual (Da) e da

temperatura média anual (Ta), com o objetivo de verificar as limitações da cultura expressas pela Tabela 1, nos espaços de tempos mencionados para a cultura do dendê.

3 - Resultados e Discussão

De acordo com a Embrapa (2010), não haveria restrição com relação à temperatura para o cultivo do dendê no Tocantins.

A nível de clima atual, o Estado tem predominantemente aptidão agrícola marginal para o dendê, de acordo com a Figura 1, que discretiza as áreas mais adequadas ao desenvolvimento deste sistema de produção.

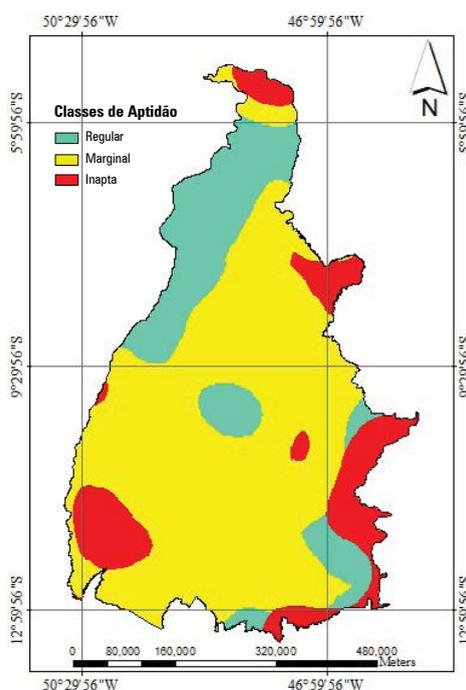


Figura 1 - Zoneamento agroclimático do dendê para o estado do Tocantins, considerando a climatologia atual

Tabela 2 – Áreas de aptidão da dendeicultura no estado do Tocantins (Clima atual)

Estrutura Classificatória de Aptidão	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Regular	56.563,11	19,94
Marginal	186.423,93	65,72
Inapta	40.655,52	14,33
Total	283.642,56	100,00

O Tocantins, de acordo com a Tabela 2, não possuiria atualmente, áreas com classe de aptidão 'Preferencial' para o desenvolvimento pleno do dendê.

O mesmo acontece para todos os cenários do modelo Eta MIROC5, em correspondência com o demonstrado à frente. Logo, o Tocantins não possui ambientes naturais com segurança em produtividade para o plantio do dendê no presente e no futuro. Todos os municípios do Estado, deverão ser afetados negativamente com relação ao rendimento desta cultura, em função das restrições climáticas. Ressalta-se que esta conjectura atual ratifica a percepção de Ramalho Filho *et al.* (2008), de que o Tocantins no contexto da Amazônia Legal é praticamente inapto à esta espécie.

Vislumbra-se que após estudos mais detalhados, a região noroeste, agraciada pelo bioma Amazônia, bem como a centro sul e uma pequena faixa do sudeste do Estado (Figura 1), podem ser indicadas para possível implantação da cultura. Contudo, deve-se considerar a disponibilidade de recursos hídricos nessas regiões, caso haja necessidade de irrigação e/ou planejar medidas mitigadoras da deficiência hídrica, que pode impactar nas produções, uma vez que se encontram num intervalo de 200 a 350 mm. Essas áreas, de acordo com o zoneamento agroclimático para o clima atual, estão classificadas como de aptidão 'Regular', equivalendo a quase 20% do território tocantinense, sendo que desse total, cerca de 13,6% (38.462 km²), corresponde à área inclusa no ambiente amazônico. Uma condição favorável ao investimento no cultivo do dendê nessa região específica, é de cunho ambiental, posto que a região do Bico do Papagaio foi diagnosticada pelo Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento do Estado do Tocantins no ano de 2002, como de maior recorrência de áreas desmatadas. Isto se deve ao fenômeno de pecuarização, aqui resumidamente descrito como a conversão das coberturas vegetais em áreas de pastagem por ausência de assistência técnica agrícola. Esta prática agrícola de subsistência foi impulsionada pela implementação de grandes programas de incentivo aos produtores, como o Programa Grande Carajás e pela ampliação de linhas de créditos. Deste modo esta parcela territorial do Norte demanda por iniciativas de reflorestamento, o que intensifica a possibilidade de uso dessa cultura perene (TOCANTINS, 2009).

Os municípios que compõem a zona de aptidão 'Regular' situada na faixa noroeste do Estado, no sentido de norte a sul, são: Ananás, Riachinho, Xambioá, Piraquê, Araguañã, Aragominas, Muricilândia, Santa Fé do Araguaia, Araguaína e dentre outros municípios até o sul desta zona, composto também por Bernardo Sayão, Juarina, Pequizeiro, Couto de Magalhães e Araguacema, localizado no extremo sul.

Observou-se também a classe de aptidão 'Regular', na região central do Tocantins, englobando a porção norte do município de Porto Nacional, o centro e sul de Miracema do Tocantins, Lajeado e em boa parte da capital tocantinense, Palmas.

Constatou-se ainda para esta mesma classe de aptidão, uma pequena área à leste do Estado, localizada em parte do município de Mateiros (Região do Jalapão) e em mais duas áreas descontínuas situadas na região sudeste do Tocantins (Figura 1).

Estas faixas condizem com a marginalidade atribuída no mapeamento de Ramalho Filho *et al.* (2008), que, no entanto, considerou inaptas todas as demais regiões desta unidade política, por meio da mesma modelagem climatológica.

A maioria do território tocantinense (65,72%), com predomínio do bioma Cerrado, apresenta classe de aptidão 'Marginal' ao cultivo do dendê (Figura 1 e Tabela 2). Nesse contexto, só haveria espaço para crescimento desta cadeia produtiva, caso viesse ocorrer grande estímulo social e econômico que justificassem a sua efetivação. Contudo, seria necessário a realização de estudos de viabilidade econômica, para cada região potencial de interesse, devido aos custos elevados de implantação e produção, para possível atingimento de uma produtividade viável. Isso porque, a área de aptidão dessa região, necessitaria de irrigação, uma vez que o zoneamento agroclimático considera o desenvolvimento da cultura, sob condições de sequeiro.

Conforme a Tabela 2 os critérios de classificação térmica e o hídrico inviabilizariam cerca de 14,33% do Estado, para a dendeicultura. Nota-se pela Figura 1, que um dos pólos agroindustriais estaduais reconhecidos, especialmente pela produção de soja, o município de Campos Lindos, é considerado como uma zona 'Inapta' para o crescimento vegetativo adequado desta palmácea. Juntamente com outras áreas de cultivo do Estado, como o Formoso do Araguaia e uma pequena parte de Ponte Alta do Tocantins (8%), esta inaptidão caracteriza-se pela baixa disponibilidade hídrica. Verificou-se ainda, uma área 'Inapta' no extremo norte do Estado, na Região do Bico do Papagaio.

Identificou também, áreas de terras no sudeste/sul do Estado, consideradas 'inaptas' ao investimento agroindustrial para a espécie estudada (Figura 1), apesar da deficiência hídrica estimada ser relativamente baixa (entre 200 e 250 mm). Logo a disponibilidade hídrica é considerada regular, de acordo com a Tabela 1, porém a temperatura nesta região, é um preponderante climático restritivo, posto que a mesma está imediatamente abaixo do intervalo ótimo de temperaturas para o bom desempenho da cultura (com temperatura média menor do que 25°C). Por conseguinte, esta partição geográfica que corresponde a 6,3%, é 'Inapta' ao desenvolvimento sustentável da cultura, como relatado por Ferreira *et al.* (2016).

Apenas no zoneamento agroclimático referente ao clima atual, ocorreu esta singularidade, em que uma região é 'Inapta' em consequência do critério de temperatura, mesmo tendo aptidão regular para a disponibilidade hídrica.

Nos demais zoneamentos elaborados para esta cultura, referentes aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, para todos os horizontes temporais futuros, verifica-se que as áreas com inaptidão no Estado, é justificada conjuntamente pelos parâmetros climáticos estudados. Ou seja, as zonas de restrições hídricas, tendem a estarem associadas com temperaturas acima do estabelecido pela Tabela 1.

Segundo a projeção efetuada com os métodos de correção utilizados, para os dois cenários, sendo um de evolução tendencial de taxas de lançamento esperadas de gases de efeito estufa - GEE (RCP 4.5) e o outro em que se prevalecerá a elevada emissão (RCP 8.5), nota-se que os zoneamentos foram influenciados por alterações significativas em relação às zonas agroclimáticas atuais definidas para o dendê, durante o século XXI (Figuras 1 e 2).

As áreas com aptidão 'Regular' deixarão de existir no cenário tendencial (RCP 4.5), já no zoneamento projetado para as médias anuais dos anos de 2040 a 2070 (Figura 2-c). Na primeira metade do século de 2006 a 2040 (Figura 2-a), somente 3,5% do território estadual terá aptidão 'Regular' ao desenvolvimento do dendê, segundo o modelo Eta MIROC5.

Tabela 3 - Áreas de aptidão agrícola (em km²) para a dendeicultura nos diferentes cenários (RCP 4.5 e RCP 8.5) e períodos de tempo, do Modelo Eta MIROC5

Classes de aptidão	RCP 4.5			RCP 8.5		
	2006 a 2040	2040 a 2070	2070 a 2099	2006 a 2040	2040 a 2070	2070 a 2099
Regular	9907,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Marginal	119299,23	33634,44	3525,12	44370,18	0,00	0,00
Inapta	154435,41	250008,12	280117,44	239272,38	283642,56	283642,56

Áreas estimadas pelo SIG

Para este cenário, RCP 4.5, parte do município de Xambioá do Tocantins e Araguañã (localizados no norte do Estado) e Campos Lindos (porção nordeste), não se tornarão inaptos para o desenvolvimento da cultura ao longo dos anos. Contudo, as transformações no clima afetarão substancialmente em sua aptidão agrícola. Para o cenário RCP 8.5 (pessimista), todo o Tocantins, incluindo o norte do Estado, já na metade do século (2040 a 2070), será inapto para o plantio (Figura 2-d), sendo que as temperaturas médias anuais serão superiores a 30°C no final do século (2070 a 2099), levando à inaptidão termal associada a elevada deficiência hídrica (Figura 2-f).

Com este comportamento de moderada mudança climática estima-se que a temperatura média anual de Xambioá irá de 25°C, dado observado, a 27°C, média simulada para os últimos 30 anos do século (2070 a 2099) e sua precipitação média anual observada irá diminuir em 270 mm em relação à média do mesmo período.

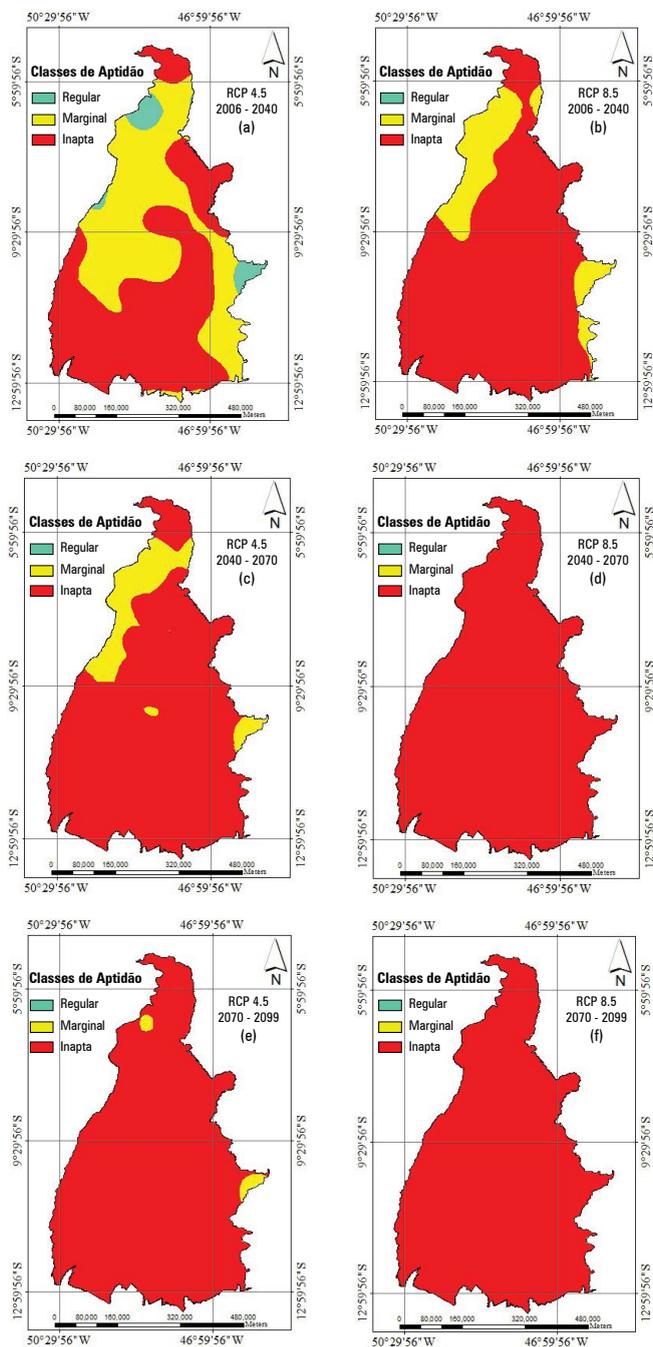


Figura 2 - Zoneamentos agroclimáticos para diferentes cenários e períodos: Cenário RCP 4.5 de 2006 à 2040 (a), RCP 4.5 de 2040 à 2070 (c) e RCP 4.5 de 2070 à 2099 (e); Cenário RCP 8.5 de 2006 à 2040 (b), RCP 8.5 de 2040 à 2070 (d) e RCP 8.5 de 2070 à 2099 (f)

Esta variação de temperatura e precipitação prevê mudança de aptidão 'Regular', Figura 2-a, para 'Marginal' em uma parcela significativa desta localidade, Figura 2-e.

Supondo-se um cenário de previsibilidade de avanço socioeconômico precário no enfrentamento aos riscos climáticos, com atuação de altas emissões de poluentes atmosféricos, RCP 8.5 (IPCC, 2014), a temperatura aumentará 4°C e a precipitação diminuirá 479 mm da normal observada para a média dos últimos trinta anos simulados, neste município. Esta configuração faz com que o município de Xambioá venha a ter aptidão agroclimática marginal no clima de 2006 a 2040, inaptidão por deficiência hídrica entre 2040 e 2070 e inaptidão hídrica e termal entre 2070 e 2099. Percebe-se conclusivamente que esta região terá uma transição gradual de suas aptidões agrícolas durante o século, nos dois cenários de emissão, o que estabelece aos investidores/produtores maior adaptabilidade do que alguns outros contextos regionais descritos adiante. O mesmo comportamento pode ser notado mais claramente pela Figura 2 para o município de Campos Lindos, que deixará de ser regular para marginal entre as figuras 2-b e 2-d e transitará de marginal para inaptidão entre as figuras 2-d e 2-f.

A maior alteração na precipitação observada na análise situacional RCP 4.5 foi para o município de Paraíso do Tocantins (centro do Estado), que possuía em parte certa regularidade para dendeicultura entre 2006 e 2040, com uma diminuição de 470 mm e um aumento de temperatura de 2,1°C até o final do período estimado pelo modelo climático. Condições que favorecerão o aumento do déficit hídrico e consequente mudanças excepcionais conforme o diagnosticado no zoneamento futuro desta municipalidade pelas figuras 2-a, 2-c e 2-e. A mesma torna-se inapta na metade do século pelas duas variáveis classificatórias escolhidas, a temperatura e a deficiência hídrica anual. Entre os anos de 2070 e 2099 todas as entidades referidas como regulares no centro do Estado no zoneamento atual hão de se tornar inaptas.

Para a forçante RCP 8.5 do modelo, esta mesma unidade administrativa municipal será visualizada a curto prazo (2006 a 2040) e a médio prazo (2040 a 2070) como 'inapta', no entanto sairá primeiramente de uma restrição hídrica para depois ser considerada 'inapta' nos dois critérios mencionados. Esta visão pode ter delineado uma modificação amena em comparação com o cenário anterior, porém em média as chuvas anuais decairão 657 mm e a temperatura aumentará em 4,0°C a longo prazo (final do século), em relação ao zoneamento agroclimático atual. Posto isto, este caminho futuro prospecta um decréscimo de 200 mm na precipitação e um aumento de praticamente 2,0°C na temperatura, em relação ao cenário RCP 4.5.

Para o primeiro horizonte temporal estudado (2006 a 2040), as áreas 'marginais' terão um decréscimo de 64,0% e 23,8% em relação ao zoneamento agroclimático (climatologia atual) para os cenários RCP 4.5 e 8.5, respectivamente.

Estas taxas decrescentes entre as simulações, aumentam de 71,8% deste primeiro horizonte para a segunda normal climatológica (2006 e 2040) e 89,5% do segundo para o terceiro horizonte temporal (2070 a 2099) no primeiro cenário (RCP 4.5).

Concomitantemente, observou-se que ocorrerão acréscimos percentuais de áreas 'inaptas' de 279,86% (do clima atual para a Figura 2-a), de cerca de 61,88% (da Figura 2-a para a Figura 2-c) e de 12,04% (da Figura 2-c para a Figura 2-e).

Tabela 4 - Dinâmica das mudanças de classes de aptidão agroclimática do dendê no estado do Tocantins (em %), para os diferentes cenários de mudanças climáticas, considerando os períodos analisados

Dinâmica de aptidões agrícolas	RCP 4.5		RCP 8.5	
	Dinâmica 1 ^a	Dinâmica 2 ^b	Dinâmica 1 ^a	Dinâmica 2 ^b
Inapta para Inapta	54,38	88,08	84,29	100,00
Marginal para Inapta	33,62	10,67	15,71	0,00
Marginal para Marginal	8,49	1,25	0,00	0,00
Regular para Marginal	3,43	0,00	0,00	0,00
Regular para Inapta	0,07	0,00	0,00	0,00

^aDinâmica 1 - Percentuais de mudanças observadas entre os zoneamentos de curto prazo (2006 a 2040) e de médio prazo (2040 a 2070)

^bDinâmica 2 - Percentuais de mudanças observadas entre os zoneamentos de médio prazo (2040 a 2070) e de longo prazo (2070 a 2099)

No segundo cenário (RCP 8.5), a classe 'Marginal' deixará de existir a médio prazo, ou seja, entre os anos de 2040 e 2070 (Figura 2-d).

Para o Tocantins as mudanças de temperatura foram dinamicamente mais expressivas, posto os acréscimos de áreas 'inaptas' em função dessa variável limitante de 488,54% (do clima atual para a Figura 2-b), e de 18.54% (da Figura 2-b para a Figura 2-d), o que tematiza todo o Estado como impróprio para o plantio do dendê logo na segunda metade do século.

Este aumento acentuado de áreas 'inaptas', especialmente entre os zoneamentos simulados de 2006 a 2040 e o de 2040 a 2070, é um indicativo de que algumas das áreas do território não sofrerão depreciações graduais em suas classificações de aptidões agrícolas para o dendê.

Foram constadas regiões com transições futuras abruptas entre estas duas simulações, como os 33,62% do Estado (Tabela 4), que passará da classe de aptidão 'marginal' para 'inapta', conforme mostradas nas simulações da Figura 2 do cenário RCP 4.5.

Para RCP 8.5, este percentual foi de 15,71%, como apresentado na Tabela 4, ou seja, ressalta-se que esta parcela de potencialidade de utilização agrícola terá maior vulnerabilidade em relação às demais áreas, embora aqui não valorada devidamente como um indicador climático ou ambiental.

4 - Considerações finais

Embora o Tocantins não apresente no zoneamento agroclimático para a cultura do dendê considerando o clima atual, áreas preferenciais para plantio, o mesmo tem características favoráveis (classe de aptidão 'regular') para sua implantação especialmente, na região caracterizado como bioma Amazônia, localizado na porção nordeste do Estado. Nesta região, poderia ocorrer a promoção de estratégias públicas governamentais para recuperação das grandes extensões de áreas desmatadas, utilizando-se deste sistema de produção como forma de desenvolvimento regional e sustentável e por ser de abrangência social.

Contudo, este estudo aponta para uma tendência imediata e futura de inaptidão agrícola para a dendeicultura. Em ambos os cenários analisados (RCP 4.5 e RCP 8.5), foram compiladas regiões com maior dinamismo de transição de classes de aptidão agrícola ao longo do século, sugerindo instâncias de vulnerabilidade climática. Como exemplo, destaca-se que cerca de 33,62% do território estadual, deverá passar da classe de aptidão 'marginal' para a inaptidão agrícola, da primeira para a segunda metade do século, referentes aos períodos 2006 a 2040 e 2040 a 2070, respectivamente.

O presente zoneamento agroclimático e seus respectivos cenários tendencial e pessimista, não levaram em consideração outro critério de atendimento ecofisiológico explorado pela Embrapa na estrutura classificatória do dendê, que refere-se ao parâmetro de secas consecutivas. Como foi gerado um mapeamento das médias de precipitações anuais observadas, notou-se que para mais de três meses de seca consecutivos, 74% do Estado tornar-se-ia 'inapto', com exceção de grande parte da região norte e faixas de terra com aptidão 'regular' e 'marginal' do zoneamento agroclimático para a situação atual. Estes meses de seca, são percebidos, quando considera-se uma precipitação média mensal inferior a 50 mm. Em todos os cenários do modelo Eta MIROC5 e em todos os horizontes temporais trabalhados, verificou-se que em todo o território do Tocantins, haverá mais de três meses de secas consecutivas.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins – PPGA/UFT e ao Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais – LAMAM/UFT.

Referências

BENTES, E. S.; HOMMA, A. K. O. **Importação e exportação de óleo e palmiste de dendezeiro no Brasil (2010–2015)**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

BORGES, A. J.; COLLICCHIO, E.; CAMPOS, G. A. A cultura da palma de óleo (*Elaeis guineenses Jacq.*) no Brasil e no mundo: aspectos agrônômicos e tecnológicos: uma revisão. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 17, n. 27, p.65-77, jun. 2016.

BRASIL. Superintendência Federal da Agricultura no Estado do Tocantins, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Org.). **Plano estadual de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura**. Palmas: SFA/TO, 2013. 29 p.

CARVALHO, R. L. D.; POTENGY, G. F.; KATO, K. PNPB e sistemas produtivos da agricultura familiar no Semi-árido: oportunidades e limites. In: VII CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO. **Anais...**Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, 2007.

CASSOL, H. L. G.; MELO, L. C.; MENDES, F. S.; FONSECA, R.; SANQUETTA, C. R. Redução de emissões de CO₂ pela produção de biocombustíveis a partir de óleo de dendê na Amazônia brasileira. **Rev. Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 1, p.135-144, mar. 2016.

COSTA, S. J. da; ERASMO, E. A. L.; TAVARES, T. C. de O.; SILVA, J. Respostas fisiológicas de dendê submetidas ao estresse hídrico em condições do cerrado. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 8, n. 3, p.92-99, dez. 2018.

EMBRAPA. **Zoneamento agroecológico do dendezeiro para as áreas desmatadas da Amazônia Legal**: relatório-síntese. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010, 44 p.

IPCC. **The physical science basis**: contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. STOCKER, T.F, QIN, D.; PLATTNER, G.-K., TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. (Eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

IPCC. **Sumário para os tomadores de decisão do quinto relatório de avaliação (2014)**. São Paulo: IPCC. Traduzido por Iniciativa Verde, 2015.

FEROLDI, M.; CREMONEZ, P. A.; ESTEVAM, A. Dendê: do cultivo da palma à produção de biodiesel. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas**, Santa Maria, v. 13, n. 5, p. 3800–3808, 2014.

FERREIRA, V. A.; SANTANA, A. C.; RAVENA, N.; OLIVEIRA, C. M. Os fatores de repercussão da cadeia produtiva do dendê no desenvolvimento local do baixo Tocantins. **Desenvolvimento. Meio Ambiente**, v. 39, p. 173-188, dez. 2016.

LENDERINK, G. *et al.* Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. **Hydrology and Earth System Science**, v. 11, n. 3, p. 1145-1159, 2007.

LIMA, S. M. V.; FREITAS FILHO, A. de; CASTRO, A. M. G. de; SOUZA, H. R. de. **Desempenho da cadeia produtiva do dendê na Amazônia Legal**. Belém: PRODEAM, 2002. 162 p.

OLIVEIRA, G. G.; PEDROLLO, O. C.; CASTRO, N. M. As incertezas associadas às condições climáticas obtidas pelo modelo Eta CPTec/HADCM3: avaliação comparativa entre os dados simulados e observados de precipitação, evapotranspiração e vazão na bacia hidrográfica do rio Ijuí, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 1, 101 - 121, 2015.

RAMALHO-FILHO, A. *et al.* Zoneamento agroecológico do dendê nas áreas desmatadas da Amazônia Legal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, CLÍNICA TECNOLÓGICA EM BIODIESEL, 2008, Lavras, MG. Biodiesel: tecnologia limpa. **Anais...** Lavras: UFLA, 2008.

SERATTO, C. D.; MICHELLON, E. A trajetória da política nacional de bioenergia e as oportunidades à agricultura familiar. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47, 2009, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sober, 2009.

SILVA, E. M.; ALVES, L. F. N. Organização e diversidade dos sistemas de produção de agricultores familiares integrados à agroindústria de dendê no nordeste paraense. **Rev. Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 14, n. 1, p.166-192, abr. 2018.

SOUZA, R. M. *et al.* Qualidade estatística do clima presente simulado pelos modelos climáticos Eta-HADGEM2-ES e Eta-MIROC5 para o estado do Tocantins. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 19, n. 2, p.197-214, jan. 2018.

TOCANTINS. Naturatins. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e queimadas do Estado do Tocantins**. Palmas: 2009. 107 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/168/_arquivos/plano_estadual_de_prevenao_e_controle_do_desmatamento_do_tocantins_168.pdf>. Acesso em: 08 maio 2020.

THORTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Thechnology, 1955. 104p.

USDA, United States Department of Agriculture. **Oilseeds**. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/commodities/oilseeds>>. Acesso em: 05 out. 2019.

VICTORIA, D. de C.; SANTIAGO, A. V.; BALLESTER, M. V. R.; PEREIRA, A. R.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. Water balance for the Ji-Paraná river basin, western Amazon, using a simple method through geographical information systems and remote sensing. **Earth Interactions**, Madison, v.11, n.5, p. 1-21, 2007.

Reflexos dos Cenários das Mudanças do Clima na Aptidão Agroclimática da Heveicultura no Tocantins

Cheila Cristina Naves Barbiero¹; Paulo Cardoso da Siveira²; Erich Collicchio³; Olíria Morgana Menezes Souza⁴ e Eduardo Quirino Pereira⁵

¹Professora do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnológico Tocantins – IFTO Campus Palmas; ²Professor Auxiliar no Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro, Portugal; ³Professor Associado II da Universidade Federal do Tocantins – UFT; ⁴Engenheira Ambiental, Mestre em Agroenergia; ⁵Professor Assistente da Universidade Federal do Tocantins – UFT

1 - Introdução

A seringueira [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) Muell-Arg.], destaca-se entre as 11 espécies do gênero *Hevea*, pertencentes à família Euphorbiaceae, por ser cultivada comercialmente e apresentar maior capacidade produtiva de látex, matéria prima da borracha natural, bem como possuir maior resistência a doenças (GOMES, 1981; GONÇALVES, 2002).

O Bioma Amazônia é a região de ocorrência natural da seringueira, abrangendo além do Brasil, a Bolívia, Peru, Colômbia, Venezuela, Guiana, Suriname e Guiana Francesa, entre as latitudes de 7°N e 15°S (PRIYADARSHAN; CLEMENT-DEMANGE, 2004; GONÇALVES *et al.*, 2013; MMA, 2016).

No Brasil, essa espécie ocorre naturalmente nos estados do Acre, Amazonas, Amapá, Mato Grosso, Pará e Rondônia (GONÇALVES *et al.*, 2013), contudo o plantio comercial dessa espécie, é realizado desde a latitude 22°N, na Ásia, até 25°S, sendo que no território nacional, estende-se em uma ampla faixa com diferentes condições edafoclimáticas, evidenciando a sua grande capacidade de adaptação (CAMARGO, 1976; PILAU *et al.*, 2007).

...historicamente a expansão do cultivo de seringueiras sempre esteve ligada às políticas públicas de incentivos, principalmente do governo federal, como o Programa de Incentivo à Produção de Borracha Natural- Probor I, Probor II e o Probor III, além de programas regionais ligados a esses do governo federal. Mas no país, junto aos fatores acima citados, contribuiu para expansão das áreas cultivadas da seringueira para além da Amazônia, os benefícios que esse plantio proporciona ao meio ambiente, na proteção do solo e nascentes e ao sequestro de carbono do ar atmosférico (SOFFIATTI; FASSARELLA, 2020).

A seringueira é a maior fonte produtora de borracha natural do mundo (BICALHO *et al.*, 2008), sendo o seu uso comercial de grande importância, porque é considerada uma *commodity* mundialmente valorizada, devido à diversidade de uso pela indústria (PEREIRA *et al.*, 2000; COELHO JUNIOR *et al.*, 2009).

A borracha natural é um biopolímero único de importância estratégica que, em muitas de suas aplicações mais significativas, não pode ser substituído por alternativas sintéticas. Por isso a borracha natural vem sendo utilizada em mais de 50 mil produtos, em aplicações como adesivos, pneumáticos, luvas descartáveis, material cirúrgico (tubos intravenosos, seringas, estetoscópios, cateteres e esparadrapos), preservativos, pisos e revestimentos, impermeabilização de fios e tecidos etc. (Van BEILEN; POIRIER, 2007).

Rippel; Bragança (2009) destacam outro exemplo mostrando a relevância do uso da borracha natural “na fabricação de pneus para caminhões, ônibus e aviões, que não podem ser feitos com borracha sintética, devido à drástica diminuição de suas propriedades”.

Os maiores produtores mundiais de borracha natural, são responsáveis por cerca de 90% da produção (CONAB, 2019). Dentre eles destacam-se a Tailândia, Indonésia, China, Vietnã e Índia, que produziram em 2018, o equivalente a 5.250.000 t, 3.482.000 t, 1.572.000 t, 1.498.000 t e 1.056.000 t, respectivamente, totalizando cerca de 12.858.000 t. Apesar de ser o terceiro produtor, a China é o maior consumidor de borracha natural do planeta (5.503.000 t), seguidos da Europa (1.605.000 t) e dos EUA (1.129.000 t).

Já o Brasil, o maior produtor de borracha natural da América Latina, é importador de borracha natural desde 1951, sendo que em 2018 produziu aproximadamente 200.000 t e consumiu 425.000 t, conseguindo produzir apenas 47% de sua demanda interna (IGRS, 2021).

Destaca-se que a indústria consumidora brasileira é uma das 10 maiores consumidoras de borracha natural do mundo, sendo hoje muito dependente da importação da produção do Sudeste Asiático. Este dado traz preocupação, pois os principais produtores de borracha do Sudeste Asiático estão aumentando seu consumo, ou seja, cada vez mais irão exportar menos matéria-prima e mais produto industrializado: menos borracha e mais pneu (CORRÊA *et al.*, 2018).

Esses dados refletem a importância econômica da seringueira no âmbito nacional e internacional.

A seringueira no Brasil, é explorada comercialmente para a produção de borracha natural em florestas nativas, por meio de sistemas integrados e especialmente em florestas plantadas em monocultivo, associado a consorciamento com outras culturas nos primeiros anos de cultivo.

De acordo com Gonçalves *et al.* (2013), as florestas de seringueira no Brasil possuem “grande relevância econômica e social por permitirem o aumento de renda

com distribuição de riqueza tendo como consequência a melhoria nos indicadores sociais no local de sua abrangência direta”.

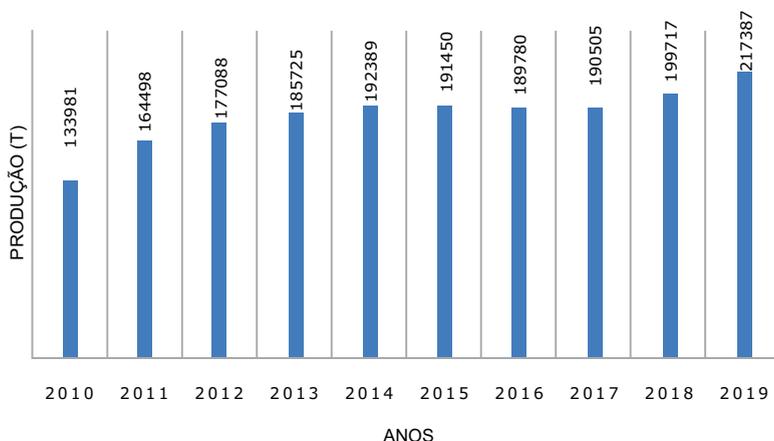
Onde há florestas em diferentes estágios, geralmente, há circulação de recursos financeiros relacionados à atividade, cujos empreendimentos geram empregos no setor terciário, mercado de insumos e máquinas, além de ocuparem mão de obra no setor primário, desde a fase de coleta de sementes até a etapa de exploração e transporte da borracha natural para a usina [...] Estima-se que até 2030 poderão ser criados cerca de 200 mil empregos diretos no setor de heveicultura, na fase de exploração de látex e borracha natural, visando atender a demanda interna no Brasil (GONÇALVES *et al.*, 2013).

A cultura da seringueira também é utilizada em consorciamento, como no formato de sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) (MARTÍNEZ *et al.*, 2019), atendendo o Programa de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC), o qual tem potencial de contribuir na retenção de carbono no solo e biomassa, bem como na redução de emissões de GEE (ASSAD *et al.*, 2019). Este tipo de sistema de produção, é considerado como “uma estratégia promissora capaz de conciliar ecoeficiência com desenvolvimento socioeconômico, visando atingir patamares cada vez mais elevados de qualidade do produto, qualidade ambiental e competitividade” (BALBINO *et al.*, 2019).

Segundo o relatório do IBÁ (2020), o setor de florestas plantadas é de grande importância para a economia brasileira, uma vez que em 2019, representou 1,2% do PIB Nacional. Este relatório destaca ainda que “à medida que acontecer o processo de transição de uma economia de elevada emissão de carbono para baixa emissão e para a bioeconomia, incluindo aquela baseada em florestas plantadas”, como o cultivo de seringueira, pode ocorrer o aumento do estoque e das remoções de carbono, ampliando dessa forma, a contribuição desse setor, na mitigação das mudanças do clima.

Em 2019, a área total de árvores plantadas no Brasil, foi de 9,0 milhões de hectares, sendo que a maioria da área (77%), foi cultivada com eucalipto (6,97 milhões de hectares), e 18% com pinus (1,64 milhão de hectares). Além do eucalipto e do pinus, foram cultivados 390 mil hectares com outras espécies, entre elas, a seringueira, acácia, teca e paricá (IBÁ, 2020). Destaca-se que em 2018, a área de florestas plantadas no Brasil, com outras espécies, a seringueira foi a mais cultivada, representado 37% da área (IBÁ, 2019).

No Brasil, verificou-se um aumento médio da produção de borracha natural de 62,25%, no período de 2010 a 2019, saindo de um total de 133.981 t para 217.387 t (Figura 1). Apesar deste incremento na produção, é insuficiente para atender a demanda interna.



Fonte: FAOSTAT (2020)

Figura 1 – Evolução da produção de borracha natural no Brasil no período de 2010 a 2019

No mesmo período, houve um acréscimo gradativo da área produtiva de seringueira até 2014, na sequência ocorreu uma pequena queda em 2015, seguida de uma estabilização, ocorrendo um novo aumento da área em 2019. O aumento médio da área no período de 2012 (138.278 ha) a 2019 (166.714 ha), foi de 20,50%. Já com relação à produtividade, nesse mesmo período, houve um aumento de 27,69%, sendo que a produtividade média brasileira em 2019, atingiu 1.360 kg.ha⁻¹ (FAOSTAT, 2020).

A seringueira é cultivada em doze estados: São Paulo, Bahia, Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Pará, Tocantins, Amazonas e Acre (FAMATO, 2016)

Os estados que obtiveram maior produção média anual de borracha no período de 1990 a 2016 foram, São Paulo, Bahia e Mato Grosso, observando-se nesse período um incremento da produção em municípios do noroeste do estado de São Paulo e alguns municípios costeiros do sul da Bahia (VALADARES; LANDAU; MAIA, 2020). Em 2016, os maiores produtores de borracha natural no Brasil, foram os estados de São Paulo, que é o principal produtor da *commodity*, com cerca de 58%, Bahia (12,7%), Minas Gerais (8,1%), Mato Grosso (7,5%) e Goiás (6,0%) (BORRACHA NATURAL, 2017).

“O beneficiamento de borracha no Brasil é concentrado no produto GEB-10 (Granulado Escuro Brasileiro classe 10), composto por 100% de borracha natural proveniente de coágulos de látex” (CORRÊA *et al.*, 2018). Os principais consumidores da produção dos seringais brasileiros, são as indústrias de pneumáticos e de artefatos concentradas no noroeste de São Paulo e no Espírito Santo e Bahia (REIS *et al.*, 2015).

No estado do Tocantins, a produção de borracha natural é incipiente, sendo que em 2018, representou apenas cerca de 0,9% do total produzido no país (IBGE, 2019).

A produção média anual de borracha do Tocantins registrada entre 1990 e 2016, variou de 1.186 t a 1.671 t. Analisando os três períodos distintos: 1990 - 1999, 2000 - 2009 e 2010 – 2016, observou-se que as médias de produção de borracha foram 1.186 t, 1.671 t e 1.272 t, respectivamente, ficando o Tocantins nesses períodos considerados, posicionado em 5^o, 9^o e 12^o lugar, em relação às demais unidades da federação produtoras de borracha natural (VALADARES; LANDAU; MAIA, 2020).

Embora a produção do Tocantins seja pequena, tem-se observado uma tendência de crescimento da área de cultivo, que conta atualmente com mais de 6 mil hectares (BRITO, 2021).

Em 2014, a área total com seringueira era de 3.852 ha, cultivada em 9 municípios do Estado (NAVES BARBIERO, 2014), sendo que atualmente, de acordo com o divulgado pelo governo do Tocantins por Brito (2021), a heveicultura é realizada em 10 municípios: Palmeirópolis, Sandolândia, Santa Fé do Araguaia, Abreulândia, Marianópolis, Pium, Rio da Conceição, Pedro Afonso, Cariri do Tocantins e Araguaína.

Uma das justificativas desse crescimento, que merece destaque, refere-se à criação por parte do governo estadual, do “Programa de Estruturação de Polos de Produção de Seringueira”, que incentivou o plantio de novos seringais no Estado, o qual foi estruturado em três polos produtivos: Polo Meio-Norte, Polo Cantão e Polo Sul, localizados nas regiões geográficas, noroeste, centro-oeste e sul do Tocantins, respectivamente (SEMADES, 2013). Nesses polos regionais, estão concentradas as áreas de produção de borracha do Estado, conforme levantamento realizado por Naves Barbiero (2014) e pelo mapa apresentado por Valadares; Landau; Maia (2020), que mostra os municípios produtores de seringueira nessas regiões.

De acordo com o estudo de Naves Barbiero (2014), que visou identificar áreas potenciais para o desenvolvimento da heveicultura, comparando com os cultivos existentes no estado do Tocantins, verificou o plantio em áreas com classe aptidão climática e condições edáficas consideradas favoráveis. Contudo, foi constatado também, plantios em áreas com aptidão agroclimática “marginal” e solos com algum tipo de restrição. Nesse caso, destacou que a cultura plantada sob essas condições, indica-se a utilização de algumas técnicas de manejo, como irrigação, melhoramento da fertilidade, conservação do solo e uso de clones mais adaptados a esses ambientes. A referida autora, verificou ainda que, cerca de 85% dos plantios visitados, utilizavam sistema irrigação.

No Tocantins, a produção de matéria prima da seringueira era enviada para industrialização nos estados de São Paulo, Goiás e Bahia, devido à ausência de unidades industriais processadoras de látex no Estado (SEMADES, 2013).



Figura 2 – Área de produção de seringueira localizada no município de Pium (Polo do Cantão), região centro-oeste do Tocantins (Foto: Lúcia Brito - Governo do Tocantins)

As condições ambientais influenciam no desenvolvimento e na produtividade das espécies vegetais, sendo os fatores climáticos e pedológicos, os mais importantes na definição da aptidão agrícola de uma região para cultivos comerciais como a seringueira (PEREIRA, 1982; RAO; JAYARATHNAM; SETHURAJ, 1993; CAMARGO; MARIN; CAMARGO, 2003). Para propiciar o bom desenvolvimento do seringal, depende da seleção de áreas de boa aptidão climática, que pode atenuar os aspectos negativos existentes no ambiente (GONÇALVES; MONTEIRO, 2007).

Além de conhecer as necessidades climáticas da cultura é necessário, também, identificar as condições ambientais que favorecem ou dificultam a incidência de doenças e pragas (CAMARGO, 1976), como é o caso da ocorrência do mal-das-folhas, causado pelo fungo *Microcyclus ulei* (P. Henn) V. Arx, que é um dos principais obstáculos à implantação do cultivo comercial da seringueira, especialmente nas regiões tropicais e equatoriais do país (LIEBEREI, 2007).

A cultura da seringueira apresenta um melhor desenvolvimento e maior produção de látex, quando a temperatura média anual é igual ou maior que 20°C (GASPAROTTO, 1988), com o intervalo de 27 a 30°C, o mais favorável para a realização da fotossíntese, sendo que o fluxo de látex é favorecido entre 18 a 28°C (CARMO *et al.*, 2004; GONÇALVES; MONTEIRO, 2007). A cultura em temperaturas inferiores, provoca a redução do crescimento e da produtividade (GASPAROTTO, 1988).

Camargo; Marin; Camargo (2003) geraram mapas de aptidão que obtiveram boa concordância com as áreas de heveicultura situadas no estado de São Paulo, ao considerarem a temperatura média anual igual a 18°C, como o limite inferior para o adequado desenvolvimento da cultura. Porém, Rodrigo (2007), mostrou que os folíolos da seringueira têm seu crescimento paralisado quando expostos a temperaturas inferiores a 16°C.

No que se refere às necessidades hídricas da cultura, Pilau *et al.* (2007) comentaram que ao longo do período das secas, “a redução de chuvas compromete a reposição das reservas hídricas dos solos, incrementando diariamente a deficiência

hídrica, o que torna o cultivo da seringueira economicamente desaconselhável onde a deficiência hídrica anual acumulada superar 200 mm.” Contudo, Camargo; Marin; Camargo (2003), consideraram um valor maior para o limite de deficiência hídrica anual da cultura ($D_a = 300\text{mm}$), que corresponde às condições hidricamente aptas ao cultivo comercial da seringueira, em solos profundos.

Em relação ao mal-das-folhas, Camargo; Cardoso; Schimidt (1967) diagnosticaram que o fungo causador da doença, é favorecido pela umidade atmosférica elevada, propiciando a presença de água líquida (orvalho) nas folhas, para manifestar-se de forma epidêmica. Camargo *et al.* (1975) destacaram que em estudo realizado no estado de São Paulo, o mal-das-folhas ocorreu apenas em seringueiras susceptíveis, localizadas em áreas de baixadas e mal drenadas, expostas por longo tempo em condições úmidas (MEDEIROS, 1976).

“Nessas condições, a umidade relativa do ar pode permanecer elevada, acima de 95%, e com orvalho prolongado por mais de 10 horas consecutivas, em mais de 15 dias do mês, condição necessária para ocorrer germinação e infecção dos esporos” (CAMARGO; SCHMIDT, 1975).

Em regiões onde a temperatura média do mês mais frio fica abaixo dos 20°C a esporulação do *Microcyclus ulei* fica paralisada, interrompendo anualmente o potencial de inóculo e a propagação da doença, mantendo as brotações de maio a dezembro livres de infecção (CAMARGO; SCHMIDT, 1975).

Nesse contexto, torna-se necessário a identificação de áreas livres da ocorrência deste fungo, denominadas de “áreas de escape”, para a implantação mais segura de cultivos comerciais de seringueira, as quais devem ser definidas pela regionalização de áreas climaticamente desfavoráveis ao estabelecimento do mal-das-folhas (ALMEIDA; SANTANA; SÁ, 1987; MACEDO *et al.*, 2002; AGRIOS, 2005; FURTADO; TRINDADE, 2005).

As “áreas de escape” ao mal-das-folhas podem ser identificadas por meio de regionalização climática, com a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), o qual auxilia na elaboração do zoneamento agroclimático para a cultura (CECÍLIO *et al.*, 2006; CAMPANHARO *et al.*, 2011).

O zoneamento agroclimático de culturas comerciais, consiste numa importante ferramenta de planejamento de uso adequado das terras, principalmente em escala regional, visando o desenvolvimento sustentável da produção vegetal, ou seja, a promoção de uma agricultura produtiva, rentável, e sustentável (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Isso porque, fornece subsídios para a “proposta de práticas de manejo agrossilvicultural mais adequadas, para a prevenção e controle das doenças em plantas, ou para a potencialização da produção, servindo de base para a elaboração de políticas públicas para o setor agrícola e florestal” (CAMPANHARO *et al.*, 2011).

Diversos estudos relativos ao zoneamento agroclimático da seringueira com vistas à delimitação de “áreas de escape” contra a incidência de *Microcyclus ulei* foram realizados no Brasil, como: Camargo (1976); Ortolani (1985); Ortolani (1986); Almeida; Santana; Sá (1987); Camargo; Marin; Camargo (2003); Cecílio *et al.* (2006) e Pilau *et al.* (2007).

Estima-se que qualquer mudança no clima possa afetar o zoneamento agroclimático, a produtividade das culturas e as técnicas de manejo, alterando o atual cenário da agricultura brasileira, em cada região, com sérias consequências econômicas, sociais e ambientais (CAMPANHARO *et al.*, 2011).

De acordo com o quinto relatório do IPCC (2013), denominado AR5, os modelos climáticos projetam, que devido ao aumento da concentração de gases do efeito estufa – GEE, a temperatura média do ar global tenderá a aumentar em média de 1,0°C a 2,0°C, no período de 2046 a 2065, e de 1,0°C a 3,7°C, até ao final do século XXI (2081 e 2100).

O estudo realizado por Pinto *et al.* (2008) avaliou que o aquecimento global poderá provocar perdas nas safras de grãos das principais culturas agrícolas do país nas próximas décadas e alterar profundamente a geografia da produção agrícola no Brasil.

Se nada for feito para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e adaptar as culturas para a nova situação, deve ocorrer uma migração de plantas para regiões que hoje (2008) não são de sua ocorrência em busca de condições climáticas melhores. Áreas que atualmente são as maiores produtoras de grãos podem não estar mais aptas ao plantio bem antes do final do século... se nada for feito para mitigar o aquecimento global, a produção de alimentos no país deverá ser afetada (PINTO *et al.*, 2008).

As projeções do IPCC tem causado inquietações junto aos profissionais e pesquisadores relacionados do setor de agropecuária e florestal, e isso tem estimulado a realização de mais estudos avaliando as possíveis consequências das mudanças do clima sobre os zoneamentos agroclimáticos de diversas culturas (COLLICCHIO *et al.*, 2015).

Nesse sentido, como a seringueira é considerada uma cultura permanente com capacidade produtiva comercial de pelos 30 a 40 anos e a borracha natural é uma *commodity* muito demandada no mundo, estudos que fazem projeções de cenários futuros e seus possíveis impactos sobre o zoneamento agroclimático desta cultura, face às mudanças climáticas globais, torna-se um instrumento relevante para o planejamento de longo prazo deste setor no país. Sob esse enfoque, Campanharo *et al.* (2011), realizaram um estudo com a heveicultura no estado do Espírito Santo.

Contudo, percebe-se que as pesquisas voltadas aos possíveis efeitos de mudanças climáticas globais no cultivo da seringueira no Brasil, ainda são muito restritas.

O presente estudo teve como objetivo de verificar os potenciais impactos das mudanças do clima sobre o zoneamento de aptidão agroclimática da heveicultura no estado do Tocantins.

2 – Procedimentos Metodológicos

A área de estudo refere-se ao estado do Tocantins, localizado na região Norte do Brasil, e integrante da Amazônia Legal, com uma área total de 277.620,914 km² (SEPLAN, 2012).

O clima do Tocantins, de acordo com a classificação de Köppen é considerado: Aw – Tropical de verão úmido e período de estiagem no inverno (ROLDÃO; FERREIRA, 2019).

O Estado apresenta temperatura média anual variando entre 25 e 29°C, e a precipitação média anual de 1.200 mm a 2.100 mm. Caracteriza-se pela sazonalidade do regime pluviométrico, com acentuada quantidade de chuvas no verão (período chuvoso) e mínima quantidade de chuva no inverno (período seco), ressaltando que a estação da seca, pode ser marcada por estiagem que varia de 4 a 5 meses (SEPLAN, 2005).

Para a realização deste estudo, foi disponibilizado pelo Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais da Universidade Federal do Tocantins – LAMAM/UFT, o banco de dados mensais de precipitação e temperatura de 110 estações meteorológicas e pluviométricas, situadas na área de estudo e estados circunvizinhos, compreendidas entre os paralelos 4°30' e 13°30' Sul e meridianos 45°30' e 51°30' Oeste. Esses dados, organizados por Collicchio (2008), são provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Agência Nacional de Águas – ANA, Secretaria da Agricultura, Pecuária e Aquicultura do Tocantins – Seagro e Embrapa.

Essa base de dados propiciou obter a evapotranspiração potencial por local pelo método de Thornthwaite (1948), e em seguida calculou-se o balanço hídrico climatológico de Thornthwaite; Mather (1955), conforme simplificado por Pereira (2005), adotando-se a capacidade de água disponível do solo (CAD) equivalente a 125 mm, como recomendada por Camargo; Marin; Carmargo (2003).

A espacialização dos resultados do balanço hídrico e a elaboração dos mapas finais foram feitos utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG), sendo que usou-se o método de interpolação *Spline*.

As necessidades térmicas e hídricas exigidas pela cultura, foram classificadas de acordo com o estudo desenvolvido por Camargo; Marin; Carmargo (2003) para o Brasil, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Classes de aptidão climática adotadas para a cultura da seringueira

Classe de Aptidão	Exigência Hídrica (mm)	Condições
APTA	$0 < Da < 300$	Ta > 18°C; Tf entre 15°C a 20°C. Condições térmicas e hídricas adequadas à seringueira e impróprias à ocorrência do "mal-das-folhas". Se Tf > 20°C. Condições hídricas adequadas à seringueira. Muito sujeita ao "mal-das-folhas". Plantar clones resistentes.
MARGINAL	$300 < Da < 500$	Ta > 18°C; Tf > 20°C e elevada deficiência hídrica. Indica-se o uso de solos profundos. Pode haver ocorrência do "mal-das-folhas" em baixadas.
INAPTA	$Da > 500$	Ta > 18°C; Deficiência hídrica excessiva.

Ta: Temperatura média anual; Tf: Temperatura média do mês mais frio; Da: Deficiência hídrica anual

Fonte: Adaptado de Camargo; Marin; Carmargo (2003)

A elaboração do zoneamento agroclimático da seringueira para o clima atual, considerou as exigências climáticas da cultura, que de acordo com o Quadro 1, referem-se ao déficit hídrico anual, a temperatura média anual e temperatura média do mês mais frio observadas no Estado. A partir dessas variáveis, foram gerados e realizados o cruzamento dos mapas de deficiência hídrica anual com os de temperatura, delimitando-se especialmente as zonas ou classes de aptidão (apta, marginal e inapta), as quais definiram as áreas potenciais e com restrições à exploração comercial da cultura da seringueira no Tocantins.

O cruzamento dos arquivos em formato *raster* foi realizado de acordo com o método de Nappo *et al.* (2005). Em seguida, foram transformados em arquivos no formato *shapefile*, que auxiliou na melhor visualização dos mapas e na quantificação das áreas, gerando assim o zoneamento agroclimático da cultura para o Tocantins.

Com relação ao estudo para estimar os possíveis efeitos das mudanças do clima sobre o zoneamento de aptidão agroclimática da cultura da seringueira, para o clima atual, utilizou-se quatro cenários futuros: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5, para período analisado (2081 a 2100 - final do século), sendo que os dados de temperatura correspondentes a cada cenário, foram obtidos a partir do Relatório AR5 do IPCC (2013).

Nesse estudo, indicou-se uma redução de 10% no regime pluviométrico atual em todos os cenários de mudanças propostos, conforme pode-se verificar em média nos resultados das simulações dos modelos considerados no IPCC (2013). Procedeu-se assim, à semelhança de alguns trabalhos científicos que adotaram em suas metodologias, a fixação de valores percentuais de precipitação, como de reduções, aumentos ou mesmo inalterações do volume de chuva, conforme pode ser verificado nos estudos de Pinto *et al.* (2001), Barbarisi *et al.* (2007), Collicchio *et al.* (2009), Maciel; Azevedo; Andrade Júnior (2009) e Bakalarczyk (2014).

Para a geração dos quatro zoneamentos de aptidão agroclimática da seringueira considerando os distintos cenários futuros, utilizou-se o mesmo procedimento no SIG, conforme adotado para a elaboração do zoneamento agroclimático sob a condição climática atual, descrito anteriormente.

3 - Resultados e Discussão

Com relação ao clima atual, constata-se que a temperatura média anual estimada foi de 25,7°C (variando de 23 a 27°C), a média da precipitação anual foi de 1.662 mm (821 a 2.111 mm) e a deficiência hídrica anual média calculada atingiu 396 mm (115 a 677 mm), conforme pode ser visualizado na Figura 2.

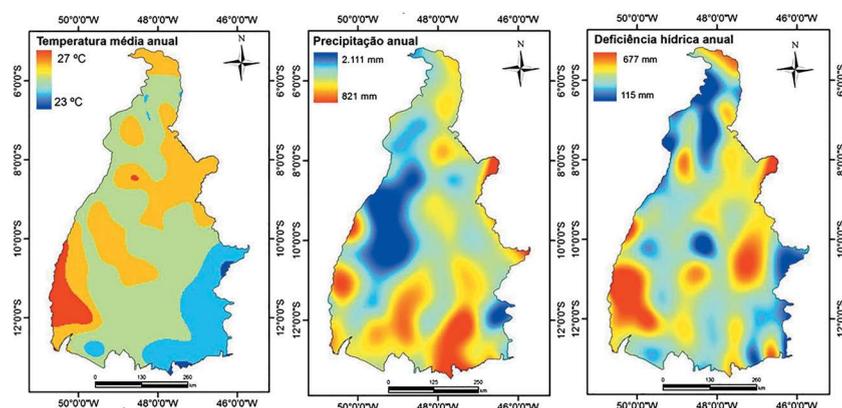


Figura 2 - Temperatura do ar média anual (°C), Precipitação anual (mm) e Deficiência hídrica anual (mm), considerando o clima atual no estado do Tocantins

Constatou-se pela Tabela 1, que os valores médios da temperatura média anual (T_a) atingiriam 25,7; 26,5; 27,4; 27,9 e 29,2°C, nas condições de clima atual e cenários RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5, respectivamente.

Sendo assim, mesmo considerando o cenário mais pessimista (RCP 8.5), que obteve uma estimativa de acréscimo de 3,7°C, a T_a atingiria em média cerca de 29,0°C, não ultrapassando o limite crítico para o crescimento da cultura (27 a 30°C), conforme indicado por Carmo *et al.* (2004); Gonçalves; Monteiro (2007).

Diante dos resultados não haveria em média, restrição térmica ao cultivo da seringueira no estado do Tocantins, para nenhum dos cenários analisados. Contudo, quando considera-se a temperatura média do mês mais frio (T_f), existe uma variação que dependendo da localidade no Estado, poderá favorecer ou não a ocorrência do "mal-das-folhas", conforme apontado por Camargo; Cardoso; Schmidt (1967); Medeiros (1976); Almeida; Santana; Sá (1987).

Considerando que o padrão climatológico do Tocantins, há um predomínio de temperaturas médias do mês mais frio (Tf), superiores a 20°C, a infecção do fungo estará condicionada às condições ambientais locais. Nessa situação, estando associada às condições hídricas favoráveis ao cultivo da seringueira ($0 < Da < 300$ mm), a classe de aptidão é ser considerada “apta”, porém indicando condições favoráveis à proliferação do “mal-das-folhas”, caso as áreas de produção estejam situadas em locais mais úmidos. Por outro lado, essa doença terá menor possibilidade de ocorrência, quando a cultura estiver localizada em alguma região com maior deficiência hídrica do solo e em áreas menos úmidas.

Sendo assim, no planejamento da implantação da cultura, deve-se por segurança, utilizar clones de seringueira mais adaptados/recomendados à região e com resistência genética ao fungo *Microcyclus ulei*.

Tabela 1 - Valores menores, maiores e médios para a Temperatura anual (Ta) e Deficiência hídrica anual (Da), considerando os dados estimados para os cenários de mudanças climáticas apresentados pelo IPCC, para o período de 2081-2100, em relação ao clima na condição atual

Cenários	Temperatura média anual – Ta (°C)			Deficiência hídrica anual – Da (mm)		
	Menor valor	Maior valor	Valor médio	Menor valor	Maior valor	Valor médio
Atual	23,3	27,3	25,7	115	677	396
RCP 2.6	24,5	28,5	26,5	182	825	503
RCP 4.5	25,4	29,3	27,4	209	894	551
RCP 6.0	25,8	29,7	27,9	243	927	585
RCP 8.5	27,3	31,2	29,2	366	1039	702

Com referência a deficiência hídrica anual, pode ser observado na Tabela 1, que a Da de menor valor, obtido em um local do estado do Tocantins, passou de 115 mm (clima atual), para 366 mm no cenário RCP 8.5, gerando um incremento de cerca de 218 %. De forma similar, a Da de maior valor também aumentou de forma expressiva (53,47%), passando de 677 mm (clima atual) para 1039 mm (RCP 8.5). A Da média calculada para o cenário de clima atual foi de 396 mm, no entanto para o cenário pessimista, esse valor atingiu a média de 702 mm chegando a aumentar em 77,27%, demonstrando a elevada deficiência hídrica anual para todos os cenários.

O incremento da temperatura média anual e da deficiência hídrica anual na medida em que os cenários tornam-se mais desfavoráveis, conforme constatado na Tabela 1, pode ser visualizado de forma espacial na Figura 3, mostrando as regiões mais impactadas com essas variações de cenários.

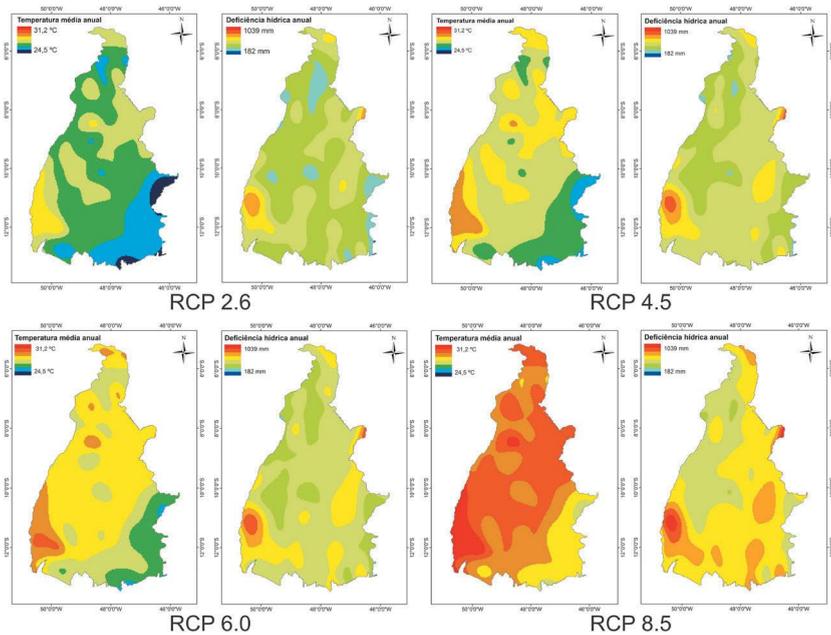


Figura 3 – Temperatura do ar média anual (°C) e Deficiência hídrica anual (mm) no estado do Tocantins considerando as projeções futuras para os cenários RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5, para o período de 2081 – 2100

A Tabela 2 apresenta a área do Estado ocupada por cada classe de aptidão climática para a condição climática atual e a Figura 4 mostra o respectivo mapa do zoneamento de aptidão agroclimática da seringueira.

Observa-se que, apenas 8,89% de área do Estado (24.680,68 km²), corresponde à aptidão climática “apta” para o desenvolvimento da cultura. Essas classes de aptidão estão localizadas na região noroeste do Estado, com maior concentração na região do Bico do Papagaio, na região central (envolvendo Palmas) e na região leste/sudeste, onde ocorrem classes descontínuas, próximas à divisa com os estados da Bahia e Goiás.

A maior parte do estado do Tocantins (83,96%), o equivalente a 233.094,61 km², apresenta área com aptidão “marginal”, devido especialmente à elevada deficiência hídrica anual (Da), sendo o principal fator limitante no desenvolvimento da cultura. Esse resultado assemelha-se com o zoneamento climático para a heveicultura no Brasil elaborado por Camargo; Marin; Carmargo (2003). Porém, o presente estudo, identificou maior quantidade de áreas com classe de aptidão “apta”. Possivelmente essa diferença se deva pela maior quantidade de estações meteorológicas/pluviométricas existentes atualmente no Tocantins e estados circunvizinhos.

Constatou-se também, a existência de áreas classificadas como “inapta”, equivalendo a 19.844,70km² (7,15% do território tocantinense), devido à insuficiência hídrica necessária à cultura ($Da > 500$ mm). Essa classe de inaptidão não foi identificada no zoneamento agroclimático de Camargo; Marin; Carmargo (2003).

Tabela 2 - Áreas de aptidão climática para cultivo da seringueira no estado do Tocantins

Classes de aptidão	Área (km ²)	Área (%)
Apta	24.680,68	8,89
Marginal	233.094,61	83,96
Inapta	19.844,70	7,15
TOTAL	277.620,00	100,00

Na condição de elevada deficiência hídrica, a redução do turgor dos vasos laticíferos diminui a produção de látex, e a cultura pode tornar-se economicamente inviável (RAO *et al.*, 1990). Em outras regiões do país, em solos sob condições de Cerrado, onde cultiva-se comercialmente a seringueira e/ou em regiões consideradas aptas à heveicultura, constata-se valores menores de deficiência hídrica anual em relação ao Tocantins. Como exemplo, tem-se o sul de Goiás e o Triângulo Mineiro, cuja deficiência hídrica anual, varia de 100 a 200 mm (NIMER; BRANDÃO, 1989), e na região paulista de São José do Rio Preto que apresenta o maior cultivo de seringueira do país, com valores da Da , variando de 100 a 216 mm (RIBEIRO; MACHADO; BRUNINI, 2006).

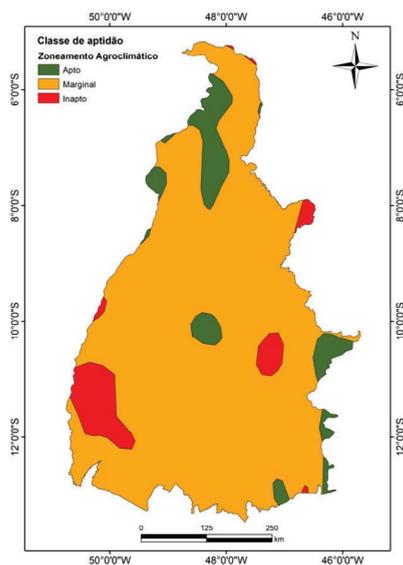


Figura 4 - Zoneamento agroclimático para a seringueira no Tocantins, para as condições do clima atual

A Figura 5 mostra a evolução das áreas de aptidão climática para a cultura, considerando os distintos cenários futuros.

Aptidão Agroclimática para o cultivo da Seringueira, considerando os distintos Cenários Futuros (2081-2100)

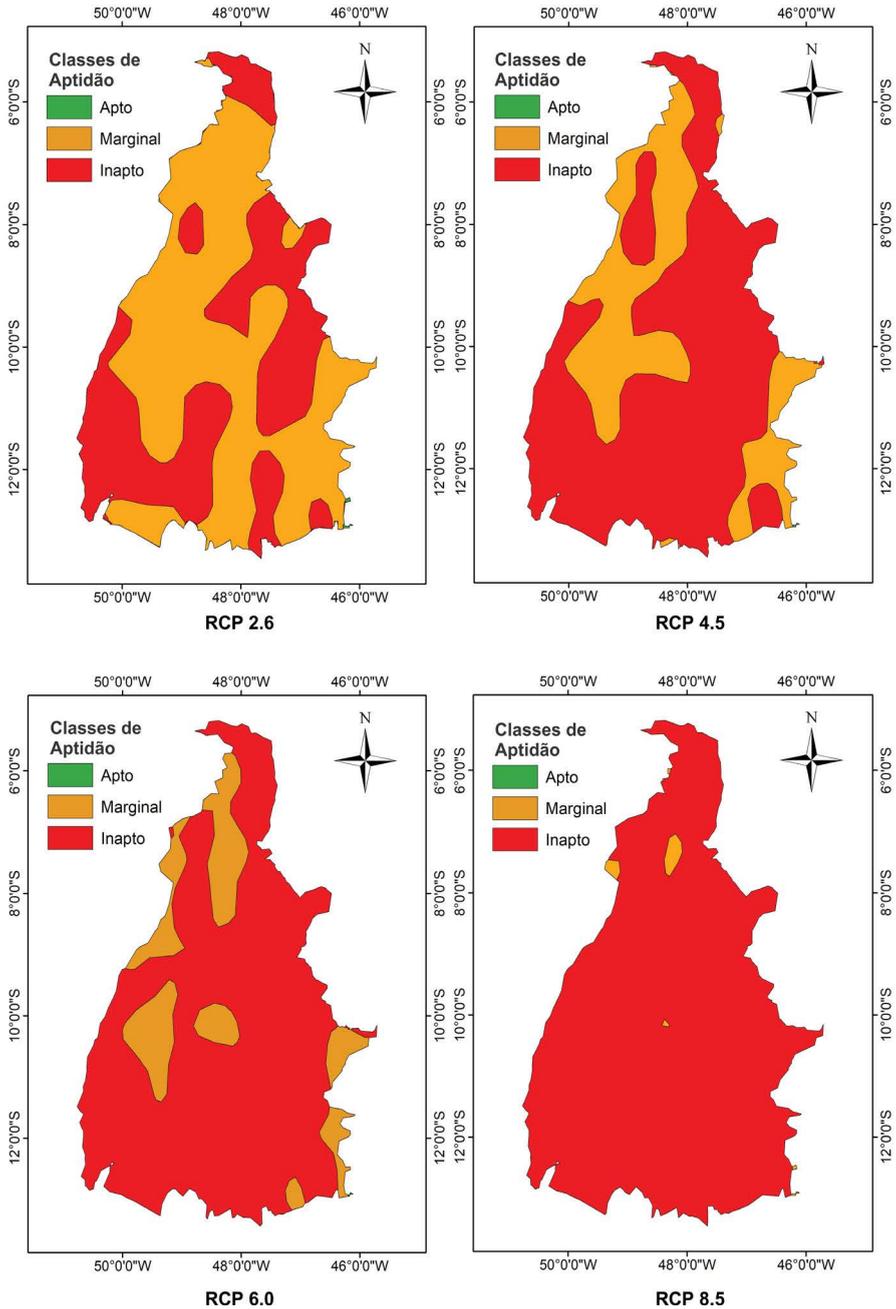


Figura 5 - Zoneamentos agroclimáticos para a seringueira no estado do Tocantins, considerando as projeções futuras para os cenários RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5 (2081 – 2100)

Nota-se pela Figura 5 e Tabela 3, que já na condição do cenário otimista (RCP 2.6), não observou-se áreas significativas com classe de aptidão climática “apta” (1,5%), as quais estão localizadas na porção sudeste do Estado, na divisa com a Bahia. Nesse cenário, há o predomínio da classe de aptidão “marginal” (57,41%). Destaca-se que, quando foi acrescentado apenas 1,0°C na temperatura, associado à redução de 10% na precipitação anual, no cenário RCP 2,6 (cenário otimista), já houve um aumento de 473,98% das áreas “inaptas” do Estado, quando comparado com o zoneamento agroclimático do clima atual, passando de 7,15% para 41,04% do território. Ao mesmo tempo houve uma redução das áreas consideradas “aptas” de 8,9% para apenas 1,5%. Contudo, este cenário não está mais sendo considerado em alguns estudos, pois os debates internacionais, têm envidado esforços para limitar o aumento médio de temperatura global a 1,5°C (IPCC, 2018).

Tabela 3 - Porcentagem da área do estado do Tocantins ocupada por cada classe de aptidão climática na situação de clima atual e nos cenários de projeções futuras

CENÁRIOS	APTA (%)	MARGINAL (%)	INAPTA (%)
ATUAL	8,89	83,96	7,15
RCP 2.6	1,55	57,41	41,04
RCP 4.5	1,51	30,12	69,87
RCP 6.0	1,51	18,49	80,01
RCP 8.5	-	3,16	96,84

Considerando os cenários RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 6.0, percebe-se a ocorrência da classe de aptidão “marginal”, em faixas contínuas e/ou descontínuas localizadas a partir do nordeste (Região do Bico do Papagaio) até a região centro – sul, e se estendendo por toda a porção leste do Estado (Figura 5).

Todas as projeções dos cenários futuros, indicam uma tendência de aumento muito significativo de áreas “inaptas” e a redução sensível das áreas “aptas” e “marginais” ao cultivo da seringueira, à medida que os cenários tendem a serem mais pessimistas, sendo também constatada por Campanharo *et al.* (2011), situação semelhante no estado do Espírito Santo. Esse fato é devido ao incremento da temperatura e redução de chuvas, que refletem diretamente no aumento da deficiência hídrica do solo (PINTO *et al.*, 2008).

De acordo com as projeções, o cenário RCP 8,5 (pessimista) apresenta maior área classificada como “inapta”. Percebe-se que as áreas consideradas “inaptas”, na condição de clima atual correspondiam a apenas 7,15%, passando para quase 97% do território tocantinense, caracterizando elevada deficiência hídrica nessa situação o que levaria a inviabilização do cultivo comercial da seringueira no Estado.

4 – Conclusões

Os resultados deste estudo indicam que não haverá restrição térmica para o cultivo da seringueira no estado do Tocantins, tanto sob condições climáticas atuais, quanto para o conjunto de cenários climáticos futuros analisados. Contudo, existe uma tendência de elevação da temperatura média do mês mais frio, podendo favorecer em algumas localidades, a ocorrência do “mal-das-folhas”.

No cenário climático atual, observa-se a ocorrência de algumas regiões no território, que apresentam boas condições climáticas para a heveicultura, e com baixa probabilidade de infecção das plantas pelo fungo *Microcyclus ulei*. Porém, a maior parte do Estado apresenta classe de aptidão climática “marginal” para o desenvolvimento da seringueira, sendo que o seu plantio poderá ser viabilizado com a utilização de técnicas de manejo, melhoramento da fertilidade e conservação do solo e com o auxílio de irrigação pelo menos nos dois primeiros anos de cultivo.

Entretanto as projeções futuras mostram uma tendência para aumento substancial da deficiência hídrica do solo, configurando numa redução significativa das áreas de aptidão “marginal” e conseqüentemente o aumento drástico de áreas “inaptas”, sendo que no cenário mais pessimista (RCP 8.5), o território tocaninense ficaria praticamente todo inviabilizado para o cultivo comercial da seringueira.

No planejamento da implantação da cultura em ambientes favoráveis, torna-se preemente utilizar clones de seringueira mais adaptados/recomendados à região, tolerantes à deficiência hídrica do solo e com resistência genética ao fungo *Microcyclus ulei*.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnológico Tocantins – IFTO;

Ao Governo do Estado do Tocantins, por meio da antiga Secretaria de Ciência e Tecnologia – SECT/Fundação de Amparo à Pesquisa do Tocantins - FAPT;

À Universidade de Aveiro – Departamento de Biologia e Ecologia, Aveiro-Portugal;

À Universidade Federal do Tocantins – UFT pelo apoio do Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais – LAMAM/UFT.

Referências

AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. San Diego: Academic Press, 2005. 952p.

ALMEIDA, H. A.; SANTANA, S. O.; SÁ, D. F. Zoneamento edafoclimático para a seringueira no sudeste da Bahia, com enfoque na incidência do mal-das-folhas. **Revista Theobroma**, Itabuna, v.17, p.111-123. 1987.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; AVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p.1057-1064, 2004.

ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; CORDEIRO, L. A. M.; EVANGELISTA, B. A. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (Editores). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília: Embrapa, cap. 11, p. 153 - 167. 2019.

BALBINO, L. C.; KICHEL, A. N.; BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de. Sistemas de integração: conceitos, considerações, contribuições e desafios. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (Editores). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília: Embrapa, cap. 1, p. 31 – 48. 2019.

BAKALARCZYK, I. D. **Efeito das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático para a cultura do *Eucalyptus grandis* no estado do Tocantins**. 2014. 54 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) Universidade Federal do Tocantins, Campus de Palmas, Palmas. 2014.

BARBARISI, B. F.; MARIN, F. R.; ASSAD, E. A.; BARBARISI, B. F.; PILAU, F. G.; PACHECO, L. R. F. Efeito das mudanças climáticas sobre a aptidão climática para a cana-de-açúcar no Estado de Goiás. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. **Anais...** Aracaju: SBA, 2007.

BICALHO, K. C.; OLIVEIRA, L. E. M. de; SANTOS, J. B. dos; MESQUITA, A. C.; MENDONÇA, E. G. Similaridade genética entre clones de seringueira (*Hevea brasiliensis*), por meio de marcadores RAPD. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p.1510-1515, set./out. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v32n5/23.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2020.

BORRACHA NATURAL. **Produção brasileira de borracha natural cai 1,2% em 2016**. Piracicaba, 2017. Disponível em: <http://borrachanatural.agr.br/cms/index.php?option=com_content&task=view&id=25710&Itemid=10>. Acesso em: 10 set. 2020.

BRITO, L. Governo do Tocantins incentiva plantio da seringueira como alternativa de renda para agricultores. Publicado em: 01 set. 2020 e atua. em: 15 maio 2021. Disponível em: <<https://www.to.gov.br/ruraltins/noticias/governo-do-tocantins-incentiva-plantio-da-seringueira-como-alternativa-de-renda-para-agricultores/6svuh8bcuv2>>. Acesso em: 17 maio 2021.

CAMARGO, A. P.; CARDOSO, R. M. G.; SCHIMIDT, N. C. Comportamento e ecologia do “mal-das-folhas” da seringueira nas condições do Planalto Paulista. **Bragantia**, Campinas, v. 26, p. 1-18, 1967.

CAMARGO, A. P.; SCHMIDT, N. C. South american leaf blight epidemics and rubber phenology in São Paulo. In: **International Rubber Conference**, Kuala Lumpur, Malaysia, p. 251-265, 1975.

CAMARGO, A. P. Aptidão climática para a heveicultura no Brasil. **Ecossistema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 1, p. 06-14, 1976.

CAMARGO, A. P.; MARIN, F. R.; CAMARGO, M. B. P. **Zoneamento climático da heveicultura no Brasil**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003. 19p. (Documentos Embrapa, n.24).

CAMPANHARO, W. A.; CECÍLIO, R. A.; SPERANDIO, H. V.; JÚNIOR, W. C. de J.; PEZZOPANE, J. E. M. Potencial impacto das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimático para a seringueira no Espírito Santo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 105-116, 2011.

CARMO, C. A. F. de S. do et al. **Aspectos culturais e zoneamento da seringueira no estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 49p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 60).

CECÍLIO, R. A.; MEDEIROS, S. S.; SILVA JÚNIOR, J. L. C.; SOUZA, J. A. Zoneamento agroclimático para a heveicultura na parte leste do Estado da Bahia. **Revista Bahia Agrícola**, Salvador, v. 7, n. 1, p. 14-17, 2006.

COELHO JÚNIOR, L. M.; REZENDE, J. L. P.; BORGES, L. A. C.; OLIVEIRA, A. D. Análise temporal da borracha natural brasileira. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p.19-26, 2009.

COLLICCHIO, E. **Zoneamento agroclimático e ambiental para a cultura da cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no estado do Tocantins**. 2008. 156 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 2008.

COLLICCHIO, E.; VICTORIA, D. de C.; PEREIRA, A. R.; TOLEDO, A. M. A. Implicações das mudanças climáticas no zoneamento agroclimáticos para a cana-de-açúcar no Tocantins. **Revista Ciência Agroambiental**, Palmas, v. 4, n. 1, p.195-203, jan./jun. 2009.

COLLICCHIO, E.; ROCHA, H. R.; VICTORIA, D. de C.; BALLESTER, M. V. R.; TOLEDO, A. M. A. Implicações das mudanças do clima no zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar no Estado de Tocantins, considerando o modelo GFDL. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, v. 08, n. 06, p. 1730-1747, 2015.

CONAB. **Análise mensal da borracha natural**. Brasília, mar. 2019. 3p. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 fev. 2021.

CORRÊA, L. T. dos S. P.; OLIVEIRA, M. D. M.; BENESI, J. F. C.; ESPERANTE, D. **Cartilha simplificada de gestão de custos em seringueais**. Goiânia: Sebrae – GO. 2018. 40p.

FAMATO. **Site oficial**. 2016. Disponível em: <https://sistemafamato.org.br/portal/famato/noticia_completa.php?codNoticia=236543>. Acesso em: 10 set. 2020.

FAOSTAT. **Site oficial da FAO**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 12 maio 2020.

FURTADO, E. L.; TRINDADE, D. R. Doenças da seringueira. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de fitopatologia: doenças das culturas**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, p. 559-569. 2005.

GASPAROTTO, L. **Epidemiologia do mal das folhas (*Microcyclus ulei*(P. Henn) v. Arx) da seringueira (*Hevea sp.*)**. 1988, 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

GOMES, J. J. **Estudo anatômico do xilema secundário das espécies de *Hevea* da Amazônia brasileira**. 1981. 205 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba, 1981.

GONÇALVES, P. de S. et al. **Uma história de sucesso: a seringueira no Estado de São Paulo**. 2002. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/agronomico/pdf/541_03pa72.pdf>. Acesso em: 10 maio 2020.

GONÇALVES, A. O.; MONTEIRO, L. L. Aptidão climática para cultura da seringueira no Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 237, p. 39-43, 2007.

GONÇALVES, R. C.; SÁ, C. P. de; DUARTE, A. A. F.; BAYMA, M. M. A. **Manual de heveicultura para a região sudeste do Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa, 2013. 152 p. (Documento 128).

IBÁ. **Relatório anual 2019**. Brasília, 2019. 80 p. Disponível em: <<https://iba.org/>>. Acesso em: 4 dez. 2020.

IBÁ. **Relatório anual 2020**. Brasília, 2020. 66 p. Disponível em: <<https://iba.org/>>. Acesso em: 7 dez. 2020.

IGRS, International Rubber StudyGroup. **Site oficial do IGRS**: relatórios. Disponível em: <<http://www.rubberstudy.org/reports>>. Acesso em: 12 mar. 2021.

IPCC. **Climate change 2013**: working group I: contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change working. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/docs/WGIAR5_SPM_brochure_en.pdf> Acesso em: 10 jun. 2020.

IPCC. **Summary for Policymakers**. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. 2018.

LIEBEREI, R. South American leaf blight of the Rubber Tree (*Hevea* spp.): new steps in plant domestication using physiological features and molecular markers. **Annals of Botany**, Oxford, v. 100, n. 6, p. 1125-1142, 2007.

MACEDO, R. L. G. et al. Introdução de clones de seringueira no noroeste do Estado de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 124-133, 2002.

MACIEL, G. F.; AZEVEDO, P. V. de; ANDRADE JÚNIOR A. S. de. Impactos do aquecimento global no zoneamento de risco climático da soja no estado do Tocantins. **Revista Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 141 -154, set/dez. 2009.

MARTÍNEZ, G. B.; AZEVEDO, C. M. B. C. de; SILVA, A. R.; BOTELHO, F. J. E.; OLIVEIRA, T. K. de; GODINHO, V. de P. C. Integração lavoura pecuária floresta na região Norte do Brasil. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (eds). **ILPF**: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília: Embrapa, cap. 37 p. 617 - 625. 2019.

MEDEIROS, A. G. **Novos conceitos sobre controle químico do "mal-das-folhas" da seringueira**. Itabuna: CEPEC-CEPLAC, 1976. 20 p. (Boletim Técnico, 35).

MMA, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável. Departamento de Extrativismo. **Seringueira**: boas práticas para o extrativismo sustentável orgânico. Brasília: MMA, 2016. 53 p.

MORENO, R. M. B. Propriedades físicas e propriedades tecnológicas da borracha natural. In: Alvarenga, A. P.; CARMO, C. A. F. S. (eds.) **Seringueira**. Viçosa: Epamig, p. 805 - 851. 2008.

NAPPO, M. E.; NAPPO, A. E.; PAIVA, H. N. de. Zoneamento ecológico de pequena escala para nove espécies arbóreas de interesse floresta no estado de Minas Gerais. **Revista Eletrônica de Engenharia Florestal**, n. 5, jan. 2005.

NAVES BARBIERO, C. C. **Efeito das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimático da *Hevea brasiliensis* no estado do Tocantins**. 2014. 109 f. Tese (Doutorado em Biologia e Ecologia das Alterações Globais) - Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal. 2014.

NIMER, E.; BRANDÃO, A. M. P. M. (Coord.) **Balço hídrico e clima da região dos cerrados**. Rio de Janeiro: IBGE. 1989. 166 p.

ORTOLANI, A. A. Aptidão climática para a cultura da seringueira em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 1, p. 08-12, 1985.

ORTOLANI, A. A. Agroclimatologia e o cultivo da seringueira. In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DA SERINGUEIRA NO ESTADO DE SÃO PAULO, 1. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.11-32.

PEREIRA, A. R. Crop planning for different environments. **Agricultural Meteorology**, v. 27, p. 71-77, 1982.

PEREIRA, A. R. Simplificado o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PEREIRA, J. P.; DORETTO, M.; LEAL, A. C.; CASTRO, A. M. G.; RUCKER, N. A. **Cadeia produtiva da borracha natural: análise diagnóstica e demandas atuais no Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. 85p.

PILAU, F. G.; MARIN, F. R.; CAMARGO, M. B. P.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; BARBARISI, B. F. Zoneamento agroclimático da heveicultura para as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p.161-168, 2007.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JÚNIOR, J. *et al.* Impacto do aumento da temperatura no zoneamento climático do café nos estados de São Paulo e Goiás. Avaliação dos cenários do IPCC. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. **Anais...** Fortaleza-CE, 2001.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, S. R. M.; ZULLO JR, J.; OTAVIAN, A. F.; ÁVILA, A. M. H.; EVANGELISTA, B. A.; MARIN, F. R.; JUNIOR, C. M.; PELLEGRINO, G. Q.; COLTRI, P. P.; CORAL, G. **A nova geografia da produção agrícola no Brasil**. In: DECONTO, J. G. (Org.). Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. 2ed. Campinas: Embrapa/UNICAMP. 2008. 84 p.

PRİYADARSHAN, P. M.; CLEMENT-DEMANGE, A. Breeding *Hevea rubber*: formal and molecular genetics. **Advances in Genetics**, v. 52, p. 51-105, 2004.

RAO, G. G.; RAO, P. S.; RAJAGOPAL, R.; DEVAKUMAR, A. S.; VIJAYAKUMAR, K. R.; SETHURAJ, M. R. Influence of soil, plant and meteorological factors on water relations and yield in *Hevea brasiliensis*. **International Journal of Biometeorology**, v. 34, p.175-180. 1990.

RAO, P. S.; JAYARATHNAM, K.; SETHURAJ, M. R. An index to assess areas hydrothermally suitable for rubber cultivation. **Indian Journal of Natural Rubber Research**, v. 6, n. 1& 2, p. 80-91, 1993.

REIS, C. F.; MORAES, A. da C. de; PEREIRA, A. V.; AGUIAR, A. V. de; SOUSA, V. A. de; BORGES, H. M. D. **Diagnóstico do setor de florestas plantadas no Estado de Goiás**. Brasília: Embrapa, 2015.

RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; BRUNINI, O. Ocorrência de condições ambientais para a indução do florescimento de laranjeiras no Estado de São Paulo. **Rev. Bras. Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 247-253, ago. 2006.

RIPPEL, M. M.; BRAGANÇA, F. do C. Borracha natural e nanocompósitos com argila. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 818-826, 2009.

RODRIGO, V. H. L. Ecophysiological factors under pinning productivity of *Hevea brasiliensis*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 19, n. 4, p. 245-255, 2007.

ROLDÃO, A. de F.; FERREIRA, V. de O. Climatologia do Estado do Tocantins – Brasil. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 59, p. 1161 – 1181. 2019.

SEMADES. Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Tocantins. **Reformulação da política estadual de florestas e elaboração do plano estadual de florestas do Tocantins (PEF/TO)**. Proposta preliminar do plano estadual de florestas. Curitiba: PEF/TO, 2013.

SEPLAN. Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente do Tocantins. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. Palmas: SEPLAN, 2005. 54p.

SEPLAN. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública do Tocantins. **Base de dados geográficos do Tocantins**. Palmas, 2012. (atualização de arquivos em escala 1:1000.000 do Atlas digital do Tocantins – base de dados geográficos).

SOFFIATTI, T. F.; FASSARELLA, R. A. **Sistema agroindustrial da borracha natural no estado do Espírito Santo**. Vitória: Ed. Milfontes, 2020. 132 p.

THORNTON, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, Michigan, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publications in Climatology**, New Jersey, Laboratory of Climatology, v. 8, n. 1, 1955. 104 p.

VALADARES, G. M.; LANDAU, E. C.; MAIA, N. L. M. Evolução da produção de borracha (*Hevea brasiliensis*, Euphorbiaceae). In: __. **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas**: produtos de origem animal e da silvicultura. Embrapa. cap. 43. p. 1403 – 1432. 2020.

Van BEILEN, J. B.; POIRIER, Y. Establishment of new crops for the production of natural rubber. **Trends in Biotechnology**, v. 25, n. 11, p. 522-529. 2007.



PARTE IV

Mudanças do Clima: Riscos,
Vulnerabilidades, Adaptação, Mitigação,
Ações Internacionais e Desenvolvimento





Não falta informação que justifique a inação.



Thelma Krug

*Vice presidente do IPCC e ex-Pesquisadora do INPE
Durante o Programa “Ciência Aberta” - “Mudanças Climáticas Globais”,
realizado pela FAPESP, em 29/04/2019.*



É essencial, portanto, aumentar o investimento e ampliar a adoção das modalidades sustentáveis na agricultura e aumentar a escala da restauração de áreas degradadas. Só assim será possível diminuir a vulnerabilidade do produtor rural a eventos extremos e proteger a produção de alimentos e de commodities para gerar riqueza e empregos no campo, além de tornar o Brasil uma liderança global da produção de alimentos mais sustentáveis e resilientes.



Eduardo Assad¹ e Miguel Calmon²

*¹Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária e ²Diretor de Florestas do WRI Brasil e membro da Coalizão Brasil Clima, Florestas e Agricultura.
Extraído do artigo publicado na Agroanalysis de fevereiro de 2020.*

Autores das fotos da capa da Parte IV

Reunião Rio 92: Luciana Whitaker/Folhapress, obtida no site: <http://g1.globo.com/natureza/rio20/noticia/2012/05/considerada-fracasso-na-epoca-rio-92-foi-sucesso-para-especialistas.html>

Casa no meio rural: Erich Collicchio

Sistema integrado: Pedro Henrique Rezende de Alcântara - Embrapa

Riscos e Vulnerabilidades Face às Mudanças Climáticas

Pedro Roberto Jacobi¹

¹Professor Titular da Faculdade de Educação e do Programa de Pós- Graduação em Ciência Ambiental/ Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (PROCAM/IEE/USP)

Introdução

As mudanças climáticas e o aumento dos eventos extremos têm explicitado a vulnerabilidade das metrópoles brasileiras marcadas por um modelo de urbanização socialmente excludente e negligente com os sistemas ecológicos. Mais que naturais, os cenários de risco e as fatalidades urbanas estão associados à pobreza, desigualdades e falta de um ethos de prevenção.

A ação humana na natureza está promovendo alterações de grande escala na superfície terrestre há pelo menos um século. A compreensão dos fatores determinantes dos padrões climáticos mundiais desafia tanto os pesquisadores especializados como a população em geral, sobretudo devido às recentes conclusões do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2013). O IPCC projeta um cenário radical que afetará a Terra inteira, considerando a polêmica hipótese de ser o dióxido de carbono (CO₂) a principal causa do aquecimento. Haverá eventos climáticos extremos, mudanças de ecossistemas, ascensão do nível do mar, migração de populações, desaparecimento de geleiras de altitude, redução das calotas polares e alterações da disponibilidade de recursos.

O aquecimento global causado pelo aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera, devido a ações antrópicas, influencia temperaturas e circulações oceânicas, que por sua vez atuam para modificar circulações atmosféricas que terão um impacto no funcionamento dos ecossistemas. Em particular a precipitação pode ser alterada em várias regiões do globo, afetando o manejo da água de forma geral e, com isso, a agricultura, energia e atividades socioeconômicas nas grandes cidades. Toda esta interação tem um custo socioeconômico que pode ser avaliado e posteriormente associado à vulnerabilidade das populações.

A degradação constante do ambiente tem incidido em profundas interferências na capacidade de suporte dos ecossistemas do planeta. Para Rockström *et al.* (2009), os impactos antropogênicos vêm transgredindo limites

seguros de operação global, como no caso do ciclo global de nitrogênio, da taxa de perda de biodiversidade e das mudanças climáticas. O entendimento de que o planeta está entrando em uma nova época geológica, proposta sob a denominação de Antropoceno, em que as ações humanas se constituem como a força dominante de mudanças da biosfera (CRUTZEN, 2002) indica os impactos antropogênicos nos ecossistemas como resultado do processo de busca de recursos materiais e melhores condições de vida para crescentes populações, ocasionadas pelo homem a partir do início da Revolução Industrial. O impacto se verifica na crescente alteração da capacidade de provimento de serviços ecossistêmicos, os quais são essenciais no suporte à qualidade de vida dos humanos. Dentre os principais elementos por trás do risco, destaca-se uma população mundial que deve subir dos atuais 7 bilhões para 9 bilhões em meados do século, mas também o consumo ineficiente e danoso de recursos, e o que um número cada vez maior de cientistas afirma é que no prazo de poucas décadas, muitos ecossistemas vitais poderiam sofrer danos duradouros ou irreversíveis por causa do aquecimento provocado pelo homem (JACOBI, 2012)

O tema das alterações climáticas está se transformando em algo que supera as dimensões de um problema ambiental. As mais importantes sociedades científicas são cada vez mais unânimes em afirmar que a humanidade tornou-se a principal força de mudança geológica do planeta e a capacidade do planeta para continuar assimilando e atenuando os impactos vindos da pressão humana está dando visíveis sinais de esgotamento. O grupo liderado por Rockström *et al.* (2009) indica a necessidade de definição dos limites planetários, e coloca a questão sobre o espaço seguro de operação cuja ultrapassagem impede que o planeta continue oferecendo os serviços ecossistêmicos que, até aqui, têm permitido o processo de desenvolvimento.

Cabe observar, entretanto que todas as possibilidades inerentes à resiliência, mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas requerem, primeiramente, o reconhecimento de toda a sociedade, tanto para o que diz respeito às ações pertinentes em nível individual, de comunidade, regional, nacional ou internacional. Para a tomada de decisões, estabelecimento de agendas e de ações, o primeiro requisito, é, a percepção do problema e de sua relevância (JACOBI, 2014).

A ciência avançou na identificação de fronteiras planetárias dentro das quais a humanidade poderia operar de forma segura em referência ao funcionamento do sistema terrestre. A transgressão dessas fronteiras implica entrar numa zona de risco de ruptura ambiental sistêmica. Rockström e sua equipe identificam nove fronteiras planetárias sete das quais são passíveis de serem quantificadas: mudança climática; acidificação dos oceanos; ozônio; ciclo biogeoquímico do nitrogênio e fósforo; uso da água doce; mudanças no uso da terra; biodiversidade; poluição química; e concentração de aerossóis na atmosfera. Cabe destacar que

três dessas nove fronteiras planetárias já foram ultrapassadas: mudança climática, taxa de perda de biodiversidade e ciclo do nitrogênio.

Uma das mais importantes contribuições científicas que se tornou parte do argumento central está associada com o conceito de Resiliência, que implica na capacidade de um sistema (um indivíduo, uma floresta, uma cidade ou uma economia) lidar com a mudança incremental ou abrupta e prosseguir em seu desenvolvimento. O que as pesquisas têm demonstrado, é que os sistemas, longe de mudarem de forma contínua e gradativa, conhecem mudanças bruscas, inesperadas e, muitas vezes, irreversíveis. Giddens (2010) considera que as mudanças climáticas demandam uma ação contundente, contínua e multissetorial na qual o Estado seja o indutor. A intangibilidade dos perigos representados pelo aquecimento global, tem configurado avanços lentos, num contexto global que demanda grandes transformações, e no qual as mudanças climáticas estão deixando de ser uma preocupação fundamentalmente ecológica ou ambiental.

Para Giddens (2010), os Estados devem promover ações antecipatórias, o que muito pouco tem acontecido, incentivando as empresas, o terceiro setor e o cidadão em termos de políticas a longo prazo; a enfrentar os riscos da mudança climática e da energia em relação a outros riscos enfrentados pelas sociedades atuais. Diversas ações se tornam estratégicas; e cabe destacar a importância da convergência política e econômica entre a mudança climática e a política energética. A descarbonização é um caminho importante, assim como fortalecer o tema da mudança climática na agenda política; e finalmente ampliar diálogos entre ciência, governos e sociedade e capacitar atores sociais dos diferentes segmentos, público e privado, para promover ações e políticas de adaptação às consequências da mudança climática e integrar os aspectos locais, regionais, nacionais e internacionais da política de mudança climática (JACOBI, 2014).

Riscos

A multiplicação dos riscos, em especial os ambientais e tecnológicos de graves consequências, são elementos chave para entender as características, os limites e as transformações da nossa modernidade. Os riscos contemporâneos (BECK, 2008) explicitam os limites e as consequências das práticas sociais, trazendo consigo um novo elemento a “reflexividade”. A sociedade, produtora de riscos, se torna crescentemente reflexiva, o que significa dizer que ela se torna um tema e um problema para si própria. A sociedade se torna cada vez mais autocrítica, e ao mesmo tempo em que a humanidade põe a si em perigo, reconhece os riscos que produz e reage diante disso. A sociedade global “reflexiva” se vê obrigada a autoconfrontar-se com aquilo que criou, seja de positivo ou de negativo. O conceito

de risco passa a ocupar um papel estratégico para entender as características, os limites e as transformações do projeto histórico da modernidade (BECK, 2008).

Os riscos estão diretamente relacionados com a modernidade reflexiva e os ainda imprevisíveis efeitos da globalização, enquanto uma radicalização dos princípios da modernidade (BECK, 2010). O desenvolvimento do sistema industrial criou um mundo pautado pela incerteza e a “modernização reflexiva” da alta modernidade. Na sociedade de risco, o impacto da globalização, as transformações do cotidiano e o surgimento da sociedade pós-tradicional se caracteriza pela sua instantaneidade, embora contraditória que inter-relaciona o global e o local e configura novas formas de desigualdades. Os conflitos se centram em torno da produção e da distribuição de riscos, que não necessariamente são intencionais, mas resultado de um processo de modernização autônomo. Assim, o progresso gerado pelo desenvolvimento da ciência e da tecnologia passa a ser considerado como fonte potencial de autodestruição da sociedade industrial, a partir do qual se produzem, por sua vez, novos riscos, de caráter global – afetando o planeta, atravessando fronteiras nacionais e de classes (GUIVANT, 2005). Enquanto nas sociedades tradicionais, os sistemas peritos eram pouco ligados a sistemas técnicos e inacessíveis para leigos, nas sociedades de alta modernidade, introduzem-se novas formas de perigo, assim como novas relações entre sistemas de conhecimento leigos e peritos, num contexto no qual a avaliação dos riscos é, em grande parte, imponderável.

A nova realidade globalizada pós-tradicional da modernidade radicalizada gera crescente incerteza, mutabilidade e reflexividade. O progresso pode se transformar em autodestruição, onde um tipo de modernização destrói o outro e o modifica. Coloca-se, portanto, a possibilidade de se reinventar, ou repensar, a civilização industrial, ao se sugerir uma (auto) destruição criativa (BECK, 2008). Observa-se uma transformação da sociedade industrial, originando a sociedade de risco.

É cada vez mais notória a complexidade desse processo de transformação de uma sociedade crescentemente não só ameaçada, mas diretamente afetada por riscos e agravos socioambientais.

Num contexto marcado pela degradação permanente do meio ambiente e do seu ecossistema, a problemática envolve um conjunto de atores do universo educativo em todos os níveis, potencializando o engajamento dos diversos sistemas de conhecimento, a capacitação de profissionais e a comunidade universitária numa perspectiva interdisciplinar.

A essência da crise ambiental é a incerteza, e isto terá maior ou menor impacto de acordo com a forma como a sociedade promove ações em direção à sustentabilidade. Segundo Beck (2010) isto levanta a questão da autolimitação do desenvolvimento, assim como da tarefa de redeterminar os padrões

(de responsabilidade, segurança, controle, limitação do dano e distribuição das conseqüências do dano) atingidos até aquele momento, levando em conta as ameaças potenciais.

Existe, portanto a necessidade de se incrementar os meios e a acessibilidade à informação, bem como o papel indutivo do poder público nos conteúdos educativos e informativos de sua oferta, como caminhos possíveis para alterar o quadro atual de degradação socioambiental. Trata-se de promover o crescimento da consciência ambiental, expandindo a possibilidade da população participar em um nível mais alto no processo decisório, como uma forma de fortalecer sua corresponsabilidade na fiscalização e no controle dos agentes de degradação ambiental (JACOBI, 2012).

Há uma demanda atual para que a sociedade esteja mais motivada e mobilizada para assumir um papel mais propositivo, bem como de ser capaz de questionar, de forma concreta, a falta de iniciativa do governo em implementar políticas ditadas pelo binômio da sustentabilidade e do desenvolvimento num contexto de crescente dificuldade na promoção da inclusão social.

Nessa direção, a problemática ambiental constitui um tema muito propício para aprofundar a reflexão e a prática em torno do restrito impacto das práticas de resistência e de expressão das demandas da população das áreas mais afetadas pelos constantes e crescentes agravos ambientais. Mas representa também a possibilidade de abertura de estimulantes espaços para a implementação de alternativas diversificadas de democracia participativa, notadamente a garantia do acesso à informação e a consolidação de canais abertos para uma participação plural.

A postura de dependência e de desresponsabilização da população decorre principalmente da desinformação, da falta de consciência ambiental e de um déficit de práticas comunitárias baseadas na participação e no envolvimento dos cidadãos, que proponham uma nova cultura de direitos baseada na motivação e na co-participação na gestão do meio ambiente, nas suas diversas dinâmicas.

Refletir sobre a complexidade ambiental abre um estimulante espaço para compreender a gestação de novos atores sociais que se mobilizam para a apropriação da natureza, para um processo educativo articulado e comprometido com a sustentabilidade e a participação, apoiado numa lógica que privilegia o diálogo e a interdependência de diferentes áreas de saber. Mas também questiona valores e premissas que norteiam as práticas sociais prevalentes, isto implicando numa mudança na forma de pensar, uma transformação no conhecimento e das práticas educativas.

A complexidade do processo de transformação de um planeta não apenas crescentemente ameaçado, mas também diretamente afetado pelos riscos socioambientais e seus danos é cada vez mais notória.

A ênfase em práticas que estimulam a interdisciplinaridade e a transversalidade revela o grande potencial que existe para sair do lugar comum e o trabalho com temáticas que incitam mudanças no comportamento, na responsabilidade socioambiental e na ética ambiental, o que estimula outro olhar. Trata-se da importância de compreender a complexidade envolvida nos processos e o desafio de ter uma atitude mais reflexiva e atuante e, por conseguinte, que os cidadãos se tornem mais responsáveis, cuidadosos e engajados em processos colaborativos com o meio ambiente (WALS, 2007).

Na sociedade contemporânea, os espaços sociais têm tradicionalmente se dividido entre uma massa de executores e de especialistas autorizados a deliberar, planejar e decidir, legitimados por imposições de caráter coercitivo, tanto no plano material como no plano simbólico. Ciência e conhecimentos da experiência cotidiana de autores-sujeito de seu próprio processo de sobrevivência se divorciam, fortalecendo-se as barreiras e fronteiras simbólicas entre os diferentes estratos sociais, cada vez mais hierarquizados. Nesse contexto se reconfiguram permanentemente os espaços formativos e educativos, nas suas diferentes configurações.

O caminho para uma sociedade sustentável se fortalece na medida em que se ampliem práticas sociais, educativas e de comunicação que, pautadas pelo paradigma da complexidade, conduzam para uma atitude reflexiva em torno da problemática ambiental, visando traduzir o conceito de ambiente na formação de novas mentalidades, conhecimentos e comportamentos. A ênfase na abordagem da complexidade coloca-se como uma alternativa para a busca de novas formas de gerar conhecimento, e promove uma inflexão na estrutura consolidada que gerou uma hierarquia de saberes.

O aprendizado é um fenômeno que reflete a natureza social do homem, no contexto de suas experiências de participação no mundo. O maior desafio é a valorização do caráter social do aprendizado e dos aspectos colaborativos envolvidos nas comunidades de prática. O foco na promoção da sustentabilidade e de uma visão pautada pela importância de aprofundar e multiplicar conhecimentos como processos que permitam ampliar o número de pessoas no exercício deste conhecimento visa potencializar interações que tragam avanços substanciais na produção de novos repertórios e práticas sociais focadas na sustentabilidade e bem estar humano.

Os desafios

Assim enquanto se destaca a complexidade dos eventos e a necessidade de um diálogo entre ciência, gestores e sociedade, se observa a prevalência de

uma racionalidade cognitivo-instrumental, que no geral desconsidera a dimensão interdisciplinar dos problemas que afetam e mantem a vida em nosso planeta. Para tanto, coloca-se o desafio de ruptura com a compartimentação do conhecimento e marginalização da diversidade de saberes, e isto envolve um conjunto de atores do universo educativo em todos os níveis. Abre-se a possibilidade de potencializar outras racionalidades para o engajamento dos diversos sistemas de conhecimento, da formação e profissionalização, fortalecendo conteúdos e conhecimento baseados em valores e práticas sustentáveis, indispensáveis para estimular o interesse, o engajamento e a responsabilização.

Talvez um dos maiores desafios que se colocam atualmente para ampliar o diálogo entre ciência e política é de fortalecer e ampliar o campo de atores relevantes e enfatizar conteúdos e conhecimento apoiados em valores e práticas sustentáveis, essenciais para estimular o interesse, engajamento e estímulo à responsabilidade compartilhada.

Assim, a multiplicação dos problemas ambientais tem imposto às diversas disciplinas científicas temas para os quais estas não estavam anteriormente preparadas e para cujo enfrentamento se demanda reformular os parâmetros de ensino e pesquisa. Sem renunciar às especialidades disciplinares atualmente em vigor, mas certamente contribuindo para sua reformulação e desenvolvimento, a noção dos problemas socioambientais recoloca o ser humano no centro das preocupações e dos programas científicos.

A temática ambiental recoloca o ser humano no centro das agendas globais e dos programas científicos. A visão de complexidade e os enfoques de conhecimento se consolidam com base em referenciais que estimulam diálogos da problemática ambiental sobre as transformações metodológicas e os diálogos interdisciplinares. Nesse sentido, o trabalho intersetorial se apresenta como uma importante contribuição para estabelecer melhores condições para uma lógica cooperativa e para abrir um novo espaço, não só para a sociedade civil, mas também para os sistemas peritos (GIDDENS, 1992). A ênfase em práticas que estimulam a interdisciplinaridade e a transversalidade revela o grande potencial que existe para o trabalho com temáticas que incitam mudanças no comportamento, na responsabilidade socioambiental e na ética ambiental, o que estimula outro olhar. Trata-se da importância de compreender a complexidade envolvida nos processos e o desafio de ter uma atitude mais reflexiva e atuante e, por conseguinte, que os cidadãos se tornem mais responsáveis, cuidadosos e engajados em processos colaborativos com o meio ambiente (WALS, 2007).

Face à imprevisibilidade das consequências das mudanças climáticas, diversas questões se colocam nos dias de hoje associadas com a necessidade de

definir estratégias para enfrentar as mudanças climáticas, tornar a sociedade mais reflexiva e, portanto, mais resiliente aos efeitos diretos e indiretos das mudanças climáticas, sensibilizar e criar condições para promover ações pautadas pelo reconhecimento dos riscos, e inclusão da temática das mudanças climáticas na formação acadêmica. Avanços interdisciplinares na forma de diálogo entre saberes acadêmicos e sociedade, podem favorecer com que os mais distintos atores sociais, inclusive, na qualidade de sujeitos dos riscos, possam se apropriar de elementos das interações entre variabilidade climática regional com outros problemas socioambientais.

A relação entre a formação de quadros profissionais nas áreas pública e privada que tenham maior compreensão e domínio dos aspectos que compreendem o enfrentamento dos riscos se torna determinante para fazer frente à magnitude dos eventos naturais adversos, assim, potencializando a redução da vulnerabilidade das comunidades e, portanto, minimizando a intensidade dos desastres e de riscos indiretos que interagem de forma sistêmica com outros aspectos ambientais e sociais em distintas escalas espaciais e temporais. Os riscos associados às mudanças climáticas e ambientais implicam em ampla revisão das práticas de governança dos riscos, como estratégia de enfrentamento dos problemas, fortalecendo-se os processos de governança adaptativa, o que requer que os processos decisórios sejam abertos e participativos. Isto demanda novas estratégias, que pautadas pelo diálogo, impliquem em políticas para enfrentar problemas e riscos com a ampliação dos atores envolvidos de forma a contribuir com seu conhecimento para complementar o conhecimento técnico (JACOBI, 2014).

A adaptação à mudança climática global e a transição para a economia verde demandarão novas capacitações, em particular, novas especialidades ocupacionais, modos de aprendizado, gestão e maior esforço de pesquisa. Todo o sistema de educação e treinamento, no mundo todo, terão que mudar, para atender a esta nova demanda. Hoje já se observa falta de recursos humanos especializados em muitas das áreas emergentes da economia verde e na capacitação para a formulação de propostas alternativas e inovadoras tanto na gestão pública quanto no setor privado (JACOBI; SINISGALLI, 2012).

Os desafios existentes para articular estes atores em processos que geram decisões num contexto de complexidade são múltiplos e estão fortemente associados à necessidade de dar transparência e aproximar os atores a questões colocadas pela sociedade de risco, e afirma a necessidade de multiplicar conhecimentos diálogos.

Os diálogos interdisciplinares demandam novas formas de abordagem na relação com os atores sociais envolvidos nas quais, conforme De Marchi; Ravetz (1999), se evidenciam que fenômenos emergentes, como acidentes

industriais ou tecnológicos, serão de forma crescente uma constante num cenário de complexos sistemas sócio técnicos. O grande desafio está na necessidade de dar transparência ao conteúdo em atividades de educação ambiental que com foco nas questões colocadas pela sociedade de risco reforçam a necessidade de colocar em debate temas que têm, nos diferentes tipos de incerteza, a necessidade de multiplicar conhecimentos e diálogos.

Funtowicz; Ravetz (1997) apresentam um método, que baseado no reconhecimento da incerteza, da complexidade e da qualidade, que denominam de “ciência pós-normal”. Essa abordagem tem nas “comunidades ampliadas de pares”, descritas por meio de grupos focais, júris de cidadãos, conferências de consenso, fóruns consultivos cujos stakeholders tenham algum grau de legitimidade e influência, atores estratégicos para estimular e legitimar o diálogo e respeito entre diferentes campos do saber e possibilitar maior qualidade e validade para o saber científico.

Entretanto, cabe destacar a importância deste diálogo ser ampliado junto aos processos políticos, na medida em que existem enormes dificuldades de gerar explicações para situações complexas e fenômenos emergentes, com riscos e graves consequências que demandam ações urgentes frente a incertezas sistêmicas.

Face às incertezas se coloca a necessidade de promover práticas que estimulem uma lógica não apenas de prevenção, mas principalmente de prevenção, que seja capaz de lidar e orientar planos de ação face às ocorrências inesperadas.

A lógica dominante se reflete na medida em que os cientistas desenvolvem dados e modelos e conclusões, e esperam que a sociedade aceite suas conclusões porque seus métodos e seus interesses são estabelecidos dentro da comunidade científica. Porém a ciência não é nem social nem politicamente inerte, principalmente se suas conclusões demandam mudanças no modo de vida da sociedade. E a comunidade científica tem a complexa tarefa de reconhecer seu alcance sobre a sociedade e comunicar seu impacto.

Mudanças Climáticas e o Desafio de Aprendizagem Social

Torna-se cada vez mais importante ampliar os diálogos entre ciência e sociedade, e o maior desafio é o de criar oportunidades de aprendizagem social. Trata-se de multiplicar os processos de capacitação, nos quais prevaleça a promoção de processos de capacitação, no quais se multipliquem práticas de engajamento dos tomadores de decisão nas relações de diálogo que reforcem as dimensões participativa, de práticas compartilhadas de conhecimento e de estímulo à corresponsabilidade para decidir quais cenários de sustentabilidade se deseja (JACOBI; GIATTI; AMBRIZZI, 2014).

A aprendizagem social representa um ato cultural também, na medida em que se compartilha e amplia o repertório de ações para enfrentar a complexidade, necessidade de mudança de práticas sócio-institucionais e políticas numa perspectiva de diálogo e reforma do pensamento e valores relacionados com os mecanismos de adaptação da sociedade às mudanças climáticas.

Isto demanda multiplicar atividades de capacitação dos atores sociais chave como os governos locais e os agentes econômicos, na medida em que se pretende integrar uma reflexão que problematiza e se buscam respostas desde uma perspectiva participativa, múltipla e democrática.

Aprendizagem social e Governança adaptativa

Face à imprevisibilidade das consequências das mudanças climáticas, diversas questões se colocam nos dias de hoje: Como traçar estratégias para enfrentar as mudanças climáticas? Como tornar a sociedade mais reflexiva e, portanto, mais resiliente aos efeitos diretos e indiretos das mudanças climáticas? Como sensibilizar e criar condições para promover ações pautadas pelo reconhecimento dos riscos? E como ampliar o escopo de atuação da comunicação e marketing nas questões inerentes aos riscos em práticas de educação ambiental que deveriam estar cada vez mais inseridas no cotidiano das pessoas?

A relação entre a formação de quadros nas áreas pública e privada que tenham maior compreensão e domínio dos aspectos que compreendem o enfrentamento dos riscos se torna determinante para fazer frente à magnitude dos eventos naturais adversos, assim, potencializando a redução da vulnerabilidade das comunidades e, portanto, minimizando a intensidade dos desastres e de riscos indiretos que interagem de forma sistêmica com outros aspectos ambientais e sociais em distintas escalas espaciais e temporais. Para isso, avanços interdisciplinares na forma de diálogo entre saberes acadêmicos e sociedade, podem favorecer com que os mais distintos atores sociais, inclusive, na qualidade de sujeitos dos riscos, possam se apropriar de elementos das inter-relações entre variabilidade climática regional com outros problemas socioambientais.

Os riscos associados às mudanças climáticas e ambientais implicam em ampla revisão das práticas de governança dos riscos, como estratégia de enfrentamento dos problemas, fortalecendo-se os processos de governança adaptativa, o que requer que os processos decisórios sejam abertos e participativos. Isto demanda novas estratégias, que pautadas pelo diálogo, impliquem em políticas para enfrentar problemas e riscos com a ampliação dos atores envolvidos de forma a contribuir com seu conhecimento para complementar o conhecimento técnico.

A adaptação à mudança climática global e a transição para a uma economia que avança rumo à descarbonização demandarão novas capacitações, em particular,

novas especialidades ocupacionais, modos de aprendizado, gestão e maior esforço de pesquisa. Todo o sistema de educação e treinamento, no mundo todo, terá de ser modificado para atender a esta nova demanda. Hoje já há falta de recursos humanos especializados em muitas das áreas emergentes da economia verde e na capacitação para a formulação de propostas alternativas e inovadoras tanto na gestão pública quanto no setor privado.

O maior desafio é criar oportunidades de aprendizagem social ativas, nas quais haja o real envolvimento dos sujeitos em relações de diálogo, que favoreçam: a percepção da diversidade de opiniões e visões de mundo; a mediação de interesses individuais e coletivos; e a possibilidade de ampliação de repertórios que aumentem a capacidade de contextualizar e refletir (GLASSER, 2007).

O arcabouço teórico da Aprendizagem Social nos demonstra que o aprendizado conjunto é fundamental para que as tarefas comuns e a construção de um acordo para a gestão de recursos naturais, levando em conta o processo no qual está inserida, seu contexto e seus resultados, levem ao entendimento da complexidade das questões ambientais que precisam ser decididas. Isso reforça a dimensão da participação, compartilhamento e co-responsabilização para decidir quais cenários de sustentabilidade desejados.

O conceito pretende, portanto, integrar os seguintes fatores: uma reflexão crítica; o desenvolvimento de um processo participativo, múltiplo e democrático; a construção de uma percepção partilhada do problema em relação ao grupo de atores sociais envolvidos; e o reconhecimento das interdependências e das interações dos atores.

A crescente incorporação da dimensão socioambiental ao processo de gestão empresarial e nas políticas públicas envolve a discussão de múltiplos aspectos, que requer a incorporação de novos conceitos e métodos no qual as políticas, processos, práticas e programas se tornam partes integrantes da lógica de governança global. Assim além da responsabilidade social se incorpora a dimensão da sustentabilidade numa formação profissional que qualifique o formando a desenvolver práticas que agreguem os interesses dos stakeholders, e promova ações pautadas pela inovação e criatividade, sendo que comunicação e estratégias criativas e inovadoras de diálogo comunitário serão cada vez mais importantes.

Para tanto quanto mais as ações de capacitação dialogarem com visões pautadas pela existência de riscos promovidos pela sociedade humana, denominados de efeitos antrópicos, maiores serão as possibilidades de formar atores sociais mobilizadores e multiplicadores nos diversos setores da sociedade. No entanto para quebrar o hiato existente entre o reconhecimento da crise social e ambiental e a construção real de práticas capazes de estruturar as bases de uma sociedade sustentável, coloca-se a necessidade de fortalecimento de comunidades

de prática e da Aprendizagem Social. Estes são caracterizados como processos que permitam ampliar o número de pessoas no exercício deste conhecimento e a comunicação entre essas pessoas, de modo a potencializar interações que tragam avanços substanciais na produção de novos repertórios e práticas de mobilização social para a sustentabilidade.

A abordagem da governança representa um repensar das formas inovadoras de gestão, articulando o elemento político, que consiste em balancear os vários interesses e realidades; o fator credibilidade, por meio de instrumentos que apoiem as políticas, e faça com que as pessoas se reconheçam na formulação e implementação de ações voltadas à resolução concreta dos problemas socioambientais e nas múltiplas dimensões envolvidas. O processo de governança envolve múltiplas categorias de atores, instituições, inter-relações e temas, cada um dos quais suscetíveis a expressar arranjos específicos entre interesses em jogo e possibilidades de negociação, expressando aspectos de interesse de coletividades, com ênfase na prevalência do interesse comum. Configura a construção, muitas vezes de forma controversa, das condições para a definição de novos espaços institucionais, para as relações entre peritos e leigos, técnicos e usuários, e entre os setores público e privado.

Nesse sentido, a Aprendizagem Social implica em promover mais colaboração e desenvolver práticas comunicativas que estimulem um engajamento cooperativo e não diretivo dos diversos atores envolvidos. O que se pretende é que estes atores disponham de instrumentos e de novas habilidades para maximizar os benefícios da sua participação. Isto abre caminhos para incrementar o potencial de fortalecer espaços de diálogos horizontalizados, de aprendizagem, mediando experiências de diferentes atores sociais.

Pressupõe atuação em rede, atuação integrada e o ganho de poder dos atores envolvidos na gestão, interagindo com os tomadores de decisões. O fortalecimento da governança ambiental pode ter muitas estratégias (institucionais ou não), como as arenas de negociação, as práticas educativas e a participação da sociedade civil, ferramentas para contribuir para o processo de construção de tomada de decisão compartilhada.

O atual debate sobre governança reconhece a necessidade de ampliação do número de atores a serem envolvidos na gestão pública e impulsiona novas formas de articulação político-administrativa, frequentemente se aproximando da estrutura de rede como princípio básico de organização, fenômeno crescentemente assimilado pelo atual debate sobre governança.

Isto demanda aumentar o grau de interação dos diversos atores sociais, o que se faz necessário enquanto concepção de governança interativa. Assim, coloca-se a necessidade de os gestores públicos promoverem condições favoráveis para que as

interações dos diversos atores sociais, imprescindíveis para lidar com a diversidade, dinâmica e complexidade, possam ocorrer. Neste sentido, é fundamental o papel dos governos junto às instituições e estruturas de participação, na definição de princípios normativos que norteiem a dimensão intencional da governança.

Portanto, coloca-se a necessidade de estimular condições de responsabilidade (*accountability*), através do envolvimento e da participação da sociedade civil organizada e dos cidadãos na formulação, implementação e no controle das políticas públicas.

Não são poucos os desafios, e principalmente as estratégias que devem ser pautadas por uma revisão da governança que promova transparência, responsabilidade e efetividade. Neste contexto, a cooperação e inovação por meio de práticas participativas e coordenação entre políticas públicas e atores que permita avançar na governança, e isto implica em construir relações no contexto da política, dos interesses políticos e das propostas de políticas, enfatizando três fatores: credibilidade, intersetorialidade e instrumentos adequados para viabilizar a implementação das propostas de ação.

Para tanto se faz necessário, o fortalecimento dos *decision makers* dos setores público e privado no contexto das mudanças globais, através de programas de capacitação para a liderança no processo decisório integral, nos aspectos inter-relacionados e interdependentes, que se tornam estratégicos face às mudanças climáticas e seus aspectos associados com desenvolvimento sustentável, economia, política e sociedade.

Referências

- BECK, U. **World at risk**. Cambridge: Polity Press, 2008.
- BECK, U. **Sociedade de risco**. São Paulo: Ed. 34, 2010.
- CRUTZEN, P. J. Geology of mankind: the Anthropocene. **Nature**, p. 415-423. 2002.
- DE MARCHI, B.; RAVETZ J. R. Risk management and governance: a post-normal science approach. **Futures**, London, v. 31, n.7, p. 743-757. sep. 1999.
- FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J. R. Science for the post-normal age. **Futures**, n. 25, p.735-755, 1993.
- FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J. R. Ciência pós-normal e comunidades ampliadas de pares face aos desafios ambientais. **História, Ciência, Saúde**, v. 4, n.2, p. 219-230. 1997.

GIDDENS, A. **A política da mudança climática**. Rio de Janeiro: Zahar, 2010.

GIDDENS, A. **Conseqüências da modernidade**. São Paulo: Ed. Unesp, 1991.

GLASSER, H. Minding the gap - the role of social learning in linking our stated desire for a more sustainable world to our everyday actions and policies. In: WALSH, A. (Ed.) **Social learning: towards a sustainable world**. Wageningen: Academic Publishers, 2007.

GUIVANT, J. A teoria da sociedade de risco de Ulrich Beck: entre o diagnóstico e a profecia. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 16, p. 95-112, 2005

IPCC. **Climate change 2013: the physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. 1.535 p.

JACOBI, P. R. Governança ambiental, participação social e educação para a sustentabilidade. In: PHILIPPI, A. et al. (Ed.) **Gestão da natureza pública e sustentabilidade**. São Paulo: Manole, 2012.

JACOBI, P. R.; SINISGALLI, P. A. Governança ambiental e economia verde. **Ciênc. Saúde Coletiva** [online], v.17, n.6, p. 1469-1478. 2012.

JACOBI, P. R. Mudanças climáticas e ensino superior: a combinação entre pesquisa e educação. **Educar em Revista**, n.3, p. 57-72. 2014.

JACOBI, P. R.; GIATTI, L.; AMBRIZZI, T. Interdisciplinaridade e mudanças climáticas: caminhos de reflexão para a sustentabilidade. In: PHILIPPI, A.; FERNANDES, V. (Eds.) **Práticas de interdisciplinaridade no ensino e na pesquisa**. São Paulo: Manole, cap. 13. 2014.

RAVETZ, J. The post-normal science of precaution. **Futures**, London, v.36, n. 3, p. 347-357, apr. 2004.

ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, A.; CHAPIN, F. S. III.; LAMBIN, E. et al. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. **Ecology and Society**, v.14, n.2, 2009.

WALS, A. **Social learning: towards a sustainable world**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2007.

Divaldo José da Costa Rezende¹; Stefano Merlin²

¹Engenheiro Agrônomo, Mestre em Políticas Ambientais e Recursos Rurais, Doutor em Biologia, Consultor Internacional Independente e Vice-Presidente do Instituto Ecológico; ²Economista e Administrador de Empresas e Doutorando em Ciências Biológicas, e CEO e acionista da Sustainable Carbon.

“Apesar de tudo, à medida que avançamos para a terra desconhecida do amanhã, é melhor ter um mapa geral e incompleto, sujeito a revisões, do que não ter mapa algum”

Alvim Tofler

Escritor e futurista norte-americano

1 - Introdução

O Protocolo de Quioto estabelece, no seu Art. 12^o, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL, um instrumento econômico que visa a viabilizar projetos de redução e sequestro de GEEs em países emergentes através da comercialização de Reduções Certificadas de Emissões¹ (CER), informalmente conhecidos como créditos de carbono (MMA, 2020).

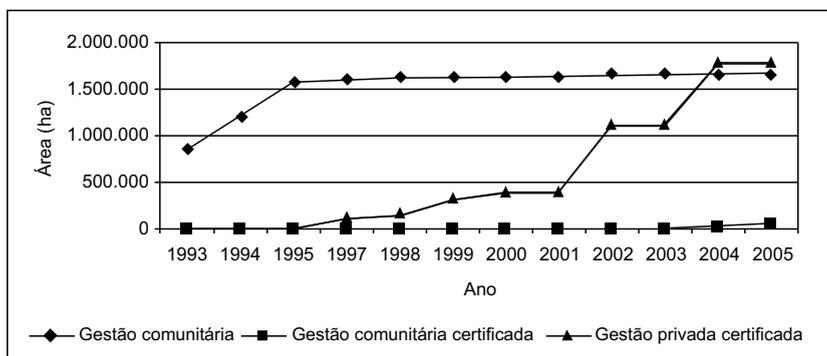
Neste sistema, projetos localizados em países em desenvolvimento geram CERs que são comprados por países desenvolvidos que possuem metas compulsórias (Países do Anexo I) para atingir suas cotas de redução de emissões. Dessa forma, os países que se industrializaram tardiamente não teriam o desenvolvimento econômico prejudicado e poderiam diminuir as emissões através de incentivos financeiros (MEIRA, 2005).

A capacidade de garantir a qualidade e efetividade dos créditos oferecidos é um dos fatores primordiais para as transações nesse mercado e a certificação das reduções de emissão passa a ser a principal ferramenta utilizada para fornecer esse tipo de garantia. Os créditos de carbono enquadram-se, portanto, no escopo das certificações ambientais baseado principalmente em atributos de crença, que podem ser definidos como aqueles que não são conhecidos, nem antes, nem depois do uso dos bens, devido aos custos muito altos de aquisição da informação. Para Souza; Drigo; Piketty (2006), a certificação ambiental de um determinado produto facilita a transação de bens que possuem atributos específicos, que precisam ser verificados e garantidos, diminuindo a assimetria de informações. No entanto, embora possua uma contribuição significativa para a redução de assimetria de informações, a certificação ambiental pode, em alguns casos, promover uma diferenciação social nos mercados, resultando na exclusão de pequenas e médias organizações do mercado de produtos certificados.

¹do inglês Certified Emission Reduction.

Segundo Abramavoy (2008), a certificação ambiental “[...] pode ser objeto de captura por interesses privados e dar lugar a processos destrutivos de diferenciação social entre produtores [...]”, ou seja, pode ter efeitos perversos e contrários aos seus objetivos. Portanto, além de garantir a confiabilidade e qualidade dos produtos, a certificação com foco na sustentabilidade deve representar possibilidades de geração de renda para aqueles em situação de pobreza e não a exclusão do mercado.

Um exemplo da diferenciação social em mercados ambientais, que pode ser considerado, é o caso da certificação pela FSC², introduzida no Brasil pela WWF. Uma pesquisa realizada por Souza; Drigo; Piketty (2006) demonstrou que durante o período de 1993 a 2005 apenas três projetos de gestão comunitária foram certificados no Brasil, sendo que a maior parte dos 1,13 milhões de hectares de floresta brasileira certificada era gerenciada por grandes empresas privadas, conforme demonstra o gráfico abaixo (FSC, 2005; SOUZA; DRIGO; PIKETTY, 2006).



Fonte: Adaptado de FSC (2005); Souza; Drigo; Piketty (2006)

Figura 1 - Evolução da Certificação da Exploração Florestal no Brasil de 1993 a 2005

Estes autores citam também o caso da produção de café orgânico no Brasil, abordando as grandes dificuldades dos pequenos agricultores para se adequarem aos critérios de certificação ecológica, em especial devido aos altos custos de transação nas fases iniciais, que até o momento não possuem nenhum tipo de incentivo como financiamentos, e a ausência de garantias para demanda do produto no mercado.

Embora a equidade social não seja a base fundamental da certificação ambiental, a maior parte das certificações considera em suas normas questões sociais como condições e qualidade dos trabalhos e respeito a leis trabalhistas (SOUZA; DRIGO; PIKETTY, 2006). Portanto, mesmo que o foco seja ambiental, problemas de ordem social não podem ser negligenciados quando o objetivo é atingir a sustentabilidade.

Um estudo desenvolvido em 2008 pelo Imaflora³, pela Universidade de São Paulo e Entropix Engenharia, verificou resultados benéficos da certificação FSC

² Do ingles Forests Stewardship Council

³ Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola

para o aumento do conhecimento com relação a manejo florestal e ambiental em comunidades agroextrativistas do estado do Acre, e também apontou a probabilidade da certificação estimular a multiplicação e fomento de ações de manejo florestal comunitário.

As reduções de emissões certificadas do mercado de carbono também são fortemente baseadas nos princípios de sustentabilidade. Uma das grandes questões abordadas no Protocolo de Quioto, entre outros documentos, é que a redução de GEE deve necessariamente ser conciliada com o desenvolvimento sustentável, evitando mecanismos perversos de combate às mudanças climáticas que poderiam resultar em uma barreira ao desenvolvimento socioeconômico dos países mais pobres. O conceito de desenvolvimento sustentável é amplo, porém não são raros os autores que afirmam que, em países periféricos, a redução da pobreza e diminuição das desigualdades sociais é peça fundamental na busca pela sustentabilidade.

Preste (2000) explica que todas as soluções propostas para os numerosos problemas ambientais na atualidade geram conflitos entre os diferentes atores envolvidos. Os conflitos são resultado das desigualdades que essas soluções podem criar como, por exemplo, questões de justiça distributiva relacionadas à repartição de obrigações (ou seja, quem paga), e de benefícios (portanto, quem poderia se beneficiar). Para além da questão da justiça distributiva, Preste (2000) afirma que ao adotar medidas de proteção ambiental sempre se está sujeito a consequências inesperadas, sobretudo aquelas consideradas como negativas, que podem ser definidas como “efeitos perversos” ou contraditórios, onde uma medida de proteção acaba tendo um efeito contrário ao seu objetivo. O autor cita como exemplo a Convenção da Basileia (1989), onde a proibição de exportação de resíduos perigosos para reciclagem em países pobres acaba forçando os mesmos a aumentar a extração de recursos naturais e, conseqüentemente, a degradação ambiental. Portanto, é importante considerar que o mercado de carbono, assim como outras soluções ambientais, não está isento dos riscos associados a mecanismos perversos de diferenciação social. Partindo dessa premissa, as soluções encontradas para mitigação das mudanças climáticas são um exemplo de como a justiça (ou injustiça) distributiva pode gerar resultados questionáveis. No caso da proposta de comercialização de créditos de carbono, é evidente que quem tem a obrigação de pagar são os poluidores. Já a definição de quem poderia se beneficiar não é tão tangível. Seria justo que organizações multinacionais se beneficiem quase que exclusivamente da venda de créditos de carbono? Considerando um grupo multinacional, com sede em um país com metas de redução e subsidiárias em países em desenvolvimento, não seria possível um sistema onde, ao desenvolver um projeto MDL, a empresa se beneficie duplamente? Primeiro através de aquisição de reduções a preços mais baratos em países pobres e depois através da transferência de lucros provenientes da venda dos créditos de carbono para a matriz?

Por exemplo, em 2011, a União Européia banuiu créditos de projetos de gases industriais onde se constatou que os desenvolvedores de projetos estavam

umentando a produção dos gases e conseqüentemente a sua queima, apenas para obterem maior retorno financeiro com a comercialização dos créditos de carbono. Este tipo de situação vai justamente de encontro às premissas do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo proposto pelo Protocolo de Quioto.

No relatório *China Dialogue* (2008), coordenado por oito organizações não governamentais na China, incluindo o WWF, Greenpeace e Amigos da Terra, defende-se que, enquanto mecanismo de mercado, o MDL não pode resolver problemas de desigualdade. Na China, país com maior quantidade de projetos MDL, a maioria dos beneficiários desse mecanismo é composta por grandes empresas em zonas urbanas ou industriais, enquanto as zonas rurais, consideradas mais vulneráveis às mudanças climáticas, não são beneficiadas. Surgem então algumas evidências de que, a despeito de seus fundamentos, o MDL favorece grandes projetos comerciais, tendo um menor impacto sobre o desenvolvimento sustentável do país, uma vez que não abrange o princípio de equidade e distribuição de renda nos países periféricos. Além disso, a revisão da literatura abordada revela que o desenvolvimento de processos destrutivos de diferenciação social entre produtos e produtores, devido à certificação ambiental, não é um risco exclusivo do mercado de carbono, fornecendo algumas evidências de que o processo possa estar de fato ocorrendo nesse mercado.

2 - Mercados de Carbono e Desenvolvimento Sustentável

O Observatório do Clima (2015), indica que “a expressão mercado de carbono se refere às iniciativas de comercialização de créditos de redução de emissão dos gases de efeito estufa, conhecidos como créditos de carbono”. Existem dois principais mercados de carbono acessíveis aos países que não possuem metas de redução de emissões determinadas pelo Protocolo de Quioto: a) Mercado Regulado pelo Protocolo de Quioto, com ênfase no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL e b) Mercado Voluntário de Carbono - MVC. Ambos os mercados tiveram origem nas discussões internacionais sobre mudanças climáticas, que ganharam destaque a partir da década de 1980, consolidando-se no início dos anos 1990, com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC).

Como resultado da 3ª Conferência das Partes (COP 3), realizada em 1997, foi estabelecido um regime jurídico internacional com o objetivo de alcançar a estabilização das concentrações de GEE na atmosfera num nível que evitasse interferências consideradas perigosas ao clima global, denominado Protocolo de Quioto.

Este Protocolo estabelece como meta que as emissões antrópicas sejam reduzidas em 5% na média, com relação aos níveis verificados no ano de 1990, para o período compreendido entre 2008 a 2012.

No entanto, essas metas são diferenciadas entre as Partes⁴ de acordo com seu histórico de contribuição para o aumento da concentração de GEE na atmosfera (ROCHA, 2006).

⁴ São considerados como “Partes” os países signatários do Protocolo de Quioto.

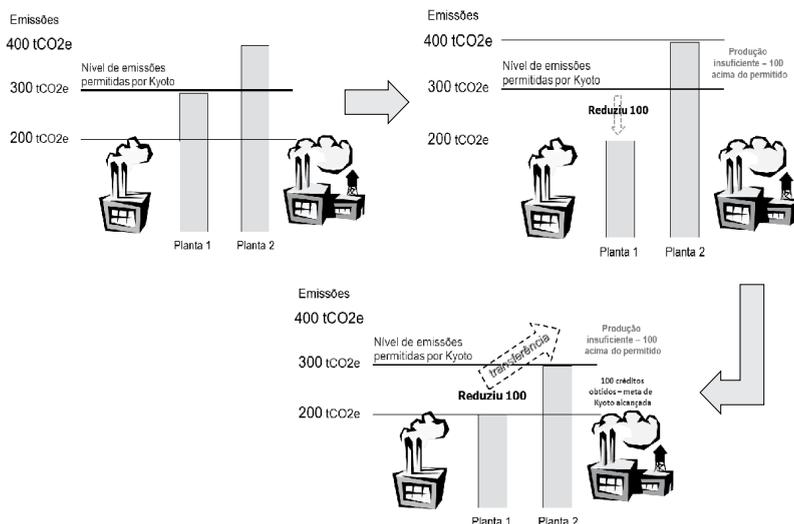
Os países chamados Partes do Anexo I do Protocolo, são aqueles com maiores emissões históricas e que assumiram obrigações de redução de emissão. Já as Partes do não-Anexo I não possuem metas obrigatórias de redução de emissões e compreendem, em geral, países em desenvolvimento, que se industrializaram tardiamente e, portanto, contribuíram de forma menos significativa para o aumento da concentração desses gases na atmosfera (FGV, 2002).

Das obrigações das Partes cita-se que devem: elaborar e divulgar seus inventários nacionais de emissões antrópicas de GEE, segundo fontes e promover programas de redução destas emissões; promover ações de educação, treinamento e conscientização sobre o problema das mudanças climáticas; e cooperar para o intercâmbio de informações científicas, tecnológicas e socioeconômicas sobre o tema.

Os países Partes do Anexo I para atingir as metas do Protocolo de Quioto deveriam implementar medidas chamadas domésticas associadas as três mecanismos de flexibilização: a) Comércio de Emissões (Emission Trading – ET); b) Implementação Conjunta (Joint Implementation – JI) e c) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (Clean Development Mechanism – CDM) (MMA, 2020).

O Comércio de Emissões permite que os países do Anexo I que possuem excesso de unidades de emissões vendam essas unidades para outro país do Anexo I e a Implementação Conjunta refere-se à execução de projetos de reduções de GEE realizados em Países Anexo I com financiamento de outros Países Anexo I.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo permite que sejam implementados projetos de reduções de GEE realizados em Países Não-Anexo I com financiamento de Países Anexo I. Percebe-se portanto, que as duas primeiras medidas de flexibilização podem ser realizadas somente entre os países Partes do Anexo I (Figura 2).



Fonte: CantorCO2

Figura 2 – Exemplo didático de como ocorrem as transações dos créditos de carbono

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo é o único mecanismo que permite que sejam implementados projetos de reduções de GEE realizados em Países Não-Anexo I, com financiamento de Países Anexo I (MMA, 2020).

Percebe-se portanto, que as duas primeiras medidas de flexibilização podem ser realizadas somente entre os países Partes do Anexo I.

2.1 - O Mercado Regulado e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

Os países em desenvolvimento, como o Brasil, que não são obrigados a reduzir suas emissões, participam do Protocolo de Quioto somente através do MDL, no qual países emergentes desenvolvem, de maneira voluntária, um projeto capaz de reduzir os níveis de emissão destes gases e/ou sequestrar carbono da atmosfera e assim gerar “créditos” que poderão ser vendidos e utilizados pelos países industrializados no cumprimento de suas metas determinadas no Protocolo. Exemplos de atividades de projetos que reduzem emissões são: substituição de combustíveis fósseis por renováveis na geração de energia, aumento da eficiência energética, captura e queima do gás metano em aterros e biodigestores, entre outras atividades. Já as atividades de sequestro estão associadas à captura e armazenamento de CO₂ como, por exemplo, o reflorestamento.

A comercialização dos créditos de carbono é feita através da venda de Reduções Certificadas de Emissões (RCEs ou CERs), que são certificados que atestam a redução ou captura, que corresponde a uma unidade de uma tonelada métrica equivalente de dióxido de carbono (tCO₂e), emitida em conformidade com o Artigo 12^o do Protocolo de Quioto e os seus requisitos (ROCHA, 2005).

De acordo com as estatísticas da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) já foram emitidos 150.536.026 CERs (situação em 06 de junho de 2008), como resultado de 1079 projetos registrados.

Tabela 1 - Estatísticas referentes aos projetos de MDL

Informações sobre Projetos MDL	Média Anual de CERs*	CERs até o final de 2012**
> 5600 dos quais:	N/A	> 2.700.000.000
4806 estão registrados	671.438.467	> 2.170.000.000
206 estão requisitando registro	23.443.745	- - -

* Suposição: Todas as atividades entregam simultaneamente sua média anual de reduções de emissões estimada. ** Suposição: Não há renovação do período creditício.

Adaptado de: UNFCCC (2008). Disponível em: <http://cdm.UNFCCC.int/Statistics/index.html>. Acesso em: 07 jun. 2008.

O desenvolvimento sustentável é o princípio que fundamenta o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. O Art. 12^o do Protocolo de Quioto, que trata especificamente do MDL, estabelece que esse instrumento tem como objetivo ajudar os países emergentes a alcançar o desenvolvimento sustentável e assistir os países desenvolvidos no cumprimento de suas metas de redução de emissão.

O objetivo do MDL deve ser assistir às Partes não incluídas no Anexo I para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção, e assistir às Partes incluídas no Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões.

O Comitê Executivo do MDL estabelece critérios e procedimentos claros para demonstração das reduções de emissões, porém cabe às Autoridades Nacionais Designadas (AND), ou seja, as entidades do governo de cada um dos países, o estabelecimento de critérios para a avaliação da contribuição dos projetos para o desenvolvimento sustentável. Os critérios estabelecidos pela AND brasileira, representada pela Comissão Interministerial de Mudanças Globais do Clima (CIMGC), conforme definidos no ANEXO III da Resolução nº 1 de 11 de setembro de 2003, consideram os seguintes aspectos: a) Contribuição para a sustentabilidade ambiental local; b) Contribuição para o desenvolvimento das condições de trabalho e geração líquida de empregos; c) Contribuição para a distribuição de renda; d) Contribuição para capacitação e desenvolvimento tecnológico e) Contribuição para integração regional e articulação com outros setores. Embora seja uma abordagem abrangente, em geral, os Anexos III apresentados à CIMGC até o presente momento, constituem documentos informativos pouco específicos sobre a real contribuição do projeto para o desenvolvimento sustentável.

Monzoni (2004) propõe alguns indicadores para medir a sustentabilidade de projetos MDL, com base no proposto pela CIMGC. Embora variem conforme o tipo de projeto, o Quadro 1 demonstra os principais indicadores estabelecidos para demonstração da sustentabilidade em projetos MDL.

Quadro 1 - Critérios de sustentabilidade para projetos de MDL

Critérios Processuais	Critérios de conteúdo		
<ul style="list-style-type: none"> - Engajamento das partes interessadas - Consulta pública - Abertura e transparência de informações 	<p><i>Impactos sociais:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Impacto étnico, cultural e arqueológico - Capacitação e compartilhamento do conhecimento - Responsabilidade social - Reassentamentos involuntários 	<p><i>Impactos ambientais:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Água (consumo, reutilização, efluentes, etc.) - Ar (emissões, poluição, odor, etc.) - Solo (tratamento de efluentes, erosão, compactação, contaminação) - Biodiversidade (monitoramento, conectividade entre fragmentos, etc.) 	<p><i>Impactos econômicos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Emprego (geração, predominância de mão-de-obra local, qualidade do emprego, treinamento, saúde e segurança, oportunidades e benefícios) - Renda (geração, valor adicionado, e salários e benefícios) - Economia local (fornecimento local e novos negócios gerados) - Transferência tecnológica (inovação, origem de equipamentos, royalties, necessidade de assistência internacional)

Fonte: Adaptado de Monzoni (2004)

Sob uma perspectiva jurídica, Frangetto (2007) demonstra que um dos princípios fundamentais dos projetos de redução de emissões é o desenvolvimento sustentável, previsto no Art. 3º da Convenção do Clima, quando dispõe que a proteção do sistema climático global deve ser conciliada com políticas e medidas que incluam de forma integrada benefícios às presentes e futuras gerações. Pressupõe-se daí que os projetos MDL devam obedecer a mesma estrutura de raciocínio do desenvolvimento sustentável.

No Art. 5º, a Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima também destaca que o combate às mudanças climáticas não deve ser um meio de discriminação ou restrição ao comércio internacional, mas deve promover um sistema econômico favorável ao desenvolvimento sustentável, em especial dos países em desenvolvimento. No entanto, El Khalili (2001) chama atenção para o fato dos debates sobre MDL e mercados de carbono até o momento apresentarem uma forte tendência de repetição de um modelo centralizador de *commodities* convencionais e títulos em grandes centros financeiros, desconsiderando a necessidade de compatibilizar a geração e distribuição de renda em países pobres com a conservação ambiental. Ao mesmo tempo, Boyd *et al.* (2007) afirmam que os assuntos econômicos e técnicos têm predominado na discussão sobre projetos MDL e menor atenção é dispensada para fatores como desenvolvimento sustentável e equidade social.

Portanto, embora se reconheça os esforços de diferentes autores e da própria Comissão Brasileira, observa-se que além de uma disparidade entre os objetivos do instrumento e sua prática, a fundamentação e métodos de avaliar a contribuição do MDL para o desenvolvimento sustentável ainda é vaga e carece de um ponto de vista crítico, pois se baseia em avaliações e indicadores sobre impactos sociais e ambientais do projeto.

Nesse sentido, conclui-se que os principais aspectos controversos sobre a contribuição do MDL para o desenvolvimento sustentável se referem a:

- a) Ausência de critérios satisfatórios para avaliação do desenvolvimento sustentável.
- b) Dificuldades em demonstrar sua contribuição para a diminuição das desigualdades sociais em países emergentes, diante de uma tendência de centralização de mercados.

A definição de critérios satisfatórios para a avaliação da contribuição para o desenvolvimento sustentável não será abordada de forma mais aprofundada neste trabalho. No entanto, convém referir Veiga (2008) no que diz respeito a duas questões principais sobre o tema. Primeiramente, o desenvolvimento sustentável é um conceito amplo, político e ainda não plenamente legitimado. Em segundo lugar, diz que mensurar o desenvolvimento, seja ele sustentável ou não, é sempre algo muito

duvidoso em virtude da natureza multidimensional do processo de desenvolvimento. Portanto, seja pela complexidade do conceito ou pela dificuldade de mensuração, qualquer tentativa de estabelecer critérios ou indicadores para demonstração da contribuição do MDL para o desenvolvimento sustentável sempre estará sujeita a críticas.

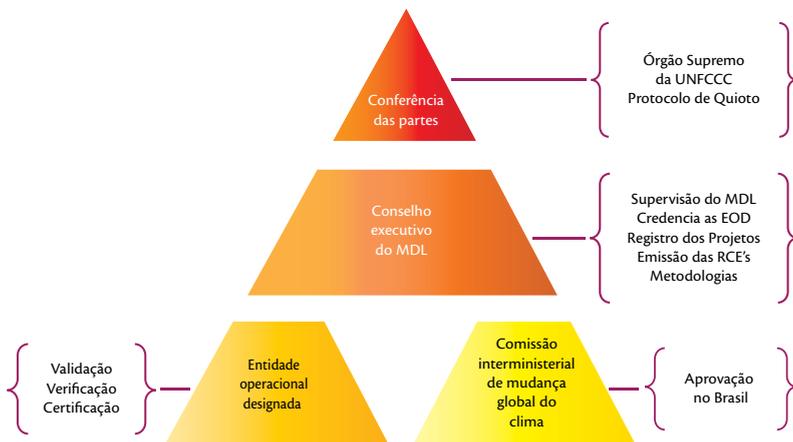
2.1.1 - Institucionalidade e etapas de desenvolvimento do MDL

Este item tem por objetivo caracterizar sumariamente o mercado MDL, contextualizando os principais atores, normas e processos envolvidos no desenvolvimento de projetos. Não se pretende aqui fazer uma análise aprofundada da governança nesse mercado, mas sim apresentar as principais entidades envolvidas e seu papel.

2.1.2 - Principais Atores

Os principais atores institucionais do MDL são as Partes da UNFCCC, o Comitê Executivo do MDL e as Autoridades Nacionais Designadas (Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, no caso específico do Brasil). Outros atores também estão envolvidos nesse mercado, entre eles destacam-se as Entidades Operacionais Designadas (certificadoras independentes), proponentes de projetos, compradores de créditos e empresas de consultoria que atuam na área.

A seguir tem-se a Figura 3 e uma breve descrição sobre cada um desses atores.



Fonte: CGEE (2010) apud Ikotema; Frangetto (2003)

Figura 3 – Estrutura institucional de projetos de MDL no UNFCCC

- Partes da UNFCCC

As Partes são os países que adotaram a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. A Conferência das Partes (COP) é o órgão supremo da UNFCCC, que nas reuniões das Partes do Protocolo de Quioto (COP/MOP) define em instância máxima sobre o Protocolo e, conseqüentemente, o MDL. Outro aspecto importante, é que o país (Parte) pode estabelecer políticas e leis específicas que podem tanto impulsionar, quanto retrainir o desenvolvimento de projetos de redução ou captura de GEE.

- Comitê Executivo do MDL da UNFCCC

O Comitê Executivo é coordenado pela COP/MOP e tem como atribuições fazer recomendações sobre procedimentos adicionais do MDL, aprovar novas metodologias técnicas, credenciar EODs, publicar relatórios técnicos, manter o registro dos projetos MDL, entre outros. Dentro do próprio Comitê estão contidos subgrupos que atuam em áreas específicas com destaque para o Painel e o Grupo de Trabalho de Pequena Escala, que têm como objetivo, respectivamente, elaborar procedimentos simplificados e revisar metodologias propostas, para projetos de pequena escala (GEE, 2008).

- Autoridades Nacionais Designadas (AND)

Embora regras gerais sejam estabelecidas pelo próprio Protocolo de Quioto e a Comissão Executiva do MDL, as Autoridades Nacionais Designadas podem estabelecer regras e procedimentos próprios para aprovação de projetos. No Brasil, o quadro institucional responsável por projetos MDL é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC). A Comissão é composta por 11 Ministérios, tendo como Presidente o Ministro de Ciência e Tecnologia e Vice-presidente o Ministro de Meio Ambiente. A Comissão reúne-se regularmente a cada dois meses e entre suas principais atribuições estão à emissão de pareceres e fornecimento de subsídios ao governo sobre políticas, instrumentos legais, e projetos de mitigação das mudanças climáticas, além da articulação com outros setores.

Para além da Comissão Interministerial, outros atores institucionais estão envolvidos nas questões de mudanças climáticas, porém não tão diretamente com o MDL, entre eles o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM). O CIM foi criado em novembro de 2007, pelo Dec. Presidencial nº 6.263/2007, para elaborar a Política Nacional sobre Mudança do Clima e o Plano Nacional sobre Mudança do Clima. O CIM é coordenado pela Casa Civil da Presidência da República, sendo composto por diversos ministérios e o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas (FBMC), que tem por objetivo conscientizar a sociedade em relação às questões das mudanças climáticas.

- Entidades Operacionais Designadas (DOEs)

Constituem a terceira parte independente que realiza procedimentos de certificação de projetos e CERs, desde que credenciadas pelo Comitê Executivo do MDL. Realizam as etapas de validação e verificação do projeto, explicadas mais adiante. No Brasil, as principais empresas atuantes são: a BRTÜV pertencendo ao grupo TÜV Nord (sede na Alemanha), SGS (sede na Suíça), Det Norske Veritas – DNV (sede na Noruega), BVQI, TÜV SÜD (sede na Alemanha), AENOR (sede na Espanha).

- Proponentes de Projetos MDL

São organizações que desenvolvem os projetos, ou seja, responsáveis pelo planejamento, implantação e operação da atividade proposta de redução de emissões, que desejam beneficiar-se do mercado de créditos de carbono.

- Compradores de CERs

Organizações localizadas nos países do Anexo I que não conseguem atingir suas metas de redução de emissões dentro do Protocolo de Quioto ou que visualizam no mercado MDL uma oportunidade de reduzir suas emissões a um custo mais baixo. Em alguns casos, os CERs também podem ser destinados ao Mercado Voluntário.

- Empresas de Consultoria em Carbono

Empresas que prestam serviços especializados para os proponentes de projeto, que incluem a identificação de oportunidades, estudos de viabilidade, elaboração do DCP e relatórios de monitoramento, além de assessoria durante os processos de validação, verificação e registro. No Brasil, destacam-se: Ecoinvest, Econergy, EcoSecurities, PricewaterhouseCoopers, entre outras. Outras empresas também estão atuantes, porém com menor participação.

- Aspectos Regulatórios

Em relação aos aspectos regulatórios do MDL, estes podem ser divididos em dois grupos, os internacionais e os nacionais. No âmbito internacional, o MDL está sujeito às disposições: da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (1992), do Protocolo de Quioto (2005), das decisões adotadas nas Conferências das Partes e das decisões do Comitê Executivo do MDL.

Nacionalmente, o marco regulatório é composto pelas Resoluções da CIMGC e pelas determinações do Governo Brasileiro através da Política Nacional de Mudanças Climáticas e do Plano Nacional de Mudanças Climáticas, ambos ainda em processo de aprovação.

- Resoluções da CIMGC

A CIMGC define critérios e normas de elegibilidade adicionais para projetos MDL através de suas resoluções. Atualmente, oito resoluções regulam as atividades MDL no Brasil, que abrangem principalmente aspectos administrativos

como: procedimentos para submissão e aprovação de projetos; definições e procedimentos específicos para projetos florestais; medidas adotadas no caso de ilegalidades ou omissões; procedimentos para consulta de *stakeholders* e demonstração da contribuição para o desenvolvimento sustentável, entre outros aspectos regulatórios.

Destaca-se no âmbito deste trabalho, a Resolução nº 3 de 24 de março de 2006, que estabelece procedimentos para aprovação das atividades de projetos MDL de pequena escala, cujas principais colocações se referem à definição de comunidades de baixa renda, como aquelas com renda mensal familiar per capita de até meio salário mínimo.

2.1.2 - Política Nacional de Mudanças Climáticas e Plano Nacional de Mudanças Climáticas

O Projeto de Lei 3535/2008, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima, foi apresentado ao Poder Legislativo em junho de 2008 e atualmente tramita na Câmara em regime de urgência. O Projeto possui dois objetivos, sendo o primeiro a redução e remoção de emissões e o segundo a implementação de medidas de adaptação, em especial para aqueles mais vulneráveis aos efeitos adversos das mudanças climáticas. Embora não trate especificamente do assunto MDL, destaca-se que em seu Art. 3º o Projeto de Lei determina que os objetivos da Política “deverão estar em consonância com o desenvolvimento sustentável e buscar, sempre que possível, o crescimento econômico, a erradicação da pobreza e a redução das desigualdades sociais”. Mais 15 instrumentos da Política foram propostos, sendo o primeiro deles o Plano Nacional sobre Mudança do Clima.

Embora o projeto ainda não tenha sido aprovado, uma versão preliminar do Plano já está disponível para consulta pública. Desde que foi apresentado em 25/09/2008, o Plano tem recebido duras críticas da sociedade pela falta de consistência e metas específicas. Embora não se pretenda abordar de forma aprofundada esse documento, as opiniões divulgadas até novembro de 2008 por organizações não governamentais como Instituto Socioambiental (ISA) e Fórum Brasileiro de ONGs e Movimento Sociais (FBOMS) convergem para uma mesma direção. De acordo com essas organizações, o Plano é considerado como um amontoado de programas já existentes, possuindo mais de 150 páginas sem metas de reduções e objetivos claros, resultado de uma elaboração precipitada e sem a participação pública.

Observa-se que o Plano proposto não faz menção a mecanismos que possam incluir pequenas e médias empresas no mercado de carbono MDL. Pelo contrário, prioriza o desenvolvimento e financiamento para grandes organizações. O Plano é pouco objetivo em relação às estratégias adotadas para o MDL.

O Quadro 2 demonstra as principais considerações do Plano sobre o tema.

Quadro 2 - Principais considerações sobre MDL do Plano Nacional sobre Mudança do Clima

Temática	Considerações do Plano Nacional de Mudança do Clima	Comentários
<p>PROINFA Programa de incentivo as energias renováveis, gerenciado pela Eletrobras</p>	<p>Projetos dentro do PROINFA⁹ são considerados adicionais, mas os benefícios da comercialização dos créditos serão repassados ao consumidor.</p>	<p>Portanto, não há incentivos para que empreendedores realizem projetos MDL, pois benefícios serão repassados ao consumidor.</p>
<p>Programa Luz para Todos & Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL & Programa Estratégico de Eficiência Energética-PEEEF</p>	<p>Seria uma oportunidade para gerar créditos MDL.</p>	<p>Não há nenhum aprofundamento da questão no Plano . Somente é citado como uma oportunidade. Nenhuma estratégia ou objetivo estabelecido.</p>
<p>Programa de P&D na indústria.</p>	<p>Podem servir de incentivo para participação do setor no MDL.</p>	<p>Idem anterior.</p>
<p>Sectores de maior potencial no Brasil</p>	<p>Hidrelétrico, cogeração com bagaço de cana, metano a partir de suinocultura, tratamento de resíduos de atero e siderurgia.</p>	<p>Idem anterior.</p>
<p>Proposta de Criação de Mecanismo de Promoção Adicional de Energia Renovável e da Eficiência Energética</p>	<p>Ainda em fase de concepção, o mecanismo estabelece que empreendedores que instalem termoeletricas a combustíveis fósseis acima de 100 MW devem compensar através do investimento em energias renováveis. O MDL poderia amenizar os prejuizos desses empreendedores.</p>	<p>Idem anterior.</p>
<p>Levantamento concreto das atividades de projeto de MDL no setor energético brasileiro</p>	<p>Ministério de Minas e Energia tem a intenção de realizar um estudo nesse sentido, identificando as medidas necessárias para a viabilização.</p>	<p>Idem anterior.</p>
<p>Projeto de Capacitação de Gestores municipais</p>	<p>MDL como parte da programática do projeto.</p>	<p>Apenas citado.</p>
<p>Pró-MDL - Programa de Apoio a Projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo</p>	<p>Financia projetos de pré-investimento e de desenvolvimento científico-tecnológico, associados às atividades de projeto no âmbito do MDL. Com o Pró-MDL, médias e grandes empresas, consórcios de empresas e cooperativas brasileiras têm acesso a diferentes linhas de financiamento, reembolsáveis e não-reembolsáveis.</p>	<p>Para financiamentos reembolsáveis os projetos devem ter um valor mínimo de R\$ 500 mil e a FINEP participa com até 90% do total. O financiamento não-reembolsável tem por objetivo apoiar projetos de parceria entre empresas de médio e grande porte e Instituições Científicas e Tecnológicas (ICTs). O valor mínimo das propostas é de R\$ 300 mil. A empresa demandante deverá aportar uma contrapartida mínima de 50% do valor total do projeto.</p>

⁹Programa de incentivo as energias renováveis, instituído pelo Governo Brasileiro e gerenciado pela Eletrobras. (Versão proposta em 25/09/2006)

2.1.3 - Etapas de desenvolvimento de projetos MDL

Os projetos elaborados no âmbito do MDL devem promover a redução de emissões de forma efetiva e comprovada, expondo claramente suas atividades, características do projeto, custos, riscos e transparência em relação às partes envolvidas. O ciclo de desenvolvimento de um projeto inicia-se com um estudo prévio de viabilidade que inclui uma análise preliminar sobre a elegibilidade e viabilidade financeira. Constatada uma pré-viabilidade, a elaboração de um projeto MDL pode ser dividida em seis etapas básicas subsequentes, conforme descrito abaixo:

E1. Documento de Concepção do Projeto - DCP: constitui a elaboração de um documento, que deve utilizar uma metodologia e um plano de monitoramento aprovados pelo Comitê Executivo do MDL na ONU. Esse documento deve incluir primordialmente dados como: a descrição da atividade do projeto, linha de base, critérios de adicionalidade (Figura 4), período de créditos, impactos ambientais, entre outros. Existem diversas metodologias aprovadas pelo Comitê Executivo, mas de forma geral, as atividades de projetos MDL devem estar relacionadas a setores específicos como energias renováveis, eficiência energética, gases industriais e gestão de resíduos.

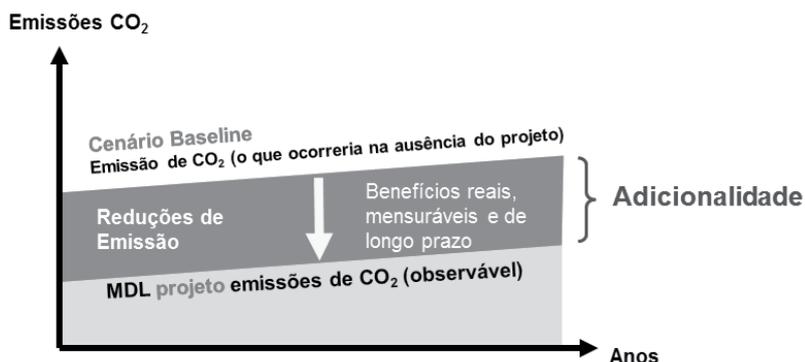


Figura 4 – Adicionalidade de um projeto MDL

E2. Validação: A Validação consiste na avaliação do DCP por uma empresa certificadora, acreditada pelas Nações Unidas (denominada Entidade Operacional Designada – EOD), e é um pré-requisito para o registro na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Durante a Validação, a EOD analisa o Documento de Concepção do Projeto (DCP) e atesta se ele está em conformidade às regras e normas do Comitê Executivo de MDL e se as reduções de emissões são efetivas.

E3. Aprovação pela Autoridade Nacional Designada: A AND Brasileira é representada pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), que após a análise do projeto, emite a Carta de Aprovação.

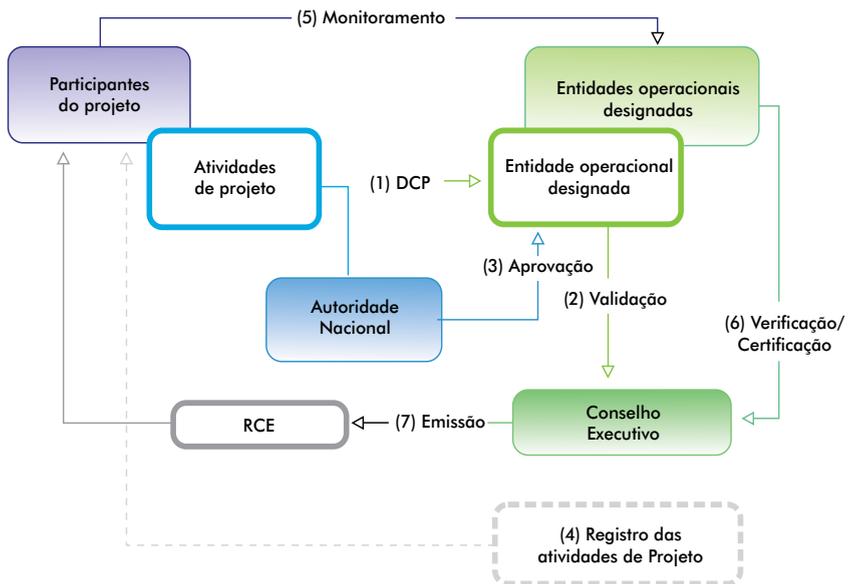
E4. Registro: O registro do projeto pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) é a etapa mais importante no ciclo de projeto. Após o registro do projeto pelo Comitê Executivo do MDL, inicia-se o período creditício.

E5. Monitoramento: Envolve a coleta e o armazenamento dos dados necessários para calcular a redução das emissões de GEE, de acordo com plano de monitoramento estabelecido no DCP. Os participantes do projeto são os responsáveis pelo processo de monitoramento e realiza quantos monitoramentos achar convenientes ao longo da existência do projeto. Quando quiserem solicitar a emissão de RCEs, deve elaborar um relatório de monitoramento referente ao período desejado.

E6. Verificação/Certificação: A verificação e certificação será feita por uma EOD antes de ser submetida ao Conselho Executivo e consiste em uma revisão periódica para determinar o volume efetivo das reduções de emissões ocorridas, frente ao estimado à priori no DCP. O processo de verificação pode ser entendido como uma auditoria balizada pelo Plano de Monitoramento aprovado no projeto.

E7. Emissão das Reduções Certificadas de Emissões (RCEs): Por fim, ocorre a emissão das RCEs pelo Comitê Executivo do MDL, depois de cumpridas todas as etapas do ciclo de projeto, no qual são asseguradas que as reduções de emissões decorrentes das atividades de projetos são reais, mensuráveis e verificáveis. Cada RCE consiste em uma tonelada de CO2 equivalente que deixou de ser emitida.

A Figura 5, mostra de forma esquemática o ciclo de um Projeto de MDL.



Fonte: CGEE (2010)

Figura 5 – Fluxo mostrando o ciclo de Projeto de MDL

2.2 - Mercado Voluntário de Carbono

O Mercado Voluntário surgiu paralelamente ao mercado de créditos de carbono do Protocolo de Quioto, como parte das iniciativas voluntárias de empresas e instituições que não possuem obrigações de reduzir emissões, mas que desejam compensá-las através da aquisição de créditos de carbono em um mercado não-Quoto, denominado informalmente de Mercado Voluntário de Carbono - MVC (POINT CARBON, 2005).

Os princípios de funcionamento do mercado voluntário são parecidos com o MDL, pois se baseiam na comercialização de reduções de emissões produzidas por uma organização de forma voluntária e que são vendidos para outra organização que deseja reduzir suas emissões, porém não pretende ou não pode fazê-lo internamente.

As organizações que desejam compensar suas emissões de forma voluntária adquirem créditos de carbono conhecidos como Reduções Verificadas de Emissões - VERs (do inglês *Verified Emissions Reduction*⁶) de uma terceira parte responsável por desenvolver um projeto de redução ou captura de CO₂.

Hamilton *et al.* (2008) descreve os dois principais mercados voluntários de carbono: o Chicago Climate Exchange (CCX) e o mercado "Over Counter" (OTC). O CCX é o único que funciona através de um sistema *cap-and-trade* e o mercado OTC opera através de acordos bilaterais, fora de um sistema de bolsa.

Os métodos pouco transparentes e a incerteza das metodologias propostas pelo CCX fez com o preço de transação de seus créditos atingisse valores de comercialização muito baixos, e, em 2011, o CCX deixou de fazer parte do mercado voluntário.

Tabela 2 - Valores comercializados (em US\$ Milhões) de transações em 2010 e 2011

Anos	2010	2011
Mercado de transações baseadas em projetos primários		
VERs	414	569
CERs pre 2013	1.458	990
CERs pos 2012	1.217	1.990
ERUs	530	569
Subtotal	3.620	3.889
Mercado Spot e Secundário		
CERs	20.453	22.333
ERUs	94	780
Outros	90	137
Subtotal	20.637	23.250
Mercados de Allowances		
Subtotal	134.935	148.881
TOTAL	159.192	176.020

Fonte: Adaptado de States and Trends of Carbon Markets (2012)

⁶Ou Reduções Voluntárias de Emissões (VERs do inglês *Voluntary Emission Reductions*). Cada VER consiste em 01 (uma) tonelada de CO₂ equivalente que deixou de ser emitida ou que foi absorvida.

A principal diferença em relação ao MDL é que no caso do MVC não há regras ou procedimentos pré-estabelecidos, portanto a definição da rigidez dos critérios de certificação é definida pelo mercado, sem a interferência de um órgão regulador oficial. Em alguns casos, a certificação nem é uma exigência, ficando a critério do comprador, definir os requisitos a serem atendidos pelo projeto. Portanto, o Mercado Voluntário apresenta duas vantagens sobre o MDL: maior flexibilidade e menores custos de transação, dependendo das condições estabelecidas, como não necessidade de passar por algumas das etapas do ciclo MDL.

2.2.1 - Mercado Voluntário de Carbono e a valorização do Desenvolvimento Sustentável

No mercado voluntário de carbono, o desenvolvimento sustentável não aparece como um princípio fundamental, mas sim como uma demanda do próprio mercado. Ao contrário do mercado de Quioto, é composto principalmente por organizações que desejam reduzir as emissões de forma voluntária, sem possuírem metas compulsórias, como parte de políticas de responsabilidade socioambiental corporativa (HAMILTON, 2007).

Por esse motivo, Hamilton *et al.* (2008) revela que benefícios sociais e ambientais dos projetos são alguns dos aspectos mais valorizados por compradores. De acordo com a pesquisa, os critérios mais valorizados na compra de reduções de emissões do mercado voluntário são, respectivamente, os de adicionalidade, certificação, meio ambiente e social. Segundo o último relatório publicado pela Ecosystem Marketplace⁷, a maior parte dos créditos comercializados no período de 2011 corresponde àqueles certificados com *standards*⁸, que possuem de alguma maneira abordagem específica para as questões de benefícios sociais e ambientais. Standards que não possuem esta abordagem, como o caso do VCS (Verified Carbon Standard), passaram a ser utilizados em combinação com *standards* complementares que analisam profundamente benefícios do projeto para o desenvolvimento sustentável, como é o caso do SOCIALCARBON e do CCB (Community and Climate Biodiversity Alliance) (Quadro 3).

Além disso, em 2011, o Mercado Voluntário, opostamente ao Mercado Regulado, demonstrou resiliência nos preços dos créditos, e se consolidou como peça chave dos mercados de redução de emissões, especialmente por incentivar projetos em países em desenvolvimento, incluindo créditos de redução de emissões por desmatamento e degradação ambiental (REDD).

⁷State of the Voluntary Markets (2012)

⁸Standards, como são conhecidos no Mercado Voluntário de Carbono, são protocolos desenvolvidos por uma ou mais organização contendo especificações como metodologias de quantificação de redução de emissões, monitoramento, publicação de relatórios, validação e verificação para projetos de redução e captura de gases de efeito estufa. Os Standards são considerados padrões de certificação para projetos, uma vez que, em sua maioria, exigem auditoria de uma terceira parte.

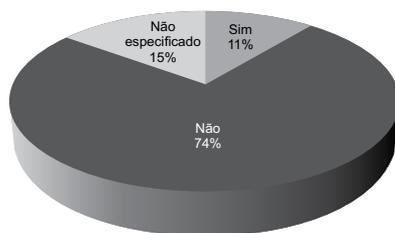
Quadro 3 - Standards do Mercado Voluntário e sua participação no Mercado de Carbono

Standard	Participação no Mercado (%)	Benefícios sociais e ambientais	Descrição	Créditos comercializados
VCS	58	Não. Porém, tem sido usado combinado a outros Standards com co-benefícios como CCB e SOCIALCARBON.	Verified Carbon Standard. Certificação para projetos e VERs	41 MtCO ₂ , considerando que deste valor total: VCS + CCB: 2.8 MtCO ₂ VCS + SOCIAL CARBON: 1.4 MtCO ₂
CAR	12	Não	Climate Action Reserve. Certificação para projetos e VERs.	9 MtCO ₂
Gold Standard	12	Sim	Certificação para projetos e VERs	8.5 MtCO ₂
ACR	9	Sim	American Carbon Registry. Certificação para projetos e VERs.	Não informado
CCX	4	Não	Sistema interno para projetos e VERs	2.1 MtCO ₂
ISO 14.064	4	Não	Programa de certificação para relatórios de emissões, projetos e créditos de carbono	Não informado

Fonte: Adaptado de Ecosystem Market Place e Bloomberg Energy Finance (2012)

O mesmo relatório demonstra a importância do uso de Standards complementares como o CCB e SOCIALCARBON, que buscam monitorar e garantir que os projetos do mercado voluntário tenham co-benefícios sociais e ambientais. Hoje, esses dois Standards são reconhecidos pela sua importância e grande participação no mercado.

Segundo Hamilton *et al.* (2008), é possível constatar que 74% do volume de créditos transacionados em 2007 não incluíam, em seus procedimentos de certificação, critérios específicos para avaliação das contribuições para o meio ambiente e a sociedade (Figura 6).



Fonte: Adaptado de Hamilton *et al.* (2008)

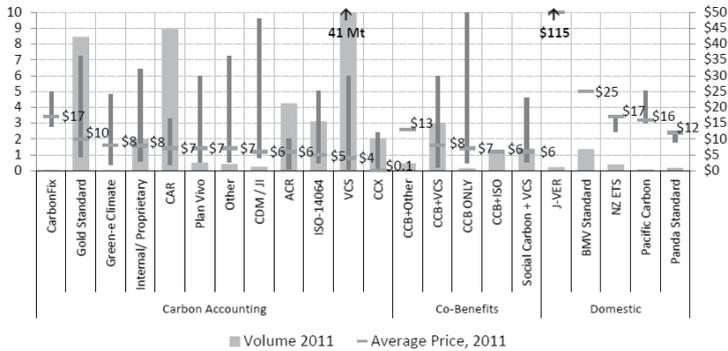
Figura 6 - Existência de critérios sobre benefícios sociais e ambientais considerando os tipos de Standard utilizados.

Hoje, devido ao grande interesse por parte dos compradores em projetos que tenham uma contribuição efetiva para melhoria das condições ambientais e sociais, este cenário já é diferente, observando-se um aumento importante de VERs adquiridos no Mercado Voluntário de Emissões abordando critérios específicos referentes ao desenvolvimento social e ambiental local.

Ainda assim, no mercado voluntário as principais críticas resultam das contradições existentes entre um discurso, que privilegia os aspectos socioambientais, e a prática, que ainda prioriza questões técnicas e econômicas durante as negociações.

Segundo o relatório sobre mercado elaborado pela Ecosystem Marketplace, em 2011, houve um aumento de certificações por standards que abordam de alguma maneira aspectos socioambientais dos projetos (em torno de 13% dos créditos). O que é notável, entretanto, é a valorização dos créditos que apresentam certificações cujas abordagens incluem aspectos sociais e ambientais dos stakeholders envolvidos no projeto, destacando o Gold Standard.

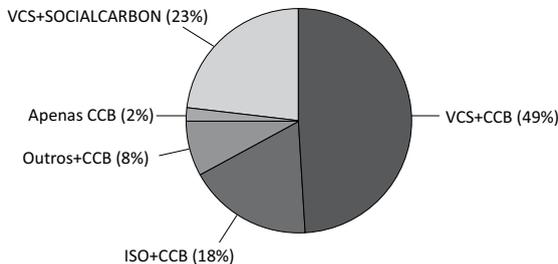
Os preços e volume de transação por Standards do Mercado Voluntário (em US\$/MtCO₂e) estão apresentados na Figura 7.



Fonte: Voluntary Carbon Markets Developing Dimension – Ecosystem Market Place e Bloomberg New Energy Finance (2012)

Figura 7 - Preços e volume de transação por Standards do Mercado Voluntário (em US\$/MtCO₂e)

A Figura 8 apresenta a parcela do mercado das principais certificações de co-benefícios do mercado voluntário, o CCB e o SOCIALCARBON⁹.



Fonte: Adaptado de “Voluntary Carbon Markets Developing Dimension”– Ecosystem Market Place e Bloomberg New Energy Finance (2012)

Figura 8 - Certificações de co-benefícios do mercado voluntário

⁹O Gold Standard não é considerado apenas uma certificação de co-benefícios, e como apresentado anteriormente é responsável por 12% do volume de créditos transacionados no mercado.

2.2.1.1 - Principais Atores

Os principais atores no Mercado Voluntário de Carbono são:

- *Comitês de Certificação:*

São organizações ou grupos de organizações que desenvolvem procedimentos de certificação para iniciativas voluntárias de redução de emissões, ou seja, os *standards*. Em geral, são compostos por atores do mercado de carbono, principalmente organizações não governamentais sem fins lucrativos. Outros atores também estão envolvidos sejam diretamente, como membros, ou indiretamente, como patrocinadores, entre eles: representantes do governo, empresas consultoras, compradores de créditos, vendedores (*brokers & retailers*), proponentes de projeto, entre outros.

- *Entidades Certificadoras*

Executam as mesmas atividades de uma DOE, porém não precisam ser necessariamente credenciadas pelo Comitê Executivo do MDL, embora, em grande parte, as entidades certificadoras que atuam no mercado voluntário são as mesmas que atuam no MDL. Cada um dos *standards* do mercado voluntário possui regras próprias sobre o credenciamento e qualificações de suas entidades certificadoras. Proponentes de Projetos de Redução ou Captura de GEEs

Possui o mesmo escopo de atuação do proponente de projeto MDL, porém optam pelo mercado voluntário em decorrência de fatores como inelegibilidade de seu projeto ao MDL ou menores custos de transação e menor risco de não aprovação.

- *Compradores de VERs*

Organizações ou indivíduos que buscam compensar ou neutralizar emissões de forma voluntária através da aquisição de créditos gerados por projetos desenvolvidos por uma terceira parte. A maior parte da demanda de créditos de carbono no mercado voluntário vem de regiões desenvolvidas e mais preocupadas com questões ambientais, como a América do Norte e a Europa. A maior motivação dessas organizações para aquisição desses créditos é a responsabilidade sócio-empresarial (HAMILTON *et al.*, 2008).

- *Empresas de Consultoria em Carbono*

Idem ao MDL, porém poucas empresas atuam de forma significativa no Mercado Voluntário no Brasil, entre elas pode-se citar Sustainable Carbon, Key Associados e Ciclo Ambiental, entre outras.

- *Sistemas de Registros*

Para monitorar as quantidades e evitar duplicidade na emissão dos VERs, diversos registros foram criados e funcionam como uma conta corrente em um banco. No caso do Carbono Social, o registro responsável é o Markit Environmental Registry (www.markitenvironmentalregistry.com). Os Sistemas de Registro possuem conexão entre si, e é possível transferir créditos registrados em um sistema para contas de outros Sistemas de Registro, quando houver necessidade.

2.2.1.2 - Etapas de desenvolvimento de projetos no Mercado Voluntário de Carbono

A elaboração de um projeto de redução ou captura de GEEs para o mercado voluntário é semelhante à elaboração de um projeto MDL, com algumas diferenças:

E1. Documento de Concepção do Projeto - DCP: constitui a elaboração de um documento, no entanto, outras metodologias e planos de monitoramento e padrões podem ser utilizados, além daqueles aprovados pelo Comitê Executivo do MDL.

E2. Validação: A validação nem sempre é necessária, no entanto, compradores de créditos voluntários costumam exigir uma validação de terceira parte para os projetos por uma empresa certificadora, não necessariamente acreditada pelas Nações Unidas. Durante a validação, a entidade certificadora pode utilizar os procedimentos do MDL ou padrões de certificação aceitos internacionalmente. Esses padrões de certificação são conhecidos como *Standards* do mercado voluntário.

E3. Não há necessidade de aprovação por autoridades nacionais. No entanto, como meio de garantir a credibilidade e evitar dupla contagem de créditos de carbono, existem registros segmentados para cada *Standard* voluntário para projetos e reduções de emissões ao qual o desenvolvedor de projeto pode aderir.

E4. Verificação: A verificação consiste em uma revisão periódica para determinar o volume efetivo das reduções de emissões ocorridas, frente ao estimado à priori no DCP, com base no *Standard* selecionado durante a elaboração do projeto.

E5. Emissão das Reduções Voluntárias de Emissões (VERs): Por fim, ocorre a emissão de VERs pela entidade certificadora (terceira parte independente). Assim como os CERs, cada VER consiste em 01(uma) tonelada de CO₂ equivalente (tCO₂e) que deixou de ser emitida ou que foi capturada.

A Figura 9 apresenta uma ilustração entre as etapas de desenvolvimento de projetos MDL e as etapas mais frequentes no Mercado Voluntário de Carbono.

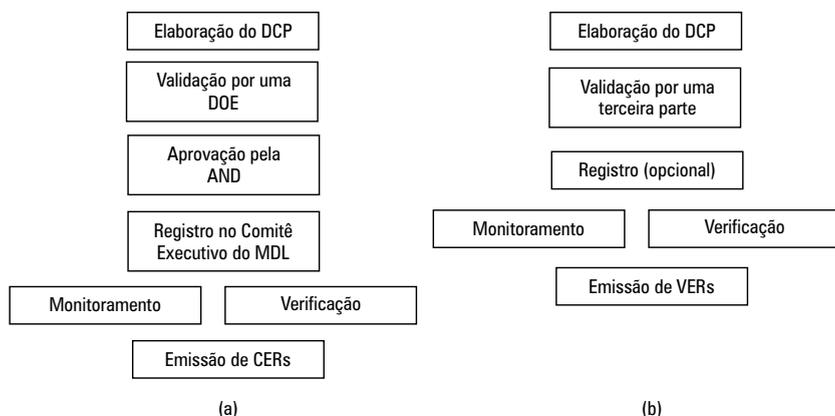


Figura 9 - Comparação entre as etapas de desenvolvimento do projeto no MDL (a) e Mercado Voluntário de Carbono (b)

2.2.1.3 - Aspectos regulatórios do Mercado Voluntário de Carbono

Como referido anteriormente, o grande diferencial do mercado voluntário de carbono é que este é caracterizado pela ausência de regulamentos aplicáveis ou aceitos universalmente. Por esse motivo, as iniciativas voluntárias de redução de emissões geram incerteza entre muitas empresas que desejam adquirir VERs, que acabam por evitar esse tipo de negociação, ou solicitar padrões mínimos, que evidenciem a solidez das ações de redução de emissões, assim como a eficiência do ponto de vista social e ambiental.

Em resposta a críticas quanto à qualidade e transparência dos projetos no mercado voluntário, diversas organizações estabeleceram protocolos que definem critérios e procedimentos para elaboração e certificação por uma terceira parte para projetos de carbono. Esses protocolos são comumente denominados *standards*. Associado a esta transparência também foram implementados os sistemas de registros.

Os *standards* de mercado voluntário que optam por uma padronização são uma resposta a essa necessidade e estabelecem critérios mínimos a serem atingidos por projetos de redução ou captura de CO₂, podendo ser entendidos como uma tentativa de regulação. Os *standards* do mercado voluntário espelham nas metodologias e processos do MDL como premissa para o desenvolvimento de seus critérios, incorporando as melhores práticas. Alguns *Standards* requerem processos e metodologias adicionais aos critérios do MDL, como é o caso do Gold Standard. Outros se mantêm similares ao MDL, como é o caso do VCS (Verified Carbon Standard). Existem também padrões de certificação cuja proposta é o monitoramento complementar de aspectos socioambientais dos projetos, e devem

ser utilizados combinados com outros standards, como é o caso do SOCIALCARBON e do CCB.

Hoje, relatórios sobre o mercado voluntário demonstram que os compradores do valorizam créditos com certificações por standards que apresentam monitoramento de características socioambientais do projeto. Por exemplo, um crédito VCS+SOCIALCARBON custa em média 1,5% a mais do que um crédito certificado apenas com o VCS.

Na tentativa de controlar o desenvolvimento de projetos e emissão de créditos, alguns *standards* voluntários iniciaram a construção de seus próprios sistemas de registro, como o VCS Gold Standard e SOCIALCARBON Standard. Devido à crise econômica de 2008 e o fim do período das metas do Protocolo de Quioto em 2012, as projeções para ambos mercados voluntários e mercados regulados apresentam incertezas. Historicamente desde 2008, os preços de ambos os mercados variaram e diminuíram mesmo para projetos dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Ressalta-se que o montante de recursos movimentados no período do Protocolo de Quioto direta e indiretamente superou os 50 bilhões de dólares. Ao mesmo tempo, nota-se o aumento e consolidação de iniciativas locais e regionais que trazem abordagens de redução de emissões de GEE de acordo com seus contextos diferenciados, como os mercados da Austrália e Califórnia.

A realização da histórica 21ª Conferência das Partes sobre Mudança do Clima (COP 21), que ocorreu na cidade de Paris em dezembro de 2015, culminou no “Acordo de Paris” (UNFCCC, 2015), o qual bateu vários recordes na esfera dos acordos internacionais. O governo americano foi signatário deste acordo climático, porém em novembro de 2019, a ONU foi comunicada formalmente da saída dos EUA do Acordo de Paris.

Foram estabelecidas metas individuais voluntárias de redução de emissão de GEE pelos países signatários, denominadas de Intenções de Contribuição Nacionalmente Determinada – INDCs (IPCC, 2018; ROUBICEK, 2019).

As ações climáticas pós-2020 comunicadas publicamente por cada país nas suas respectivas INDCs, determinavam que o mundo atingiria os objetivos de longo prazo do Acordo de Paris, os quais referem-se a manter o aumento da temperatura média global para abaixo dos 2°C, em relação aos níveis pré-industriais, e na sequência prosseguir os esforços para limitar o aumento da temperatura em 1,5°C (UNFCCC, 2015; IPCC, 2018).

Nesse contexto, o Brasil apresentou em 2015, sua pretendida INDC no Acordo de Paris. Com o depósito do instrumento de ratificação do acordo pelo país, em setembro de 2016, a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil deixou de ser “pretendida”, entrando em vigor no plano internacional em 4 de novembro de 2016, o compromisso de implantar ações e medidas que apoiem o cumprimento das metas estabelecidas na NDC (MMA, 2016).

No que se refere à mitigação da mudança do clima, a contribuição do Brasil será reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025, com uma contribuição indicativa subsequente de reduzir essas emissões em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030. Quanto à adaptação aos efeitos da mudança do clima, a NDC brasileira indica a prioridade com a dimensão social, tendo presente a necessidade de proteger as populações vulneráveis dos efeitos negativos da mudança do clima e fortalecer sua capacidade de resiliência (MMA, 2017).

Os governos que estiveram presentes na COP 25, em Madri, ocorrida em 2019, se reuniram para dialogar sobre as principais formas de garantir a implementação do Acordo de Paris. Porém o debate que tinha como tema central o mercado de carbono e a operacionalização de um fundo de US\$ 100 bilhões por ano, que deve ser financiado por países ricos, foi transferido para a próxima edição da COP, que aconteceria em 2020. Contudo, devido à ocorrência da pandemia de COVID-19, desde o início de 2020, a 26ª Conferência das Partes sobre Mudança Climática da ONU (COP 26), foi adiada para o final de 2021, no Reino Unido, em Glasgow, Escócia.

Na Sessão de Mudanças Climáticas da UNFCCC realizada no primeiro semestre de 2021 para preparar a COP26, discutiu-se questões como: “tornar a agricultura mais sustentável, buscar a melhor forma de fazer um balanço do progresso das ações climáticas, cumprimento dos compromissos pré-2020, apoio aos países em desenvolvimento e construção de resiliência e adaptação aos efeitos das mudanças climáticas” (UNFCCC, 2021), além da viabilização de US\$ 100 bilhões anuais, em financiamento climático que é considerado “um pilar fundamental do Acordo de Paris e crucial para os esforços globais para enfrentar a crise climática” (UK COP 26, 2021; UNFCCC, 2021).

Destaca-se que este processo que envolve discussões e negociações internacionais são oscilantes e muito dinâmicas, como pode ser exemplificado pela decisão tomada pelo presidente Joe Biden, empossado em 20 de janeiro de 2021, de retornar os EUA como signatário do Acordo de Paris (G1, 2021). A solicitação formal de reintegração dos Estados Unidos ao Acordo de Paris, ocorreu em 19 de fevereiro de 2021. Além dos EUA firmarem o compromisso de redução de emissões de GEE no país, espera-se que desempenhe concomitantemente, um papel fundamental na articulação nas negociações internacionais de combate às mudanças climáticas.

Diante desses fatos, espera-se que os resultados das próximas COPs, gerem mudanças significativas nos novos mecanismos de mercado e na facilidade de acesso aos recursos visando à implementação de projetos de redução de emissões, adaptação e mitigação.

Referências

ABRAMOVAY, R. Entre Deus e o diabo: mercados e interação humana nas ciências sociais. Tempo social. **Revista de Sociologia da USP**, v.16, n.2. nov. 2004.

BOYD, E.; GUTIERREZ, M.; CHANG, M. Adaptação de projetos de MDL de pequena escala para comunidades de baixa renda. In: KLINC, C. (org.). **Quanto mais quente, melhor?:** desafiando a sociedade civil a entender as mudanças climáticas. São Paulo/Petrópolis/Brasília: Instituto Internacional de Educação do Brasil (IEB), 2007.

BRASIL. Comissão Interministerial de Mudanças Globais do Clima. Estabelece os procedimentos para aprovação das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto e dá outras providências. **Resolução n. 1, de 11 de setembro de 2003.** Disponível em: <http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/clima/cimgc/Comissao_Interministerial_de_Mudanca_Global_do_Clima_CIMGC.html>. Acesso em: 10 jan. 2019

BRASIL. **Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC** (versão para consulta pública). set. 2008. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/169/_arquivos/169_29092008073244.pdf>. Acesso em: 27 out. 2019.

BRASIL. Casa Civil. **Lei n. 12.187, de 29 de dezembro de 2009.** Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm>. Acesso em: 12 dez. 2019.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Protocolo de Quioto.** Tradução conjunta do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT e Ministério das Relações Exteriores. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/clima/quioto/protocol.htm>. Acesso em: 06 jul. 2019.

BRUNNER, A. G.; GUILLISON, R. E.; RICE, R. E.; FONSECA, G. A. B. Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. **Science**, v. 291, p. 125-128, 2001.

CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Manual de capacitação sobre mudança do clima e projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL).** rev. e atua. Brasília: CGEE. 2010. 268 p. Disponível em: <https://www.cgее.org.br/documents/10195/734063/Manual+CPMDL_CD_9566.pdf>. Acesso em: 12 de set. 2020.

CHINA DIALOGUE. **Feasibility study on chinese civil society responses to climate change.** In: Tackling climate change – and inequality. Disponível em: <www.chinadialogue.net>. Acesso em: 21 abr. 2016.

COMISSÃO INTERMINISTERIAL DE MUDANÇAS GLOBAIS DO CLIMA, CIMGC. **Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo: última compilação do site da CQNUMC**, 30 ago. 2008. Disponível em: <www.mct.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2020.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, CEBDS. **Brasil conquista bons resultados na Conferência do Clima**. 2005. Disponível em: <www.ambientebrasil.com.br/noticias/index.php3?action=ler&id=22126>. Acesso em: 15 maio 2020.

EL KHALILI, A. Créditos de carbono para quem? **Jornal do Meio Ambiente**, n. 63 e 64 – Ano VI mar/abr 2001. Disponível em: <www.jornaldomeioambiente.com.br>. Acesso em: 1 out. 2020.

FERNANDES, P. Experiências de sucesso no desenvolvimento de pequenos projetos MDL. In: CONFERÊNCIA SOBRE CRÉDITO DE CARBONO, 2007. **Anais...** São Paulo: Centro Universitário SENAC, 2007.

FRANGETTO, F. W. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo pelo olhar do direito ambiental. In: KLINK, C. (org.). **Quanto mais quente, melhor?:** desafiando a sociedade civil a entender as mudanças climáticas. São Paulo/Petrópolis/Brasília: Instituto Internacional de Educação do Brasil (IEB), 2007.

FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, FBMC; CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, CEBDS. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. 12 p. (Série Mudanças Climáticas). Disponível em: <www.forumclimabr.org.br>. Acesso em: 23 set. 2019.

LOPES, I. V. (Coord.). **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL: guia de orientação**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas- FGV, 2002. 90 p.

G1. Biden anuncia retorno dos EUA ao Acordo de Paris e à OMS e quais medidas de Trump serão anuladas. 20 jan. 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mundo/noticia/2021/01/20/biden-anuncia-retorno-dos-eua-a-oms-e-ao-acordo-de-paris-e-medidas-de-trump-que-serao-revistas.ghtml>>. Acesso em: 21 fev. 2021.

GREENPEACE. **Mudanças de clima, mudanças de vida: como o aquecimento global já afeta o Brasil**. São Paulo, 2006. 64 p. Disponível em: <www.greenpeace.org.br>. Acesso em: 13 out. 2020.

HAMILTON, K. *et al.* **Picking up steam: state of the voluntary carbon market 2008**. Disponível em: <http://ecosystemmarketplace.com/documents/cms_documents/2008_StateofVoluntaryCarbonMarket2.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2020.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2001: The Scientific Basis-Contribution of Working Group 1 to the IPCC Third Assessment Report.** Cambridge Univ Press, London, 2001a.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2001: impacts, adaptation and vulnerability - Contribution of Working Group 2 to the IPCC Third Assessment Report.** Cambridge Univ. Press, London, 2001b.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Mudança do Clima 2007: a base das ciências físicas.** Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Sumário para Formuladores de Políticas. Tradução Ribeiro, A. A. Paris, 2007.

IPCC. **Summary for Policymakers.** In: MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PÖRTNER, H.-O.; ROBERTS, D.; SKEA, J.; SHUKLA, P.R.; PIRANI, A.; MOUFOUMA-OKIA, W.; PÉAN, C.; PIDCOCK, R.; CONNORS, S.; MATTHEWS, J.B.R.; CHEN, Y.; ZHOU, X.; GOMIS, M.I.; LONNOY, E.; MAYCOCK, T.; Tignor, M.; WATERFIELD, T. (eds.). **Global Warming of 1.5°C. an IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.** 2018.

KOLLMUSS, A.; ZINK, H.; POLYCARP, C. **Making sense of the Voluntary Carbon Market: a comparison of Carbon Offset Standards.** WWF Alemanha, 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, MMA. **Estratégia nacional de implementação da NDC do Brasil.** 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/ndc-do-brasil.html>>. Acesso em: 15 out. 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, MMA. **Documento-base para subsidiar os diálogos estruturados sobre a elaboração de uma estratégia de implementação e financiamento da contribuição nacionalmente determinada do Brasil ao Acordo de Paris:** Sumário executivo. Brasília: MMA. 2017. 33p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, MMA. **Protocolo de Quioto.** 2020. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html>>. Acesso em: 15 set. 2020.

MERGER, E. A comparison of the leading Standards in the Voluntary Carbon Market. **Carbon positive,** 2008. Disponível em: <<http://www.carbonpositive.net/viewFile.aspx?FileID=133>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

MONZONI, M. **Critérios de sustentabilidade para projetos MDL no Brasil.** Adaptado de Paper escrito por Silvia Llosa para o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) e para o Observatório do Clima. Buenos Aires, 2004.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Mercado de carbono**. 2015. Disponível em: <<http://www.observatoriodoclima.eco.br/mercado-de-carbono/>>. Acesso em: 13 dez. 2020.

REZENDE, D.; MERLIN, S.; SANTOS, M. **Seqüestro de carbono**: uma experiência concreta. Palmas: Instituto Ecológica, 2001.178 p.

REZENDE, D.; MERLIN, S. **Carbono Social agregando valor ao desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Ed. Fundação Peirópolis, 2003. 162p.

ROCHA, M. T. Mudanças climáticas e o mercado de carbono. In: SANQUETTA, C. R.; ZILLOTTO, M. A. B.; CORTE, A. P. D. (ed.). **Carbono**: desenvolvimento tecnológico, aplicação e mercado global. Curitiba, 2006. p. 19-41.

ROUBICEK, M. Crédito de carbono: a aposta de mercado contra o efeito estufa. **Nexo**, São Paulo, 04 out. 2019. Disponível em: <<https://www.nexojornal.com.br/explicado/2019/10/04/Cr%C3%A9dito-de-carbono-a-aposta-de-mercado-contra-o-efeito-estufa#section-193>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

SOUZA, M. C. M.; DRIGO, I. G.; PIKETTY, M. G. Certificação do café orgânico e da madeira no Brasil: um caminho para a sustentabilidade? **Revista Informações Econômicas**, São Paulo, v. 36, n.11, nov. 2006.

UK COP 26. **Conclusões dos co presidentes diálogo sobre o clima de Petersberg**. 21 maio 2021. Disponível em: < <https://ukcop26.org/co-chairs-conclusions-petersberg-climate-dialogue/>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

UNFCCC, Convenção Quadro sobre Mudança do Clima. Conferência das Partes – COP 21. **Adoção do Acordo Paris**. Paris: UNFCCC. 12 dez. 2015. 42p. Disponível em: <<https://unfccc.int/documents/9064>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

UNFCCC, Convenção Quadro sobre Mudança do Clima. Chefe do clima da ONU estimulam os países a cumprir promessa de US\$ 100 bilhões. 07 jun. 2021. Disponível em: < <https://unfccc.int/news/un-climate-chief-urges-countries-to-deliver-on-usd-100-billion-pledge>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

VEIGA, J. E. **Desenvolvimento sustentável**: o desafio do século XXI. 3. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2008. 220 p.

Transferência de Tecnologias para Consolidação do Plano ABC no Tocantins

Alexandre Aires de Freitas¹; Ernandes Barboza Belchior²; Pedro Henrique Rezende de Alcântara³; Cláudio França Barbosa³

¹Engenheiro Agrônomo, MSc., Embrapa Pesca e Aquicultura; ²Sociólogo, MSc., Embrapa Pesca e Aquicultura; ³Zootecnista, MSc., Embrapa Pesca e Aquicultura.

1 - A implantação do Plano ABC no Tocantins

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, conhecida como ECO-92, realizada entre 3 e 14 de junho de 1992 no Rio de Janeiro, fortaleceu o debate mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento sustentável. Dentre outras conquistas, a conferência do Rio colaborou para elaboração da Agenda 21 e a criação do Protocolo de Quioto. Nesse novo contexto mundial, o Brasil passou a ter um papel de maior destaque, principalmente por seu protagonismo durante a 15ª Conferência das Partes (COP-15), quando assumiu o compromisso voluntário de redução entre 36,1% e 38,9% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) projetadas para 2020, estimando o volume de redução em torno de um bilhão de toneladas de CO₂ equivalente (CO₂ eq). Esses compromissos estão expressos na Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional de Mudança do Clima (PNMC).

A PNMC prevê que o poder executivo estabeleça planos setoriais de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas visando a prevenção e controle do desmatamento nos biomas e a consolidação de uma economia de baixo consumo de carbono.

O Decreto nº 7.390/2010 regulamentou os artigos 6º, 11º e 12º da política, estabelecendo o compromisso voluntário de reduzir entre 1.168 milhões de tCO₂eq e 1.259 milhões de tCO₂eq do total das emissões estimadas, e definindo 5 planos, entre eles, um para consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura, denominado “Plano ABC”.

Da meta total de redução da emissão de GEE, o setor agropecuário contribuirá com a redução de 22,5 %.

O parágrafo 1º do artigo 6º estabelece as seguintes metas para o setor agrícola:

- Recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas;
- Ampliação da adoção de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) em 4 milhões de hectares, incluindo a implantação de Sistemas Agroflorestais (SFAs) em 2,76 milhões de hectares pela agricultura familiar;
- Expansão da adoção do Sistema Plantio Direto (SPD) em 8 milhões de hectares;
- Expansão da adoção da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) em 5,5 milhões de hectares de áreas de cultivo, em substituição ao uso de fertilizantes nitrogenados;
- Expansão do plantio de florestas em 3,0 milhões de hectares;
- Ampliação do uso de tecnologias para tratamento de 4,4 milhões de m³ de dejetos animais.

Para o alcance dos objetivos traçados pelo Plano ABC o governo federal tem estabelecido ações em parceria com os governos estaduais e municipais, para que cada ente federativo coopere assumindo uma parcela das metas estabelecidas. No sentido de fomentar a adoção de tecnologias ou aprimoramento produtivo para viabilizar práticas agrícolas que possibilitem baixas taxas de emissão de carbono, por parte dos produtores, o governo federal criou a linha de crédito “Programa ABC”. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estima que, entre 2010 e 2020, serão necessários recursos da ordem de R\$ 197 bilhões, financiados com fontes orçamentárias ou por meio de linhas de crédito, sendo que R\$ 157 bilhões seriam recursos disponibilizados via crédito rural (BRASIL, 2012).

O estado do Tocantins foi um dos primeiros a criar um Grupo Gestor Estadual (GEE) com o objetivo de promover o debate entre os diversos segmentos da sociedade e com isso definir metas e estratégias adequadas às realidades locais. Nesse sentido, foi realizada de 22 a 24 de maio de 2012 uma oficina para elaboração do Plano Estadual de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC-TO), com a participação de representantes de instituições públicas e privadas, que discutiram os principais problemas e potencialidades bem como definiram metas e ações para consolidação do plano no estado até 2020. O Plano Estadual é o instrumento oficial que contem o compromisso formal do estado em contribuir para a redução das emissões dos gases de efeito estufa oriundas das atividades agrícola e pecuária, indicando as metas estaduais e as ações pactuadas para o seu atendimento. Com as diretrizes traçadas o governo do Tocantins, por meio do decreto no 5.000, de 21 de fevereiro de 2014, instituiu o Plano Estadual de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, Plano ABC -TO (Diário Oficial do Tocantins, 2014).

A Tabela 1 apresenta as metas estaduais definidas e homologadas pelo Governo.

Tabela 1 – Metas do estado do Tocantins e potencial de mitigação até 2020

Processo Tecnológico	Compromisso (milhões de ha)	Potencial de Mitigação (milhões Mg CO₂ eq)
Recuperação de Pastagens Degradadas	1,2	6,4 a 8
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	0,2	1,1 a 1,3
Sistema Plantio Direto	0,4	0,7 a 0,9
Fixação Biológica de Nitrogênio	0,2	0,3
Florestas Plantadas	0,3	-
Tratamento de Dejetos Animais	0,03	0,04
Total	2,33	8,5 a 10,5

Fonte: Plano ABC - Tocantins (2013)

A pró-atividade dos agentes produtivos tocantinenses é justificável, pois o estado faz parte de uma região que tem sido considerada a nova fronteira agrícola brasileira denominada MATOPIBA. Essa região compreende áreas dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Segundo o estudo Brasil – Projeções do Agronegócio 2010/2011 a 2020/2021 feito pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), o MATOPIBA deverá apresentar aumento elevado da produção de grãos assim como sua área deve apresentar também aumento expressivo. Atribui-se a expansão dessa nova região aos preços de terras, que, embora tenham se elevado acentuadamente nos últimos anos, ainda são inferiores a estados como Mato Grosso, que ainda é uma região de expansão de fronteira. O estudo prevê aumento anual de 2,2% na produção da região entre 2010 e 2021, correspondente ao crescimento projetado de 13,3 milhões de toneladas de grãos da safra atual para 16,6 milhões de toneladas no início da próxima década. A área plantada de grãos dessa região do MATOPIBA, previa-se uma taxa de crescimento anual de 1,5%, entre 2011 e 2021, passando de 6,4 milhões para 7,5 milhões de hectares. Esse aumento é mais que o dobro da expansão prevista da produção nacional de grãos, estimada em 21% para o mesmo período (BRASIL, 2010).

O censo agropecuário de 2006 (Tabela 2) mostrou que o estado do Tocantins possui 56.567 estabelecimentos rurais, com área total de 14.292.923 hectares. Os dados mostram alta concentração de terras tendo 42.899 estabelecimentos caracterizados como de agricultura familiar ocupando apenas 18,85% (2.695.201 hectares) da área enquanto apenas 13.668 estabelecimentos ocupam 11.597.721 hectares equivalendo a 81,15% do total (IBGE, 2006).

Tabela 2 - Número de estabelecimentos agropecuários e área dos estabelecimentos por utilização das terras do estado do Tocantins em 2006 (Fonte: IBGE - Censo Agropecuário, 2006)

Utilização das terras	Número (Unidades)	Área (Hectares)
Total	56.567	14.387.949
Lavouras - permanentes	8.341	99.489
Lavouras - temporárias	17.301	445.476
Lavouras - área plantada com forrageiras para corte	2.757	92.263
Lavouras - área para cultivo de flores (inclusive hidroponia e plasticultura), viveiros de mudas, estufas de plantas e casas de vegetação	113	1.581
Pastagens - naturais	23.952	2.840.193
Pastagens - plantadas degradadas	10.830	651.718
Pastagens - plantadas em boas condições	41.307	4.621.208
Matas e/ou florestas - naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal	27.577	2.889.451
Matas e/ou florestas - naturais (exclusive área de preservação permanente e as em sistemas agroflorestais)	15.867	1.704.590
Matas e/ou florestas - florestas plantadas com essências florestais	539	44.850
Sistemas agroflorestais - área cultivada com espécies florestais, também usada para lavouras e pastoreio por animais	6.120	432.006
Tanques, lagos, açudes e/ou área de águas públicas para exploração da aquicultura	3.475	50.869
Construções, benfeitorias ou caminhos	20.451	108.066
Terras degradadas (erodidas, desertificadas, salinizadas, etc.)	944	33.109
Terras inaproveitáveis para agricultura ou pecuária (pântanos, areais, pedreiras, etc.)	7.869	373.102

O Tocantins tem na agropecuária sua principal fonte de divisas, sendo a soja e a carne bovina os principais componentes da pauta de exportações do estado como mostrada na Tabela 3. A adoção às tecnologias preconizadas pelo plano ABC é estratégica não só pela possibilidade de melhoria dos indicadores de produção, mas também pela tendência cada vez mais concreta no comércio exterior de uso de barreiras não tarifárias vinculadas às questões ambientais.

Tabela 3 - Exportações totais do estado do Tocantins e participação da soja e carne bovina, em valor (US\$) e peso líquido (kg)

Ano	Total		Soja		Carne Bovina	
	US\$ FOB	Peso Líquido (kg)	US\$ FOB	Peso Líquido (kg)	US\$ FOB	Peso Líquido (kg)
2011	486.316.321	742.023.903	352.536.700	713.539.806	119.586.732	24.522.681
2010	343.991.671	700.439.036	258.006.787	677.386.779	77.705.621	20.030.185
2009	280.218.094	583.713.235	210.511.706	558.849.331	55.341.297	18.539.286
2008	297.705.534	569.259.809	244.926.946	552.649.108	41.000.488	11.129.202
2007	154.981.621	454.802.185	117.507.215	436.361.360	26.504.006	11.696.527

Fonte: Tabulação própria de dados do Aliceweb (2012)

Considerando que a soja e a carne bovina representam quase a totalidade das exportações tocantinenses, chegando em 2011 a 97,08% do valor total exportado, a adoção de práticas como plantio direto, recuperação de pastagens degradadas, integração lavoura, pecuária e floresta passam a ser fundamentais para a competitividade e o crescimento das exportações nos patamares atuais.

2 - A estratégia de transferência de tecnologia baseada na capacitação continuada de multiplicadores

No Tocantins, o Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (Plano ABC-TO) é coordenado pela Secretaria de Agricultura, Pecuária e Aquicultura do Estado, desde 2014 e implementado por um grupo Gestor, no qual a Embrapa Pesca e Aquicultura, entre outras ações é responsável pela formação da rede de técnicos multiplicadores das tecnologias ABC. O processo de capacitação continuada para a formação da rede está baseado nas metodologias Redes de Referências (MIRANDA *et al.*, 2001; MIRANDA; DOLIVEIRA, 2005) e Treino & Visita (BENNOR; HARRISSON, 1977; DOMIT *et al.*, 2007) (Figura 1).



Foto: Clenio Araújo

Figura 1 - Encontro técnico do Projeto ABC Corte em março de 2018, na sede da Embrapa Pesca e Aquicultura

Por meio dessa metodologia, consultores e extensionistas participam de encontros técnicos promovidos pela Embrapa e parceiros para discussão das novas técnicas de produção relacionadas à Recuperação de Pastagens Degradadas, Sistema de Plantio Direto e da Integração Lavoura Pecuária.

Cada participante desse processo se compromete a implantar as tecnologias em um de seus clientes, sendo que técnicos da Embrapa acompanham esse processo de modo a coletar informações que possibilitem disseminar os sistemas de produção para outros agropecuaristas e ainda retroalimentar os setores de pesquisa com as demandas por desenvolvimento tecnológico (Figura 2).

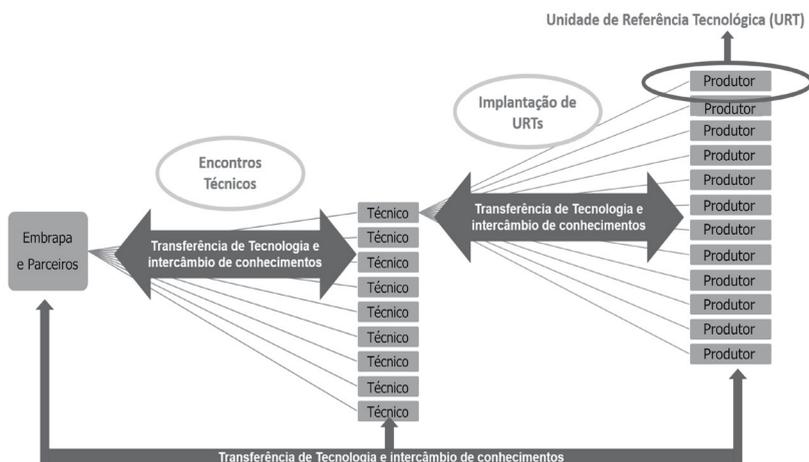


Figura 2 - Representação gráfica do fluxo de informações entre os agentes da rede de técnicos multiplicadores das tecnologias ABC no Tocantins

A propriedade selecionada pelo técnico multiplicador para a realização deste trabalho é denominada Unidade de Referência Tecnológica (URT), sendo conceitualmente uma propriedade rural na qual as tecnologias propostas na capacitação continuada são implantadas visando a capacitação prática dos multiplicadores e produtores, o estabelecimento de sistemas de produção de referência para determinada região e, ainda, a realização de eventos de difusão das tecnologias ali empregadas.

Nesse processo nenhum tipo de fomento é dado ao produtor. A implantação das URT segue um processo baseado no ciclo PDCA (SHEWHART; DEMING, 1939) composto por cinco etapas: diagnóstico, planejamento estratégico, planejamento operacional, acompanhamento e avaliação (Figura 3).

Para cada etapa ferramentas específicas são disponibilizadas para os técnicos multiplicadores que recebem capacitação para o uso das mesmas durante os encontros técnicos.

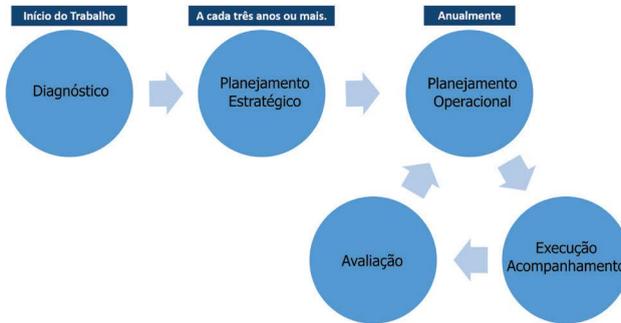


Figura 3 - Representação esquemática das etapas de implantação de Unidades de Referência Tecnológica do plano ABC no Tocantins

Após a implantação e condução das URT os dados dos sistemas de produção são sistematizados e apresentados aos produtores e demais interessados por meio de eventos de difusão de tecnologias (dias de campo, palestras, etc), discutidos nos encontros da rede de multiplicadores e ainda publicados por meio comunicados técnicos. Por meio dessa divulgação, novos produtores interessados na implantação dos sistemas ABC surgem espontaneamente e podem passar a ser atendidos pelos técnicos da rede de multiplicadores, os quais já se encontram capacitados para tal.

Esta estratégia tem se mostrado robusta e consistente para a multiplicação das tecnologias ABC no estado do Tocantins, sendo que avaliações têm sido realizadas de modo a determinar o impacto de tais ações.

3 - Os impactos da adoção das tecnologias ABC

O Brasil possui o segundo maior rebanho bovino comercial do mundo, com mais de 212 milhões de cabeças e se configura como o maior exportador e o segundo maior produtor de carne do mundo (USDA, 2015). O país conta também com um rebanho leiteiro de aproximadamente 23 milhões de animais que produzem pouco mais de 34 bilhões de litros de leite anuais, o que o coloca na sexta posição mundial em relação a esse produto (FAO, 2015). Esses resultados, indubitavelmente, alçam a pecuária brasileira a uma posição de destaque no agronegócio, capaz de fornecer alimentos a preços baixos, gerar empregos, renda e divisas para o equilíbrio da balança comercial brasileira.

Por outro lado, essa grande importância econômica antagoniza com os impactos ambientais provocados pela criação desses animais. A fermentação entérica dos ruminantes e a deposição de dejetos desses animais no solo acarretam a emissão de metano (CH₄) e N₂O, gases de efeito estufa, que juntamente com o Dióxido de Carbono (CO₂), Hexafluoreto de Enxofre (SF₆), perfluorcarbonetos (PFC) e os hidrofluorcarbonetos (HFC), concorrem para o aquecimento da superfície terrestre.

É imprescindível avaliar de que forma a difusão de tecnologias altera aspectos das cadeias produtivas, bem como seu entorno social e o meio ambiente. Torna-se fundamental verificar a importância e o impacto das tecnologias adotadas e suas consequências em aspectos tangíveis da realidade. Diante disso este capítulo apresenta, resumidamente, os impactos socioeconômicos e ambientais obtidos em 05 (cinco) propriedades de bovinos de leite no estado do Tocantins decorrentes das ações de transferência do Plano de ABC voltadas para o Sistema de Plantio Direto, Recuperação de Pastagens Degradadas e Integração Lavoura-Pecuária.

O método de avaliação utilizado neste estudo é o Ambitec (Sistema de Avaliação de Impacto de Inovações Tecnológicas Agropecuárias), metodologia que avalia os impactos sociais e ambientais das tecnologias (ÁVILA *et al.*, 2008; BELCHIOR *et al.*, 2017) e que consiste de um conjunto de 136 indicadores, integrados em 26 critérios, distribuídos em duas dimensões: a dos impactos ecológicos, que abriga os aspectos de eficiência tecnológica e qualidade ambiental; e a dos impactos socioambientais, que congrega aspectos de respeito ao consumidor, trabalho e emprego, renda, saúde e gestão administrativa (Figura 4).



Figura 4 - Diagrama contendo as dimensões, aspectos e indicadores do Sistema de Avaliação de Impacto de Inovações Tecnológicas Agropecuárias (AMBITEC – Agro)

O processo de avaliação do Ambitec consiste em solicitar ao usuário do sistema e produtor responsável que indique os coeficientes de alteração para cada componente dos indicadores, em razão específica da aplicação da tecnologia à atividade e nas condições de manejo particulares à situação estudada. Os coeficientes de alteração estão descritos conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Impacto da inovação tecnológica e coeficientes de alteração do componente a serem inseridos nas matrizes de ponderação de avaliação de impacto

Impacto da tecnologia na atividade rural ¹	Coeficiente de alteração do componente
Grande aumento no componente (> 25%)	+3
Moderado aumento no componente (\leq 25%)	+1
Componente inalterado	0
Moderada diminuição no componente (\leq 25%)	-1
Grande diminuição no componente (> 25%)	-3

¹Observado sob as condições de manejo específicas do estabelecimento

Fonte: Ávila *et al.* (2008)

A metodologia inclui fatores de ponderação que se referem à importância do componente para a formação do indicador. Os valores dos fatores de importância variam conforme o número de componentes, podendo ser alterados pelos usuários do sistema para melhor refletir situações específicas de avaliação a fim de se enfatizar (ou desconsiderar) alguns dos indicadores, desde que o total seja igual a +1, indicando a direção do impacto como favorável, ou -1, indicando o efeito inverso.

Além dos coeficientes de alteração, a escala de ocorrência é outro fator proposto no Ambitec e resulta no espaço no qual se observam os impactos da tecnologia, conforme a situação específica de adoção e manejo observado no estabelecimento rural, podendo ser:

- i. Pontual – Quando o impacto se restringe ao campo cultivado, à instalação ou recinto de criação, ou à unidade produtiva agroindustrial na qual esteja ocorrendo a alteração no indicador; ou
- ii. Local – Quando os efeitos se fazem sentir externamente a essa unidade produtiva, porém confinados aos limites do estabelecimento em avaliação; ou ainda
- iii. No entorno – Quando os efeitos observados extrapolam os limites do estabelecimento em avaliação, afetando áreas vizinhas.

Os fatores para ponderação da escala de ocorrência expressam um valor proporcionalmente maior à medida que os efeitos da tecnologia afetem um espaço ou um ambiente que extrapola os limites do estabelecimento. A Tabela 5 apresenta os fatores de ponderação utilizados conforme a escala de ocorrência do impacto.

Tabela 5 - Fator de ponderação multiplicativo relativo à escala da ocorrência do efeito da tecnologia sobre o componente do indicador de impacto

Escala de ocorrência	Fator de Ponderação
Pontual	1
Local	2
Entorno	5

Fonte: Ávila *et al.* (2008)

O procedimento de avaliação do Ambitec-Agro consiste em verificar os coeficientes de alteração (se aumenta, diminui ou permanece inalterado) e a escala de ocorrência (pontual, local ou entorno) dos critérios atribuídos a cada indicador. Os resultados variam entre + 15 e -15, normalizada para todos os indicadores individualmente e para o Índice de Impacto da Tecnologia.

O Ambitec foi aplicado em cinco estabelecimentos rurais receptores das ações de transferência de tecnologia para implantação do Plano ABC no estado do Tocantins, visando verificar as contribuições decorrentes das ações de transferência de tecnologias voltadas para Sistema de Plantio Direto, Recuperação de Pastagens Degradadas e Integração Lavoura-Pecuária. Os estabelecimentos avaliados estão localizados nos municípios de Combinado, Nova Olinda, Itaguatins, Aliança e Araguaçu. Os resultados da avaliação de impactos sociais e ambientais são apresentados a seguir, de forma compilada e comparativa entre os cinco estabelecimentos, explicitando o alcance individual e a variabilidade dos impactos decorrente das ações do projeto. Em todas as propriedades a principal atividade é a bovinocultura de leite.

A Tabela 6 apresenta os resultados relativos ao Ambitec-Agro nas cinco propriedades avaliadas.

Tabela 6 - Coeficientes e índices de impactos ambientais calculados pelo Ambitec para cada estabelecimento pesquisado

Indicadores	Prop. A	Prop. B	Prop. C	Prop.D	Prop.E
	(Combinado)	(Nova Olinda)	(Itaguatins)	(Aliança)	(Araguaçu)
Coeficiente do indicador de impacto (Cia)					
Uso de insumos agrícolas e recursos	-4,0	-9,5	-3,0	-2,0	2,0
Uso de insumos veterinários e matérias-primas	8,0	0,5	-3,0	0,0	3,5
Consumo de energia	6,0	-4,5	-7,5	-9,0	0,0
Geração própria, aproveitamento, reuso e autonomia	0,3	0,0	0,8	0,8	0,0
Emissões à atmosfera	-0,1	0,4	0,3	0,4	0,4
Qualidade do solo	11,3	1,3	12,5	7,5	1,3
Conservação da biodiversidade	0,0	0,0	0,0	-0,7	0,0
Recuperação ambiental	0,6	0,2	0,6	0,2	0,0
Qualidade do produto	3,8	1,3	5,0	2,5	0,0
Capital social	0,5	1,1	6,8	3,2	1,4
Bem-estar e saúde animal	6,5	5,0	8,8	4,5	9,3
Capacitação	0,0	0,0	1,8	0,0	1,3

Continua...

Continuação

Indicadores	Prop. A	Prop. B	Prop. C	Prop.D	Prop.E
	(Combinado)	(Nova Olinda)	(Itaguatins)	(Aliança)	(Araguaçu)
Coeficiente do indicador de impacto (Cia)					
Qualificação e oferta de trabalho	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0
Qualidade do emprego	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Geração de renda do estabelecimento	7,5	0,0	2,5	6,3	3,8
Diversidade de fontes de renda	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valor da propriedade	1,3	1,3	5,0	2,5	2,3
Saúde ambiental e pessoal	0,0	0,2	0,2	0,4	0,2
Segurança e saúde ocupacional	0,0	-3,0	-3,0	-1,0	0,0
Segurança alimentar	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
Dedicação e perfil do responsável	4,5	7,5	7,5	7,5	4,8
Condição de Comercialização	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Disposição de resíduos	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
Gestão de insumos químicos	6,0	0,8	2,3	3,3	0,0
Relacionamento institucional	3,0	4,0	3,0	3,0	3,0
Índice de impacto da tecnologia (Iia)	2,47	0,19	1,72	1,23	1,42

Fonte: Dados da pesquisa

No tocante ao indicador de “Uso de insumos agrícolas e recursos naturais”, a adoção das tecnologias voltadas para implantação dos sistemas de Integração Lavoura-Pecuária, Sistema de Plantio Direto e da Recuperação de Pastagens permitiu a diminuição da necessidade de área para cultivo para obtenção da mesma quantidade de produtos, em função dos ganhos de produtividade. Entretanto, a alta demanda de fertilizantes e condicionadores do solo para o processo de recuperação de pastagens degradadas – com o intuito de melhorar sua fertilidade química, promover o desenvolvimento radicular e o sistema produtivo das plantas –, bem como o maior consumo de água para irrigação, tornou esse indicador negativo para quatro unidades avaliadas. Importante ressaltar que em função das condições produtivas das propriedades, determinadas intervenções são necessárias, o que pode ocasionar, a princípio, resultados negativos vistos sob a perspectiva pontual, mas que analisados sob o âmbito de sistema, como o preconizado no Plano ABC, são etapas de um processo que busca: obter melhorias dos atributos físicos, químicos e

biológicos do solo devido ao aumento da matéria orgânica; minimizar a ocorrência de doenças e plantas daninhas; aumentar o bem-estar animal, em decorrência do maior conforto térmico; reduzir as perdas de produtividade na ocorrência de veranicos, dentre outras. Daí a importância de se avaliar continuamente as propriedades para verificar a possível observância de tais vantagens. Uma propriedade apresentou coeficiente positivo devido à moderada redução de consumo de água, solo e uso de fertilizantes químicos por unidade de produto.

Quanto ao “Uso de Insumos Veterinários e Matérias Primas”, não houve alteração para esse indicador em uma das propriedades avaliadas. O índice negativo em uma delas decorreu da renovação do plantel e o aumento do rebanho bovino com a consequente exigência por forragem, rações, suplementos, vacinas e outros produtos veterinários. Nas demais, os indicadores positivos observados, advêm da redução e uso de produtos veterinários, em virtude de orientações adotadas pelos produtores quanto ao manejo sanitário e ao número adequado de animais em uma determinada área de pastagem.

Em relação ao indicador “Consumo de energia”, um estabelecimento não apresentou alteração para esse componente. Em três propriedades o coeficiente foi negativo devido ao maior consumo de combustíveis fósseis em função da maior frequência de uso de máquinas agrícolas, seja para aração, gradagem, semeadura, adubação e tratos culturais. Além disso, em uma dessas propriedades, observou-se maior consumo de energia elétrica decorrente do uso de bomba de irrigação para plantio e máquina processadora de volumosos. Em um estabelecimento rural o indicador foi positivo devido ao planejamento e uso racional da irrigação nas pastagens em dias e horários em que a cobrança da tarifa de energia elétrica é reduzida, resultando em diminuição de custo para esse quesito.

No tocante à “Geração própria, aproveitamento, reuso e autonomia”, não houve qualquer alteração para esse indicador em duas propriedades avaliadas. Nas demais, os indicadores positivos são resultantes da adoção do manejo integrado de pragas e doenças – o que permitiu a associação de táticas como o controle biológico, o emprego de cultivares mais resistentes às pragas e o uso racional de produtos químicos mais seguros ao homem e ao meio ambiente – e do reaproveitamento de esterco dos animais para cultivos agrícolas.

Quanto ao critério “Emissões à atmosfera”, um estabelecimento rural apresentou coeficiente negativo devido ao uso frequente de equipamentos e máquinas agrícolas para aração, gradagem, semeadura e tratos culturais. Nas demais propriedades, as ações de transferência de tecnologia voltadas para a recuperação de pastagens e promoção de cultivos consorciados mitigaram a emissão de metano dos rebanhos, dado o acúmulo de matéria orgânica na biomassa e a consequente melhoria da nutrição entérica dos animais.

Em relação à “Qualidade do solo”, as ações de transferência tornaram o indicador positivo para todas as propriedades avaliadas. As recomendações quanto ao preparo, correção e adubação do solo; controle biológico de pragas, doenças e plantas daninhas; ao uso, consorciado ou não, de algum tipo de leguminosa; ao manejo adequado do pastejo; à lotação adequada de animais, surtiram efeito positivo, pois elevou-se a capacidade produtiva do solo, melhorando seus atributos químicos e físicos.

Quanto à “Qualidade da água”, não houve alteração para esse indicador nas propriedades avaliadas.

No tocante à “Conservação da biodiversidade”, praticamente não houve alteração da inovação tecnológica para esse indicador. Exceção feita a uma propriedade, onde a abertura de novas áreas para plantio diminuiu a presença de espécies da fauna silvestre, em especial algumas variedades de aves.

O último atributo relacionado à dimensão ecológica trata da “Recuperação ambiental”. Nesse aspecto, as ações de transferência voltadas para o Plano ABC não apresentaram efeito para uma propriedade e tornaram os coeficientes positivos para as demais. Adubações de manutenção, vedação de piquetes, controle de invasores e sobressemeadura de espécies existentes contribuíram para o restabelecimento da cobertura do solo e do vigor das plantas forrageiras na pastagem, diminuindo a incidência de solos degradados e favorecendo a proteção de áreas de preservação permanente.

Quanto à “Qualidade do produto”, avaliam-se aspectos do produto destinado à comercialização, no caso específico, leite. Uma propriedade não apresentou alteração para esse indicador. Quatro estabelecimentos expressaram efeito positivo para esse item, dado que as orientações técnicas repassadas quanto aos manejos do solo e de animais impactaram na diminuição do uso de produtos químicos e sua consequente redução de resíduos, bem como na diminuição de contaminantes biológicos decorrente da maior higienização de recintos dos animais.

Em relação ao “Capital social”, todas as propriedades apresentaram indicador positivo para esse aspecto. A ação conjunta de profissionais e produtores na divulgação do modelo implantado tem permitido atrair visitantes (produtores e técnicos) de outras comunidades interessados em conhecer as ações de transferência de tecnologias do Plano ABC nas propriedades selecionadas. Isso tem elevado a visibilidade do modelo implantado e proporcionado condições importantes para outras ações complementares baseadas, por exemplo, em programas de transferência de conhecimentos e tecnologias, como Dias de Campo e visitas técnicas guiadas.

O indicador “Bem-estar e saúde animal” também foi positivo em todas as propriedades avaliadas. As ações de transferência proporcionaram aos produtores

redefinirem o método produtivo utilizado. Isso trouxe benefícios que resultaram na continuidade de fornecimento de alimento aos animais em períodos considerados até então críticos; na lotação adequada de animais em áreas e piquetes e demais estabelecimentos; e no manejo sanitário preventivo do rebanho, evitando assim, os riscos de doenças e o uso indiscriminado de produtos veterinários.

Quanto à “Capacitação”, três propriedades não apresentaram alteração para esse indicador. As demais apresentaram coeficiente positivo, pois as capacitações relacionadas a manejo de rebanho, uso e recuperação de pastagens, aproveitamento do solo, plantio direto, sistema de plantio consorciado, manejo integrado de pragas, adubação, cuidados relacionados ao uso e aplicação de herbicidas, dentre outros, promovidas pelas equipes de extensão rural e Embrapa forneceram aos produtores elementos para o gerenciamento técnico da atividade. Além das capacitações, eles tiveram a oportunidade de participar de eventos, feiras agropecuárias e exposições e visitas à outras unidades de referência tecnológica com o intuito de instruí-los a respeito de práticas modernas relacionadas ao manejo produtivo capazes de serem replicadas nas propriedades participantes.

No que tange à “Qualificação e oferta de trabalho”, três propriedades não apresentaram alteração para esse componente. Em dois estabelecimentos o indicador foi positivo devido à contratação de trabalhadores com maior nível de qualificação em caráter temporário devido à intensificação das operações de plantio, bem como na pecuária.

Em relação aos aspectos relacionados à “Qualidade do emprego”, não houve qualquer alteração, pois, todas as propriedades avaliadas já cumpriam com as normas legais trabalhistas, bem como com os encargos sociais dos empregados.

No aspecto “Geração de renda do estabelecimento”, embora não tenha havido alteração para esse componente em uma propriedade, nas demais, as ações de transferência de tecnologias proporcionaram ganhos econômicos em virtude da produtividade e retorno dos investimentos. A eficiência tecnológica decorrente da inovação proporcionada pela recuperação de pastagens e manejo adequado, elevou os ganhos produtivos na comercialização do leite e de animais, garantindo uma renda efetiva ao produtor ao longo de todo o ano, inclusive nos períodos críticos, onde a carência de alimento de boa qualidade nutricional para o rebanho ocasionava perda de peso dos animais e significativa diminuição da produção de leite. Com as ações dos extensionistas e técnicos da Embrapa, preconizou-se o planejamento de uma estratégia alimentar para períodos de seca, o que permitiu aos produtores garantir a oferta de leite ao longo de todo o ano, contribuindo para a sustentabilidade produtiva e econômica da atividade.

Quanto à “Diversidade de fontes de renda”, não houve alterações para esse componente, pois em todas as propriedades a renda obtida advém, até então, exclusivamente da atividade agropecuária praticada, no caso a pecuária leiteira.

As benfeitorias realizadas nas propriedades em virtude da Recuperação de Pastagens, Sistema de Plantio Direto e Integração Lavoura-Pecuária elevaram o “Valor da Propriedade”. Os investimentos realizados para a implantação do sistema, tais como: recuperação e construção de cercas, reforma e recuperação de pastagens, implantação de sistemas de integração lavoura-pecuária, delimitação de áreas com piquetes e cercas elétricas para pastos, projetos de sistema de irrigação, construção ou reforma de currais elevaram o valor comercial das propriedades, tornando positivo o coeficiente para esse indicador.

No que tange à “Saúde ambiental e pessoal”, uma propriedade não apresentou alteração para esse item. Considerando os aspectos atribuídos ao indicador, as ações de transferência de tecnologia não tiveram qualquer relação quanto a focos de vetores de doenças endêmicas, geração de contaminantes do solo ou emissão de poluentes hídricos. Em relação à dificuldade de acesso a esporte e lazer, a dedicação para o cumprimento das tarefas propostas pelas ações de transferência permitiu aos proprietários um melhor gerenciamento do tempo, dando-lhes oportunidade inclusive, de exercer o lazer ou praticar esportes. Daí o pequeno efeito positivo observado em quatro estabelecimentos rurais.

Em relação à “Segurança e à Saúde Ocupacional”, dois estabelecimentos não apresentaram alteração para esse indicador. Nos demais, as ações de transferência de tecnologias acarretaram maior frequência do uso de máquinas agrícolas para preparo, cultivo e tratos culturais, elevando, portanto, os níveis de ruídos e vibração. Esses problemas também foram constatados com a maior exigência de uso de outros tipos de máquinas, tais como capineiras e processadoras de alimentos e suplementos para os animais. Além disso, em dois estabelecimentos, as aplicações de defensivos para controle de pragas, que até então não eram realizadas, contribuíram para que elas apresentassem os menores coeficientes para esse indicador.

No tocante “Segurança alimentar”, as ações de transferência de tecnologia não proporcionaram mudanças em quatro propriedades avaliadas, pois em todas elas o acesso e a quantidade de alimentos ofertados a empregados e familiares permaneceram inalterados. Um estabelecimento expressou coeficiente positivo, pois observou-se um moderado aumento na qualidade nutricional dos alimentos consumidos em virtude da elevação do lucro líquido da atividade.

Um outro aspecto avaliado trata da “Dedicação e perfil do responsável”. As capacitações realizadas tanto *in loco* quanto fora da propriedade subsidiaram o responsável com elementos e informações para melhor gerenciamento e diminuição de riscos em relação à atividade desenvolvida. Os conhecimentos transferidos dotaram o produtor com maior capacidade técnica e gerencial. Todos os entrevistados relataram que após a implantação das ações do projeto tiveram acesso

a ferramentas capazes de alavancar a produtividade e descobriram a importância de se produzir aproveitando as características inerentes de outras atividades, no caso a agricultura. Reflexo dos treinamentos propostos, a família também aderiu à atividade participando do gerenciamento das decisões e no acompanhamento das atividades. Em duas propriedades, as mulheres adquiriram um papel essencial, principalmente em relação ao controle orçamentário da atividade. Sobre isso, ressalta-se que após a implantação do projeto, os proprietários tornaram-se conscientes da importância das anotações contábeis para definição de estratégias e planejamento da atividade em função do calendário produtivo. Nenhuma atividade é realizada sem prévio planejamento. Ele é feito levando-se em consideração as demandas e a capacidade produtiva do estabelecimento resultante das discussões conjuntas entre produtores, extensionistas e equipe técnica da Embrapa. Dessas discussões elabora-se um documento que, após acordado entre as partes, é assinado por todos os participantes. O planejamento visa otimizar os recursos de cada propriedade, definindo por exemplo: a melhor estratégia de plantio, o calendário de compras de insumos agrícolas, a melhor época para coberturas, parições, descarte e comercialização dos animais, dentre outros. Em seguida, iniciam-se as visitas periódicas de extensionistas, que são responsáveis por relatar e discutir com a equipe técnica da Embrapa os desdobramentos das ações que, a depender do andamento, redefinem o planejamento proposto. Em todas as propriedades todos esses aspectos relacionados têm sido observados e contribuído para o efeito positivo do indicador.

A “Condição de comercialização” avalia aspectos relacionados às formas de comercialização e sua relação ao longo da cadeia produtiva, no caso em questão, a bovinocultura leiteira. Não houve alteração para esse indicador nas propriedades avaliadas, pois nenhuma delas realiza venda direta de leite, efetua processamento local, utiliza transporte próprio, possui marca ou propaganda ou tem cooperação com outros produtores locais.

Quanto à “Disposição de resíduos”, o reaproveitamento de resíduos da produção sob a forma de adubo e compostagem tornou o indicador positivo para uma propriedade. Nas demais, não houve qualquer alteração.

Em relação à “Gestão dos insumos químicos”, não houve alteração para esse indicador em uma propriedade, pois já se adotava os preceitos recomendados quanto à manipulação e uso de produtos químicos. Nas demais, embora os empregados já fizessem uso de equipamentos de proteção individual na aplicação dos produtos, as ações de transferência de tecnologia proporcionaram melhor compreensão quanto ao armazenamento, calibração e verificação de equipamentos, bem como da importância de se registrar os tratamentos utilizados a fim de se evitar danos ambientais. Todos esses aspectos contribuíram para os efeitos positivos observados nos estabelecimentos.

O último item da avaliação da dimensão socioambiental trata do “Relacionamento Institucional”. Nesse indicador são mensuradas se as ações de transferência de tecnologia favoreceram à utilização da assistência técnica, a integração do produtor em associações e cooperativas, a filiação a alguma tecnologia específica, a necessidade de assessoria legal ou vistorias. Dentre todos os indicadores avaliados, a utilização de assistência técnica proporcionou maior efeito, já que dentre as ações da Embrapa para o Plano ABC para o estado do Tocantins exige-se que a atuação nas propriedades seja coordenada em parceria com a equipe de extensão rural. Essa equipe, que é previamente capacitada por técnicos da Embrapa, determina a escolha da Unidade de Referência Tecnológica dentre as propriedades atendidas e se torna responsável por acompanhá-la periodicamente, tendo o aporte técnico da Embrapa. O grande envolvimento entre extensionistas, pesquisadores e produtores rurais repercutiu diretamente nos resultados. Além disso, em um dos estabelecimentos, as ações de transferência de tecnologia também permitiram ao adotante instituir contato com entidades voltadas ao associativismo/cooperativismo.

Apesar de os índices de impacto ambiental e social encontrados não serem relativamente altos, ainda assim, os resultados demonstram que as ações de transferência de tecnologia voltadas para agricultura de baixo carbono têm contribuído positivamente para a sustentabilidade da atividade produtiva e podem ser recomendadas para outros produtores da mesma atividade.

As mudanças ambientais não são tão dinâmicas quanto as mudanças socioeconômicas. A depender do fator, uma mudança ecológica necessita de um ciclo longo de duração para reestabelecer seu ecossistema original. Diante disso, a avaliação de impactos torna-se um processo importante temporal para identificar as mudanças ocorridas neste aspecto. O período médio de acompanhamento nas propriedades, quando se deu a avaliação de impactos, era de aproximadamente 02 anos, um tempo relativamente curto do ponto de vista do potencial de transformações que as tecnologias podem alcançar. As ações do Plano ABC no Tocantins estão em fase inicial e aquelas relacionadas à preservação ambiental estão em fase de execução, logo alguns indicadores não apresentarão resultados tão expressivos para essa etapa. Certamente futuras avaliações poderão trazer resultados mais condizentes com as mudanças promovidas para esse critério.

4 - Considerações finais

As ações de transferência de tecnologia do Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono na área, ainda têm muito a contribuir no estado do Tocantins, principalmente por seu refinamento no componente produtivo e a possibilidade de expressar fatores ecológicos positivos, imperiosos para uma produção agrícola sustentável.

Referências

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2011. Brasília: ABRAF. 2012.

AVILA, A. F. D.; RODRIGUES, G. S.; VEDOVOTO, G. L. **Avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa**: metodologia de referência. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2008. 189p.

BELCHIOR, E. B. B.; FLORES, R. M. V.; ALCÂNTARA, P. H. R.; SANTOS, D.; BARBOSA, C. F.; BELCHIOR, L. S. **Avaliação dos impactos ambientais e sociais das tecnologias de mitigação do Plano ABC em propriedades rurais no Estado do Tocantins**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura. 2017. 36p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 15).

BENOR, D.; HARRISON, J. Q. **Agricultural extension**: the training and visit system. Washington: World Bank, 1977. Disponível em: http://www.pssurvival.com/PS/Farming/Training_and_Visit_Extension_Agricultural_Farming_1984.pdf. Acesso em: 24 set. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Programa ABC**: agricultura de baixo carbono. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/programa-abc>. Acesso em: 01 dez. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Assessoria de Gestão Estratégica. **Projeções do agronegócio**: Brasil 2009/2010 a 2019/2020. Brasília, 2010, 76 p.

DIÁRIO OFICIAL DO TOCANTINS. Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/220486/>. Acesso em: 21 dez. 2018.

DOMIT, L. A. Adaptação do treino e visita para o Brasil. In: DOMIT, L. A. et al. (org.). **Manual de implantação de treino e visita (T&V)**. Londrina: Embrapa Soja, p.27-32, 2007.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QL/E>. Acesso em: 21 set. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo agropecuário**: Brasil, grandes Regiões e Unidades da Federação. Rio de Janeiro, 2006. 777p.

MIRANDA, M.; PASSINI, J. J.; MIRANDA, G. M.; RIBEIRO, M. F. S.; SOARES JÚNIOR, D. A busca de referências técnicas e econômicas para o desenvolvimento da agricultura familiar no estado do Paraná através de uma rede de propriedades. In: IV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO, 2001, Belém. **Anais...** Belém: Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção, 2001.

MIRANDA, M.; DOLIVEIRA, D. D. Redes de referências: um dispositivo de pesquisa & desenvolvimento para apoiar a promoção da agricultura familiar paraense.

In: MIRANDA, M.; DOLIVEIRA, D. D. **Redes de referências**: um dispositivo de pesquisa & desenvolvimento para apoiar a promoção da agricultura familiar.

Campinas: Conselho Nacional dos Sistemas Estaduais de Pesquisa Agropecuária (CONSEPA). 2005. 44 p.

SHEWHART, W. A.; DEMING, W. E. **Statistical method from the viewpoint of qualit**. Whashington: The Graduate School, The Department of Agriculture. 1939. 155 p.

USDA. **USDA Foreign Agriculture Service**. 2015. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline>>. Acesso em: 17 set. 2018.

Sistema de Produção de Dois Andares

Sebastián Giraldo Montoya¹; Sérgio Yoshimitsu Motoike²; Carlos Eduardo Magalhães dos Santos³; Manuela Maria Cavalcante Granja⁴

¹Professor Adjunto A nível I de Fruticultura de Clima Temperado da Universidade Federal de Viçosa - UFV; ²Professor Titular da Universidade Federal de Viçosa - UFV; ³Professor Adjunto na Universidade Federal de Viçosa - UFV; ⁴Bióloga, Doutora em Genética e Melhoramento e Pesquisadora na área de Biotecnologia

1 - Introdução

A demanda por alimentos e por energia tem aumentado significativamente nas últimas décadas exigindo melhor aproveitamento das áreas exploradas e maior eficiência no consumo de combustíveis. Novas tecnologias levaram a intensificação da produção agrícola permitindo suprir a crescente demanda por alimentos. Esse novo cenário agrícola tem contribuído para o aumento da perturbação do ambiente, diagnosticado pelos níveis crescentes de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera terrestre. Os principais gases que ocasionam o efeito estufa são o metano (CH₄), o dióxido de carbono (CO₂) e o óxido nitroso (N₂O). Dentre as principais fontes de emissão de GEEs são apontadas, a queima de combustíveis fósseis, a atividade industrial e as mudanças no uso da terra (*land use change*) (APPS *et al.*, 1999; BAUMERT, 2005). Além dos resíduos gasosos provenientes das indústrias, o metano também pode ser produzido pela fermentação anaeróbica da matéria orgânica, de campos de arroz inundados, de tratamento anaeróbico de resíduos animais, da queima de biomassa e de fermentação entérica (MACHADO *et al.*, 2011).

Segundo a FAO (2016) o Brasil ocupou a terceira posição na exportação agrícola, abaixo dos Estados Unidos e Europa, representando 5,7% do mercado global. Além do destaque no cenário agrícola, o Brasil é detentor do maior rebanho do mundo com, aproximadamente, 213,5 milhões de cabeças de gado (IBGE, 2018), sendo responsável pelas maiores exportações de carne, o que representa 14,4% da produção mundial. No âmbito nacional, a projeção de produção de carne de frango, bovina e suína, para o final da próxima década é de 34,2 milhões de toneladas, representando aumento de produção de 26,8% (OECD-FAO, 2015). A bovinocultura proporciona o desenvolvimento de dois segmentos de grande lucratividade: cadeia de produção de carne e de leite, sendo responsáveis por R\$ 67 bilhões, o que reflete a importância econômica e social dessa atividade no Brasil (MAPA, 2014).

O rebanho brasileiro é responsável pela emissão de aproximadamente 12.307 Gg litros de gás metano/ano pela bovinocultura, sendo destes 1.228 Gg litros produzidos por bovinos de corte e 11.079 Gg litros por bovinos de leite, no ano de 2017. Nos últimos anos, vários países têm questionado a expansão das áreas para a produção de carne, pelo fato que muitas dessas pastagens foram abertas em áreas de florestas nativas, a exemplo na Amazônia, com cerca 25,3 milhões de hectares ocupados por pastos entre 1990 e 2006 (BARRETO; PEREIRA; ARIMA, 2008).

Indústrias ligadas à produção de carne e de leite têm sido fortemente criticadas por especialistas, por serem agentes emissores de GEEs, principalmente o gás metano. Não só a produção de carne e leite contribuem para a emissão desses gases, sendo algumas práticas agrícolas responsáveis pelas mudanças climáticas e pelo inadequado uso da terra. A condução inadequada de pastagens em monocultivo é uma das práticas agrícolas potencialmente nocivas ao ambiente, nas quais, áreas de solos de baixa fertilidade são exauridos por um único tipo de cultura, acelerando a sua degradação (BODDEY *et al.*, 2004). Atualmente, o Brasil apresenta 162,5 milhões/ha com pastagens e estimam-se 13,9 milhões/ha de áreas degradadas ou em vias de degradação no território nacional (NOGUEIRA, 2019).

Outro aspecto relevante é a procura por fontes de energia mais limpa. A crescente demanda pela exploração de espécies vegetais energéticas para a produção de biocombustíveis pode ocasionar expansão de áreas para o seu cultivo (FARGIONE *et al.*, 2010) forçando: i) a substituição e deslocamento de culturas não-energéticas (incluído pastagens) para áreas de floresta, ou ii) a intensificação da atividade agrícola em uma mesma área de cultivo. Estas mudanças de uso da terra para a produção de biocombustíveis, sejam elas diretas ou indiretas, invariavelmente acarretarão em um aumento dos impactos ambientais, ao invés de sua mitigação (FRITSCH; WIEGMANN, 2011).

O protocolo de Quioto em 1997 estabeleceu novas metas e prazos que mudaram o cenário mundial da produção agrícola, especificamente em relação à emissão de GEEs (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2008). Essas mudanças, na visão política mundial, têm levado setores da agricultura e da pecuária a analisar sistemas de produção mais eficientes e sustentáveis (SOUZA *et al.*, 2007). A adoção de sistemas agroflorestais (SAFs), em especial os sistemas silvipastoris (SSPs), apresentam-se como uma solução viável, uma vez que podem atuar no sequestro do CO₂ atmosférico e na mitigação das mudanças climáticas (ALBRECHT; KANDJI, 2003).

A agropecuária contribuiu com 21,6% do PIB nacional entre os anos de 2017-2018, sendo a pecuária representada por 6,6% desse total e 31% do PIB do agronegócio (CEPEA, 2018). Em Tocantins em 2017 foi observado um incremento de 13,5% no setor agropecuário (SEFAZ, 2019) e emissão líquida aproximada de

1,98 milhões de toneladas de carbono/ano na criação de bovinos. O Estado faz parte do *Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura - Plano ABC* (SEAGRO, 2019), propondo a recuperação de 1,2 milhões de hectares de pastagens degradadas. A adoção de SSPs em Tocantins é uma alternativa viável para recuperação dessas áreas, uma vez que o estado apresenta espécies arbóreas potencialmente favoráveis e extensas áreas de pastagens.

Nesse contexto, serão abordadas novas estratégias de exploração agrícola, com ênfase para o Cerrado tocantinense, que mitiguem o impacto ambiental na produção de alimentos e, que ao mesmo tempo, possam contribuir com a recuperação de áreas degradadas, como a adoção de sistemas consorciados de integração lavoura-pecuária.

2 - Sistema de produção de dois andares

Os sistemas agroflorestais, comumente conhecidos como SAFs são um tipo de exploração agrícola, onde se combinam intencionalmente espécies arbóreas, frutíferas ou madeireiras, com culturas de importância econômica ou pecuária dentro de uma mesma área. Nos SAFs é explorado tanto o potencial dos componentes vegetais quanto dos animais, constituindo a produção em dois andares. Essa exploração pode ser realizada de forma simultânea ou temporal tendo como principal objetivo aumentar a eficiência no uso da terra. Desse modo, a crescente demanda por alimentos, a expansão do setor agropecuário e as mudanças climáticas podem ser atenuados com a adoção de sistemas agrícolas mais eficientes, como os SAFs (SCHEMBERGUE *et al.*, 2017).

A característica marcante dos sistemas agroflorestais é a utilização de espécies exclusivamente arbóreas. Outros sistemas empregam, simultaneamente, espécies arbóreas e espécies forrageiras, sendo denominados sistemas silvipastoris (SSPs). Os SSPs são sistemas multifuncionais que promovem benefícios econômicos e ambientais para os produtores e para a sociedade, possibilitando a produção integrada dos recursos naturais, reduzindo a degradação e recuperando a capacidade produtiva das áreas (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2004). O sequestro de carbono observado nos SSPs tem apresentado taxas animadoras, uma vez que o consórcio de diferentes espécies vegetais garante a remoção de CO₂ atmosférico mais eficiente, em razão dos padrões fisiológicos diferenciados das espécies envolvidas (TSUKAMOTO FILHO, 2003; SHARROW; ISMAIL, 2004)

No Brasil, os SSPs geralmente utilizam espécies florestais madeireiras, em especial o eucalipto (OLIVEIRA, 2005). Porém outras espécies arbóreas podem ser empregadas dependendo da compatibilidade entre os componentes vegetais do sistema (PACIULLO, 2008). O manejo dos SSPs com forrageiras para a criação

de animais, torna-se complexo por envolver espécies fisiologicamente distintas, ocasionando a competição entre elas, como também a seletividade do animal sobre as plantas (MUIR *et al.*, 2011). A competição por recursos entre os componentes arbóreo e forrageiro influenciam diretamente no sucesso dos SSPs. Uma das estratégias para viabilizar esses sistemas dependerá do arranjo espacial, o qual poderá ocasionar alterações microclimáticas, afetando diretamente a luminosidade, temperatura, água e umidade relativa do ar, que podem interferir na produtividade do sistema (SOARES *et al.*, 2009).

Um dos principais fatores limitantes na adoção dos SSPs é a luminosidade. A redução da luminosidade imposto pelo estrato arbóreo é um fator limitante para o ótimo desenvolvimento das plantas do sub-bosque, pois o processo fotossintético é altamente dependente da qualidade e quantidade de luz incidente. Este fato é ainda mais marcante para espécies de metabolismo C_4 , como as gramíneas tropicais, uma vez que estas demandam mais energia radiante e temperaturas elevadas para a eficácia do processo (BERNARDINO; GARCIA, 2009). A escolha dos componentes do SSP é complexa e vai depender do tipo de solo, nível tecnológico utilizado, produtividade potencial esperada e da região.

O Brasil é dividido em cinco macrorregiões de acordo com a articulação econômica e estrutura urbana: Região Norte, Região Nordeste, Região Sudeste, Região Sul e Região Centro-Oeste. Por ter uma vasta área geográfica, o país compreende seis biomas, sendo eles: Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal e Cerrado. Cada um desses ambientes abriga diferentes tipos de vegetação e de fauna. No Cerrado o clima varia de quente e úmido no verão a frio e seco no inverno. A temperatura média é de 25°C, mas apresenta elevada amplitude térmica, com máxima de 40°C e mínima próxima de zero. O índice pluviométrico oscila de 1200 a 1800 mm por ano.

O Cerrado ocupa uma área de 2 milhões de km², representando aproximadamente 22% do território nacional, considerado o segundo maior bioma da América do Sul. A região do cerrado estende-se pelos estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, Rondônia, São Paulo, Tocantins e Distrito Federal, além de algumas áreas no Amapá, Amazonas e Roraima (MMA). Estima-se que no ecossistema do Cerrado podem ser exploradas 60 milhões/ha para culturas de sequeiro; 10 milhões/ha para culturas irrigadas; 66 milhões/ha para preservação ambiental; 6 milhões/ha para culturas perenes e 60 milhões/ha para pastagens cultivadas (MACEDO; ZIMMER, 2007).

2.1 Componente forrageiro

No Brasil, as espécies forrageiras mais utilizadas em sistemas SSPs são as gramíneas do gênero *Brachiaria*, com aproximadamente 56% das espécies forrageiras cultivadas, sendo as espécies *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf e

Brachiaria decumbens Stapf., as mais utilizadas para a formação de pastagens no Cerrado (Tabela 1).

Tabela 1 - Distribuição relativa estimada dos principais gêneros e espécies de gramíneas forrageiras cultivadas na região do Cerrado do Brasil.

Gênero ou Espécie	Área (10 ³ ha)	Distribuição relativa (%)
<i>Brachiaria spp.</i>	42,5	85
<i>B. decumbens</i> cv. Basilisk	27,5	55
<i>B. brizantha</i> cv. Marandu	10,5	21
<i>B. humidicola</i> cv. comum	4,0	8
<i>B. ruziziensis</i> cv. comum, <i>B. dictyoneura</i> cv. comum	0,5	1
<i>Panicum maximum</i>	5,5	11
<i>P. maximum</i> cv. Colonial comum	3,5	7
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia, Tobiâtã, Mombaça etc.	2,0	4
Outros gêneros	2,0	4
<i>Andropogon, Hyparrheria, Melinis, Cynodon</i>		

As plantas do gênero *Brachiaria* são adaptadas às condições edafoclimáticas do país e permitem acréscimos expressivos na taxa de lotação animal e no ganho de peso individual, em comparação com espécies nativas ou introduzidas sendo também caracterizadas como tolerante ao sombreamento (MACEDO, 2002; PACIULLO, 2007). As espécies pertencentes a esse gênero têm uma posição de destaque no setor agropecuário brasileiro por tornarem possível a produção de carne e leite em solos de baixa fertilidade. O cultivo de braquiária estende-se em todas as regiões do país, destacando-se no Brasil Central, devido a suas grandes extensões de áreas.

O estado de Goiás possui a maior área de pastagens cultivadas com 12,9 milhões de hectares, seguido de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, com 11,8 e 10,9 milhões de hectares, respectivamente (SANO *et al.*, 2008). O estado de Tocantins ocupa a quinta posição em relação às áreas de pastagens cultivadas, com cerca de 7,5 milhões de hectares, estando 66% dessas áreas em vias de degradação (SEAGRO, 2015). A concentração de pastagens no bioma Cerrado deve-se às melhores condições climáticas, topográficas e de infraestrutura para a cadeia produtiva da pecuária na região.

Segundo mapeamentos realizados entre os anos de 2002 e 2014 pelo **Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira**, o incremento das áreas de pastagens no território nacional foi de 14,5 milhões de hectares, evoluindo de 151,5 para 166 milhões de hectares, tendo o Estado do Tocantins expansão de 2,7 milhões de hectares (Figura 1).

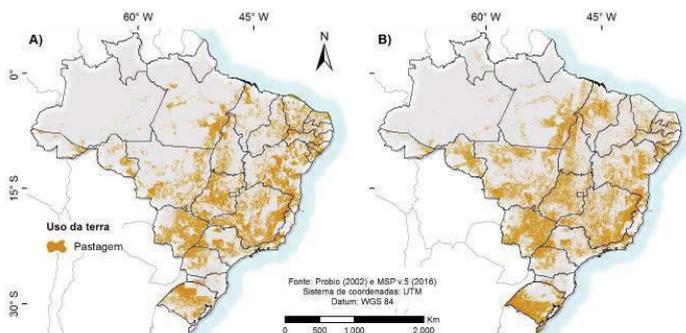


Figura 1 - Distribuição espacial da área de pastagem entre os anos de 2002 e 2014 pelo mapeamento do projeto PROBIO (A) e máscara síntese (B). Fonte: Araújo *et al.* (2017)

De acordo com Kichel *et al.* (1999), a escolha da melhor espécie forrageira deve ser precedida de um diagnóstico, levando em consideração o histórico da área. Analisando-se a região do Cerrado central, a qual concentra a maior parte do rebanho bovino nacional, as espécies mais indicadas são representadas na Tabela 2, de acordo com as condições edafoclimáticas.

Tabela 2 - Espécies de gramíneas forrageiras recomendadas para a região dos cerrados considerando-se algumas condições edafoclimáticas

Características gerais	Espécies sugeridas
Solos úmidos (mal drenados) e/ou temporariamente úmidos, com baixa fertilidade ou solos de baixa fertilidade com alto grau de erodibilidade.	<i>Brachiaria humidicola</i>
	<i>Brachiaria dictyonera</i>
Solos de baixa fertilidade e/ou rasos (com cascalho).	<i>Andropogon gayanus</i>
	<i>Brachiaria decumbens</i>
Solos de baixa à média fertilidade, bem drenados, em regiões de baixa incidência de cigarrinhas.	<i>Andropogon gayanus</i>
	<i>Brachiaria brizantha</i>
Solos de média a alta fertilidade, bem drenados, em regiões com ou sem cigarrinhas.	<i>Brachiaria brizantha</i>

Solos de média à alta fertilidade, profundos, bem drenados.	  
Solos úmidos (mal drenados), profundos, de média a alta fertilidade.	<p><i>Setaria spp.</i> <i>Paspalum spp.</i> <i>Brachiaria mutica</i></p>

Fonte: Adaptado de Kichel *et al.* (1999)

As espécies forrageiras *B. decumbens* e *B. brizantha* têm sido as mais estudadas e difundidas no bioma Cerrado:

- *Brachiaria decumbens*

Gramínea de larga utilização no Brasil, pois apresenta elevada resistente à seca e é adaptada a regiões tropicais úmidas como a Amazônia Legal. Desenvolve-se bem em diversos tipos de solos como arenosos e argilosos, podendo ser cultivada também em solos com baixa ou média fertilidade. Porém, responde melhor quando em solos adubados (SILVA; FERRARI, 2012).

No Cerrado brasileiro, em regiões como Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Tocantins foi constatada a presença *B. decumbens* em solos com baixa disponibilidade de nutrientes, baixo pH (<5,5) e áreas com sombreamento moderado. Por esses motivos *B. decumbens* tornando-se a gramínea mais utilizada nos sistemas consorciados.

- *Brachiaria brizantha*

Uma das gramíneas mais utilizadas ao longo do país. As principais características são: resistência à cigarrinha-das pastagens, elevado potencial responsivo à aplicação de fertilizantes, capacidade de cobertura do solo, capacidade de crescimento em condições de sombreamento moderado, bom valor nutritivo e excelente produção de sementes (VALLE *et al.*, 2000).

As diferenças entre essas espécies podem determinar o uso das mesmas nos SSPs. Mesmo sendo essas forrageiras consideradas tolerantes ao sombreamento moderado, *B. decumbens* apresenta características de rusticidade que lhe conferem vantagens em relação a *B. brizantha*.

Além das gramíneas citadas anteriormente, culturas agrícolas de importância econômica também são exploradas no Tocantins. A atividade agrária no estado é bem desenvolvida, onde 50% das terras são destinadas ao cultivo de alimentos e realizadas, muitas vezes, pela agricultura familiar (SEAGRO, 2019). As principais culturas agrícolas usadas nesse sistema são o milho, o feijão-caupi e a mandioca, sendo na maioria das vezes exploradas em sistemas consorciados (SILVA, 2011). No território tocantinense, o número de agricultores familiares corresponde, aproximadamente, a 42 mil famílias, as quais geram cerca de 120 mil postos de ocupação, contribuindo com 40% do valor bruto da produção agropecuária (IBGE, MDA; SEAGRO). Serão apresentadas abaixo, algumas culturas de importância econômica para o estado e fortemente exploradas em sistemas consorciados.

- Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)

A mandioca é considerada uma cultura tolerante a solos pobres e condições climáticas adversas, sendo apreciada como cultura de subsistência preferida pelos pequenos produtores. *M. esculenta* é uma planta perene, porém suas raízes podem ser colhidas de 6 a 24 meses, dependendo da variedade e das condições de cultivo. Nas regiões tropicais úmidas as raízes podem ser colhidas entre 6 a 7 meses após o plantio, já em regiões mais frias e/ou secas a colheita é realizada entre os 18 e 24 meses. Outra característica importante da mandioca é o período de colheita. As raízes podem permanecer longos períodos de tempo em campo, tornando a mandioca uma cultura de segurança alimentar. A mandioca pode ser propagada facilmente via vegetativa, via estaquia ou manivas (pedaços do caule) ou via sexual (por semente). Porém essa técnica é mais utilizada em programas de melhoramento genético. A exploração da mandioca em sistema consorciado tem sido observada no Estado do Tocantins (Figura 2A) e é predominante familiar. O material para plantio (manivas) é retirado na própria propriedade e é utilizado de imediato, sem ser selecionado e/ou tratado com inseticida ou fungicidas. Em geral 85% da produção é comercializado e 15% destina-se ao consumo familiar. Em 2018 no Estado do Tocantins foram colhidos 14.774 hectares, representando um rendimento médio de 16.159 kg/ha em 2018 (IBGE, 2018).

- Abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill)

O abacaxizeiro é uma planta perene da família Bromeliaceae, originária do Cone Sul das Américas. Apesar de boa resistência à seca, produz melhor na faixa de 1.000 a 1.500mm de chuva por ano, tolerando de 600 até 2.500 mm; é, entretanto, muito sensível ao frio, não tolerando geadas. A temperatura ótima varia de 29°C a 31°C, porém suporta temperatura mínima de 5°C e máxima de 43°C. É uma planta de clima tropical e subtropical. O excesso de sol e granizo provocam danos severos

nas plantas e nos frutos, podendo ocasionar prejuízos econômicos. A cultura pode ser instalada em qualquer tipo de solo, desde que não sujeito ao encharcamento, preferindo, entretanto, solos leves e pH entre 5,5 e 6,0. O abacaxizeiro pode ser cultivado entre as linhas de culturas perenes em desenvolvimento ou em rotação com adubos verdes (Boletim IAC, 1998). O abacaxi é a principal fruta produzida no Estado do Tocantins, representando 3.854 hectares de área colhida e rendimento médio de 17.963 frutos/ha em 2018 (IBGE, 2018).

O abacaxizeiro é uma cultura de boa adaptabilidade em sistemas consorciados (Figura 2B). Com a seringueira, tem mostrado resultados satisfatórios, principalmente pelo fato de ser uma cultura de ciclo curto e por tolerar solos arenosos, como a maioria dos solos tocantinenses (FILHO; SILVA, 2012).

- Feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.)

Apresenta-se como uma das principais culturas utilizadas em sistemas integrados (Figura 2C), tais como: Sistemas agroflorestais (SAF), Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), Integração lavoura-pecuária (ILP), por sua elevada importância socioeconômica e ambiental, principalmente para a agricultura de subsistência (ABDO *et al.*, 2008). A maioria dos produtores de feijão-caupi é composta de pequenos agricultores, em sistema de parceria e em nível de subsistência (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2007). Os baixos níveis de insumos requeridos nos sistemas integrados, os tornam modelos de exploração agrícola acessíveis aos pequenos agricultores, apresentando-se como alternativa de produção de baixo custo, quando associados com culturas anuais e espécies florestais. A disponibilidade de nitrogênio na fase inicial de crescimento é um incremento proporcionado no solo pela cultura, a qual favorece o estabelecimento de outras espécies (FLORENTINO *et al.*, 2007; VIEIRA, 2014).

- Milho (*Zea mays* L.)

O milho é amplamente cultivado e consumido no Tocantins. A sua produção é realizada em monocultivo ou em variados tipos de consórcios (Figura 2D) que prevalecem no Estado, sendo um dos mais comuns é o de fileiras alternadas com feijão.

A adoção de fileiras alternadas é uma prática bastante realizada por pequenos agricultores que buscam agregar o aproveitamento de terra e o aumento da produção. A adoção de árvores também é utilizada com milho, sendo possível a inserção em sistemas agroflorestais.

O milho remove grandes quantidades de N e, geralmente, requer adubação nitrogenada para complementar a quantidade suprida pelo solo (COELHO *et al.*, 2002).

Porém, nos países em desenvolvimento, a utilização de adubação nitrogenada por pequenos produtores é limitante, devido ao seu alto custo (RIBASKI *et al.*, 2001).

Em trabalhos agroflorestais realizados por Universidades Federais, como a Universidade Federal do Tocantins - UFT, a preocupação em avaliar espécies de cereais em consórcio é constante. Um experimento realizado no sul do estado de Tocantins envolvendo espécies arbóreas e milho avaliou o rendimento de espigas em monocultivo e em sistema agroflorestal. Foram observadas melhorias nas características agrônômicas do milho, quando cultivado em sistema consorciado em áreas rotacionadas com leguminosas (SILVA, 2011).



Figura 2 - Sistemas Agroflorestais no Cerrado brasileiro. (A) SAF com bananeira e mandioca em Palmas/TO; (B) SAF com cedro australiano e abacaxi em Campo Grande/MS; (C) Consórcio de mogno africano e feijão caupi em Santa Carmem/MT e (D) Desenvolvimento do milho, braquiária, eucalipto no sistema ILPF em Cachoeira Dourada, Goiás

Além da escolha do componente forrageiro ou da cultura agrícola a ser explorada nas entrelinhas de SSPs, a seleção do componente arbóreo é determinante.

2.2 Componente arbóreo

Na adoção de qualquer tipo de sistema consorciado, a espécie e o arranjo espacial do componente arbóreo são de suma importância para o sucesso do empreendimento. Os fatores econômico e social também devem ser levados em consideração, já que irão beneficiar os produtores e contribuir com o desenvolvimento da região.

Nos sistemas agroflorestais (SAFs) e silvipastoris (SSPs) podem ser utilizadas diversas espécies como componente arbóreo. A escolha dependerá da adaptabilidade da espécie e de sua compatibilidade com a atividade econômica na

região. Dentre as espécies mais exploradas e com elevado potencial para a adoção de SAFs e SSPs serão descritas a seguir:

- Eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden)

A cultura do eucalipto é a cultura madeireira mais explorada no Brasil, sendo recorrente em propriedades de médio e grande porte. Uma das principais vantagens dessa cultura é o rápido crescimento e grande demanda por diversas indústrias, o que facilita a sua comercialização.

O eucalipto está fortemente estabelecido no Tocantins e ocupa grandes áreas do Estado. Dos 83 mil hectares de floresta plantada, 90% estavam ocupados com eucalipto (SEAGRO, 2012), sendo considerada importante fonte de renda e de matéria prima para diversas indústrias da região. Outra atividade econômica importante no Estado é a pecuária, que também ocupa grandes extensões de terra e junto com a cultura do eucalipto exigem um elevado capital inicial. Uma das estratégias para diminuir o risco do investimento a curto e longo prazo é a integralização das atividades, agrícola e pecuária, dentro dos sistemas consorciados (Figura 3 A e B).

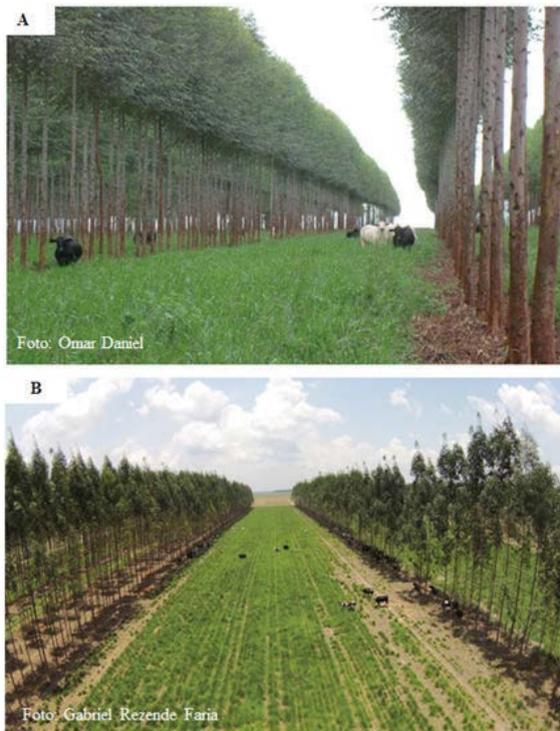


Figura 3 - Sistema Silvopastoril (SSP) de eucalipto e *Brachiaria decumbens* (A) Sistema Silvopastoril de eucalipto e *Brachiaria* em Dourados/MS; (B) Sistema integração lavoura, pecuária e floresta (ILPF) com gado leiteiro em Sinop/MT.

Em geral, as espécies florestais de crescimento rápido apresentam alta capacidade de remover CO₂ da atmosfera. De fato, o estoque médio de carbono em plantações de eucalipto, com seis anos de idade, aproxima-se a 71 tC/ha (PAIXÃO, 2006).

A competição por luz e por água são algumas das dificuldades dos SSPs com eucalipto. A espécie necessita em média de precipitação anual entre 720 a 1.800 mm, distribuída de forma uniforme durante o seu ciclo de desenvolvimento (SOUZA *et al.*, 2014).

- Teca (*Tectona grandis* L.f.)

Espécie arbórea de rápido crescimento da família Lamiaceae, é originária do sul e sudeste asiático (MIDGLEY *et al.*, 2015). É uma das espécies arbóreas mais plantadas do mundo, ocupando 75% dos plantios florestais tropicais para madeira de alta qualidade (PILLAI *et al.*, 2014). Pode alcançar 40 metros de altura e 200 cm de diâmetro (KHANDURI *et al.*, 2008).

Na região sudoeste do Mato Grosso, a espécie é cultivada com resultado satisfatório, obtendo-se redução do ciclo para 25 a 30 anos, com obtenção de madeira para serraria de ótima qualidade (MOYA; BERROCAL, 2010).

Em condições tropicais apresenta melhor desempenho, com precipitação média anual de 1.300 a 2.500 mm, com período de três a cinco meses de seca, uma vez que esse período é fundamental para produção de madeira de alta qualidade. A temperatura mínima varia de 13°C a 17°C e máxima de 39°C a 43°C (KHANDURI *et al.*, 2008). Em SSPs a teca é em uma alternativa viável de produção, devido ao crescimento rápido e de seu elevado valor de mercado (Figura 4).



Figura 4 - Sistema Silvopastoril (SSP) de Teca e *Brachiaria sp* em Araputanga/MT

- Seringueira (*Hevea brasiliensis* L.)

A seringueira é uma planta da família Euphorbiaceae, pertencente ao gênero *Hevea*, tendo como ocorrência natural a Amazônia brasileira e países vizinhos. A heveicultura é uma excelente alternativa de renda para produtores rurais, sendo atualmente umas das culturas mais rentáveis no estado do Tocantins (FILHO; SILVA, 2012). A seringueira permite o consórcio com outras culturas, principalmente as semiperenes, o que é uma das maiores vantagens de se plantar essa espécie, além de seu amplo período de exploração econômica.

A heveicultura consorciada com outra cultura agrícola, nos primeiros dois anos de implantação do seringal surge como alternativa para o desenvolvimento sustentável, proporcionando uma produção diversificada, aumento da renda e ao mesmo tempo a geração de emprego (Figura 5).



Figura 5 - Experimento de implementação de consórcio de Seringueira com feijão-caupi no Amazonas realizado pela Embrapa Amazônia Ocidental (AM).

O sistema consorciado com seringueira além do benefício econômico, também favorece a proteção e manutenção da umidade do solo. Para sistemas consorciados com milho, feijão, abacaxi, ou outras espécies agrícolas, escolhem-se clones de seringueira que apresentam arquitetura de copa menos compacta e ramificações laterais de inserção aguda para evitar o sombreamento excessivo no sub-bosque (FILHO; SILVA, 2012).

- Macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Mart.)

Dentro da família Arecaceae algumas palmeiras têm sido objeto de estudo para validar os sistemas silvipastoris (SSPs). Pesquisas recentes demonstram a viabilidade econômica, social e ecológica da macaúba. Essa espécie é uma palmeira arbórea, Neotropical de frutos oleaginosos e de alta produtividade. Estas características a tornam uma fonte alternativa de óleo para as indústrias óleo-química,

alimentícia, e de produção de biocombustível (MOURA, 2010; PIRES *et al.*, 2013). Sua presença natural é comum tanto em ecossistemas naturais como em áreas degradadas, o que revela uma elevada capacidade de aclimação da espécie, em relação às adversidades edafoclimáticas (Figura 6). Portanto, a macaúba pode ser uma opção para a recuperação de áreas degradadas ou como componente arbóreo nos SSPs (MOTOIKE; KUKI, 2009)



Figura 6 - Ocorrência natural de macaúba (*Acrocomia aculeata*) e *Brachiaria decumbens* no Estado Minas Gerais. (A e B) Populações naturais de macaúba; (C e D) Presença da macaúba em solos pobres e com sinais avançados de degradação.

A utilização de macaúba em SSPs tem forte apelo econômico e ambiental, pois promove o cultivo de espécie nativa e fonte alternativa na produção de óleo, para as indústrias óleo-química, alimentícia, e de produção de biocombustível (MOURA, 2010; PIRES *et al.*, 2013). Levando essas informações em consideração fica evidente o potencial da macaúba nos SSPs com Braquiaria, favorecendo a produção de óleo vegetal e ao mesmo tempo contribuindo na recuperação de pastagens degradadas. Essa estratégia agrícola, minimiza a necessidade de novas áreas de cultivo e mitiga os impactos da mudança do uso da terra.

A densidade de plantio da macaúba é um fator determinante nos SSPs influenciando nos fatores microclimáticos do sub-bosque. Frente a esse entrave foi desenvolvido um estudo pioneiro na Universidade Federal de Viçosa (UFV), a fim de validar o SSP de macaúba e braquiária, através da análise de parâmetros físicos, bioquímicos e fisiológicos da forrageira, nas condições impostas pelo dossel das palmeiras.

O efeito do sombreamento ocasionado pelas plantas de macaúba pode ocasionar alterações morfológicas e/ou fisiológicas em *B. decumbens*, que podem beneficiar as taxas fotossintéticas em níveis satisfatórios, garantindo a sua sobrevivência e crescimento, mesmo em condições de baixa luminosidade (NETO *et al.*, 2010; DIAS FILHO, 2002; SOARES *et al.*, 2009).

Estudos realizados pela UFV constataram a influência do dossel de plantas de macaúba na passagem de luz solar no sub-bosque. Em sistema silvipastoril, macaúba com *B. decumbens*, as folhas de macaúba ocasionaram um sombreamento moderado (Figuras 7A e 7B) alterando o perfilhamento e as taxas fotossintéticas da forrageira. Os resultados desses estudos verificaram a tolerância de *B. decumbens* ao sombreamento e a aclimação da mesma ao ambiente luminoso do sub-bosque. Em condições de sombreamento intenso, ocasionou redução acentuada do número de perfilhos e da taxa fotossintética (Figuras 7C, 7D e 7E).



Figura 7 - Redução de luminosidade no sub-bosque em Sistema Silvipastoril (SSP) de *Acrocomia aculeata* e *Brachiaria decumbens* na Unidade Experimental de Pesquisa e Extensão (UEPE) da Universidade Federal de Viçosa no município de Araponga – MG: (A) SSP de *A. aculeata* e *B. decumbens* em espaçamento 7m x 4m; (B) SSP *A. aculeata* e *B. decumbens* em espaçamento 4,5m x 4,5m. Perfilhamento de *Brachiaria decumbens* cultivada em vaso de 20L em diferentes condições de sombreamento: (C) *B. decumbens* a pleno sol; (D) *B. decumbens* sob 50% de sombreamento; (E) *B. decumbens* sob 80% de sombreamento.

No SSP macaúba – *B. decumbens* a densidade de plantas, a herbivoria e a época do ano interferem no desenvolvimento da braquiária, em especial, as condições microclimáticas do sub-bosque como a disponibilidade de luz, temperatura e umidade relativa do ar. Em espaçamentos de 313 plantas/ha a 357 plantas/ha, a forrageira mantém a qualidade nutricional, taxas de crescimento e o rendimento fotossintético em níveis similares às plantas cultivadas a pleno sol (Figuras 8A e 8B). Validando assim, a inserção da macaúba em SSPs para a criação de bovinos.

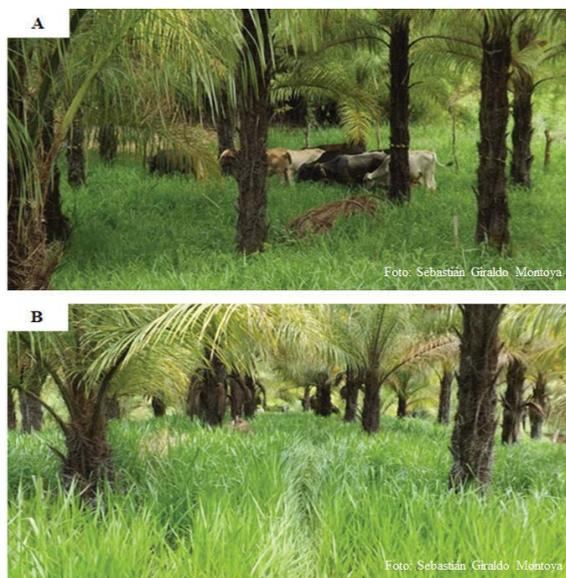


Figura 8 - Aspecto visual da braquiária utilizada em SSP com a macaúba: (A) Espaçamento 5m x 4m e (B) Espaçamento 7m x 4m

2.3 Componente animal nos Sistemas Silvopastoris (SSPs)

A principal atividade econômica do Tocantins é a bovinocultura de corte. Em 2018, foram abatidas 31,90 milhões de cabeças de bovinos, 3,4% a mais em relação a 2017 (+1,03 milhões de cabeças). O crescimento foi estimulado pelo aumento em 17 das 27 Unidades da Federação, tais como: Mato Grosso (+414,73 mil cabeças), Rio Grande do Sul (+205,13 mil), Paraná (+157,50 mil), Rondônia (+125,93 mil), São Paulo (+122,73 mil), Tocantins (+86,94 mil), Santa Catarina (+44,32 mil), Minas Gerais (+33,88 mil) e Goiás (+27,90 mil). As quedas mais acentuadas ocorreram nos estados do Mato Grosso do Sul (-142,20 mil cabeças), Pará (-27,89 mil), Maranhão (-25,60 mil) e Espírito Santo (-23,15 mil) (IBGE, 2018).

Nos sistemas consorciados o componente arbóreo pode influenciar em diversos fatores microambientais tais como: temperatura, umidade relativa do ar, luminosidade, umidade do solo, macro e microbiota do solo e atenuação dos ventos. Essas alterações também influenciam no comportamento dos animais dentro das áreas consorciadas. Em estudo realizado pela Universidade Federal de Viçosa foi observado mudança no hábito de pastejo dos bovinos em virtude do adensamento das plantas de macaúbas em sistema consorciado com *B. decumbens*. Os animais durante o período de pastejo preferiram as áreas menos adensadas, onde o sombreamento do dossel das macaúbas foi menor e o perfilhamento não deferiu das áreas a pleno sol. Após o pastejo, os animais se deslocavam para as áreas mais sombreadas para ruminar, descansar e fazer as necessidades fisiológicas.

Esses resultados permitem inferir que a presença do componente arbóreo contribui para o conforto animal, reduzindo a temperatura corporal e a eficiência da conversão da biomassa em ganho de peso dos animais (SOUZA *et al.*, 2010; BALISCEI, 2011).

Nesse sentido foram propostos arranjos espaciais de SSPs de macaúba com *B. decumbens*, nos quais prevalece o sistema de produção de dois andares e levando em consideração o máximo de conforto animal nas áreas. Nesses sistemas são recomendadas densidades de 313 plantas/ha e 357 plantas/ha com algumas linhas duplas de macaúbas que forneçam áreas de repouso sombreadas aos animais (Figura 9) (MONTROYA, 2016).

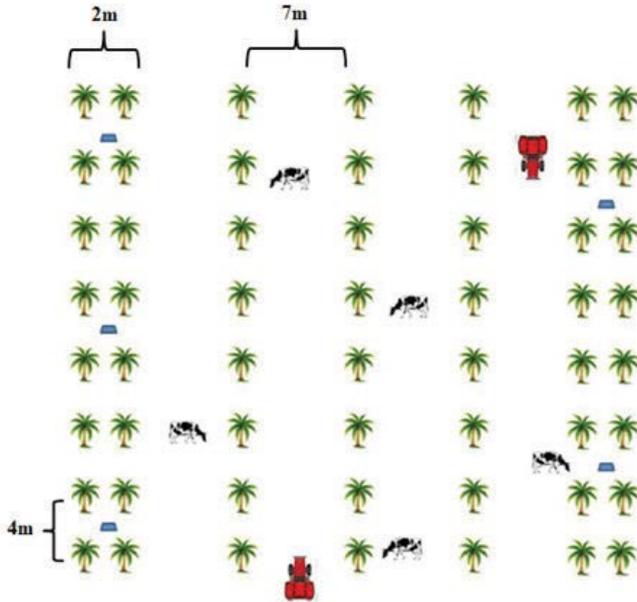


Figura 9 - Modelo de sistema de produção de dois andares de macaúba (*Acrocomia aculeata*) *B. decumbens* em espaçamento de 7m x 4m e linhas duplas em espaçamento 4m x 2m, para a criação de bovinos

3 - Agricultura de baixo carbono

O Brasil assumiu o compromisso com a produção sustentável, estabelecendo legislação e políticas públicas específicas direcionadas a enfrentar o problema do aquecimento global. A participação ativa do país, desde a reunião Rio 92 culminou com compromissos assumidos para a redução de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) na COP 15, e também com a Política Nacional de Mudança do Clima (PNMC).

O bioma Cerrado é de importância nacional pelo seu valor ambiental e econômico. Além da elevada biodiversidade, ele possui estoques significativos de carbono e concentra as nascentes das três maiores bacias hidrográficas da América

do Sul. Dos 200 milhões de hectares, a agricultura ocupa cerca de 10% da área, enquanto a pecuária ocupa 33% do rebanho nacional. Diante disso, aumenta a preocupação da realização de atividades agropecuárias sustentáveis (LANGE, 2019).

Atualmente, os assuntos mais discutidos na agricultura mundial é a segurança alimentar e a conservação do meio ambiente. Isso significa produzir alimentos de forma mais eficiente e sustentável, mitigando o impacto ambiental na atividade agrícola. Em 2018, a pecuária leiteira emitiu mais de 11 milhões de toneladas de metano entérico e 22 milhões de toneladas de dejetos orgânicos (SEEG, 2018). Esses valores poderiam ser reduzidos em até 30% com a utilização de técnicas de criação de gado aprimoradas, pelas políticas do Código Florestal Brasileiro e Plano ABC, maior programa de baixo carbono do mundo.

O Plano ABC incentiva ações para aumentar o uso de tecnologias agropecuárias sustentáveis, com alto potencial de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, combatendo o aquecimento global. Essas ações incluem o plantio direto, recuperação de pastagens degradadas, plantio de florestas comerciais, fixação biológica de nitrogênio, tratamentos de dejetos de animais e integração de lavoura-gado-floresta. Já o Código Florestal Brasileiro, exige um percentual mínimo de vegetação nativa em terras particulares, a reserva legal, e de Áreas de Preservação Permanente (APP).

No Cerrado, ações de recuperação de áreas degradadas já estão sendo tomadas, desde 2010, com a implantação do Plano ABC. Essa iniciativa tem beneficiado produtores da região permitindo o aumento da produção, restauração e conservação do meio ambiente nas propriedades. Esses progressos podem ser alcançados devido a utilização de tecnologias e práticas agrícolas de baixa emissão de carbono. Dentre as práticas agrícolas implantadas nas propriedades destacam-se a correção do solo, interação lavoura-pecuária-floresta e de palhagem, contribuindo para a manutenção da fertilidade do solo. A adoção dessas práticas teve impacto positivo na conservação das microbacias da propriedade, contribuindo com a recuperação de 70% das pastagens, apesar de aumentar a lotação animal em 25%. Esses resultados são um exemplo de sinergia entre a agropecuária e sustentabilidade.

Como pode ser visto, a atividade agropecuária, aliada a atividade florestal, pode exercer um importante papel nas políticas de mitigação dos GEE, reduzindo o desmatamento, implantando áreas florestais e melhorando o manejo dos cultivos e das pastagens contribuindo na recuperação dos solos.

Dentre os sistemas apresentados, o sistema silvipastoril (SSP) é, de fato, um ótimo complexo sequestrador de carbono, podendo ser realizadas atividades tanto agrícolas quanto pecuárias, sempre e quando a densidade do componente arbóreo não comprometa o crescimento das plantas do sub-bosque. A vantagem desses sistemas pode ser atribuída à maior eficiência na captura dos recursos para

crescimento, visto que mais componentes ativos são agregados ao processo de produção (SHARROW; ISMAIL, 2004) e aos diferentes padrões de crescimento, sendo possível aumentar o estoque total de carbono na mesma área de cultivo (BERNARDINO; GARCIA, 2009).

4 - Considerações finais

A utilização mais eficiente e sustentável das áreas destinadas à pecuária e à agricultura no bioma Cerrado tocantinense é premente, visto a magnitude dessas atividades na região. O investimento em recuperação de pastagens degradadas, a maior lotação (ua/ha), a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), a melhoria da qualidade genética de seus rebanhos, reduzindo significativamente o tempo do animal sobre o pasto e melhorando a produtividade, incrementam o ganho de peso dos animais em áreas menores e com desmatamento zero, garantindo a redução dos impactos das emissões de gases de efeito estufa e contribuindo para a recuperação do meio ambiente.

Apesar da concordância de que os Sistemas Agroflorestais (SAFs) apresentam vantagens ecológicas e podem reduzir o risco de investimento em uma só cultura, constata-se que estes representam uma atividade complexa, que apresenta tantos riscos e incertezas como outras atividades agrícolas e florestais mais conhecidas; partindo daí a importância de se fazer avaliações econômicas.

Antes de aderir à utilização de sistemas consorciados, é importante a realização da análise econômica desse sistema na região, avaliando-se quais culturas devem ser inseridas para que o retorno econômico seja potencializado. Essa medida irá contribuir com a viabilidade da implantação do sistema na região de interesse.

A viabilidade econômica de um SAF implantado no município de Filadélfia/TO foi avaliada entre culturas anuais (mandioca, milho e feijão), fruticultura (banana) e pecuária (bovinos, aves e aquicultura), e observou-se que o SAF, pode ser uma alternativa de investimento para a diversificação da renda, de produção, de novos mercados para comercialização, de inserção de novas tecnologias e de recuperação ambiental para a agricultura familiar, com base na composição de espécies e densidades estudadas para região de Filadélfia/TO.

Os estudos de análise econômica de SAFs no Brasil confirmam que a integração de cultivos arbóreos, perenes e anuais proporcionam a recuperação do capital investido, com geração de renda nos primeiros anos pela comercialização de culturas agrícolas de ciclos curtos e médios, bem como, ao longo da duração do sistema com a venda diversificada de produtos (SANGUINO, 2004; ARCO-VERDE, 2008).

Referências

- ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 99, n. 1, p. 15-27, 2003.
- APPS, M. J. *et al.* Carbon budget of the Canadian forest product sector. **Environment Science & Policy**, Vancouver, v. 2, n.1, p. 25-41, feb.1999.
- BAUMERT, K. A. *et al.* **Navigating the numbers: greenhouse gas data and international climate policy.** World Resources Institute. 2005. Disponível em: <<https://www.wri.org/publication/navigating-numbers>>. Acesso em: 15 mar. 2019.
- BARRETO, P.; PEREIRA, R.; ARIMA, E. **A pecuária e o desmatamento na Amazônia na era das mudanças climáticas.** Belém: IMAZOM. 2008.
- BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. Sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 60, p. 77 - 87, dez. 2009.
- BODDEY, R. M.; MACEDO, R.; TARRÉ, R. M.; FERREIRA, E.; OLIVEIRA, O. C.; de REZENDE, C. de P.; CANTARUTTI, R. B.; PEREIRA, J.M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Nitrogen cycling in Brachiaria pastures: the key to understanding the process of pasture decline. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v.103, p. 389 - 403, 2004.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). Disponível em: <<https://cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 12 ago. 2019.
- DIAS-FILHO, M. B. Photosynthetic light response of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *Brachiaria humidicola* under shade. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 1, p. 65 - 68, 2002.
- FARGIONE, J. E.; PLEVIN, R. J.; HILL, J. The ecological impact of biofuels. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 41, p. 351 – 377. 2010.
- FIGUEIREDO, E. O.; OLIVEIRA, L. C de; BARBOSA, L. K. F. **Teca (*Tectona grandis* L.f.): principais perguntas do futuro empreendedor florestal.** Rio Branco: Embrapa Acre, 2005. 87 p.
- FILHO, G. C. M.; SILVA, F. R. Benefícios sociais, econômicos e ambientais dos sistemas agroflorestais (SAFs) em pequenas propriedades rurais. **Inc. Soc.**, Brasília, v. 6. n. 1, p.219-225, jul./dez. 2012.

FRITSCHÉ, U. R.; WIEGMANN, K. Indirect land use change and biofuels. Directorate General for Internal Policies, Policy Department A: economic and scientific policy, 2011.

IBGE. **Anuário estatístico do Brasil/SIDRA**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

IBGE. **Anuário estatístico do Brasil/SIDRA**. Rio de Janeiro: IBGE 2015. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2015_v43_br.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

KHANDURI, V. P.; LALNUNDANGA; VANLALREMKIMI, J. Growing stock variation in different teak (*Tectona grandis*) forest stands of Mizoram, India. **Journal of Forestry Research**, v. 19, n. 3, p. 204-208, ago. 2008.

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B.; ZIMMER, A. H. Degradação de pastagens e produção de bovinos de corte com a integração agricultura x pecuária. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 1., 1999, Viçosa. **Anais...UFV**, Viçosa, p. 201-234. 1999.

MACEDO, M. C. M. Degradação, renovação e recuperação de pastagens cultivadas: ênfase sobre a região dos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DE PASTAGENS, 1., 2002, Viçosa, **Anais...Universidade Federal de Viçosa**, p.85-108. 2002.

MACHADO, F. S.; PEREIRA, L. G. R.; JUNIOR, R. G.; LOPES, F. C. F.; CHAVES, A. V.; CAMPOS, M. M.; MORENZ, M. J. F. **Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2011. (Documentos 147).

MIDGLEY, S. *et al.* **Planted teak**: global production and markets, with reference to Solomon Islands. ACIAR Technical Reports n. 85. Environmental Management Australian Centre for International Agricultural Research: Canberra. p. 92, 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Animal**: espécies: bovinos e bubalinos. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/bovinos-e-bubalinos>>. Acesso em: dez. 2019.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MCT. **Protocolo de Kyoto**. MCT: Brasília, 2008. Disponível em: <<https://www.mctic.gov.br/>>. Acesso em: 25 mar. 2020.

MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N. The potential of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) as source of biodiesel in Brazil. **International Review of Chemical Engineering**, v. 1, n. 6, p. 632 - 635, 2009.

MOURA, E. F.; VENTRELLA M. C.; MOTOIKE S. Y. Anatomy, histochemistry and ultrastructure of seed and somatic embryo of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae). **Science Agricola**, v. 67, p. 399 – 407, 2010.

MOYA, R.; BERROCAL, A. Wood color variation in sapwood and heartwood of young trees of *Tectona grandis* and its relationship with plantation characteristics, site, and decay resistance. **Annals of Forest Science**, v. 67, n. 1, p. 109, 2010.

MURAKAMI, C. H. G. (Ed.). Cedro australiano: valorização de espécies nobres. **Boletim Florestal**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 1-6, fev. 2008.

MUIR, J. P.; PITMAN, W. D.; FOSTER J. L. Sustainable, low-input, warm-season, grass–legume grassland mixtures: mission (nearly) impossible. **Grass Forage Science**, v. 66, p. 301 – 315, 2011.

NETO, A. F.; GARCIA, R.; MOOT, D. J.; GOBBI, K. F. Aclimação morfológica de forrageiras temperadas a padrões e níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 42, 2010.

NOGUEIRA, P. M. **A evolução da área de pastagens no Brasil**. Rally da Pecuária. Disponível em: <<http://www.rallydapecuaria.com.br/node/1366>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

OLIVEIRA, T. K. **Sistema agrossilvipastoril com eucalipto e braquiária sob diferentes arranjos estruturais em área de Cerrado**. 2005. 105 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2005.

PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. A. B.; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; LOPES, F. C. F.; ROSSIELLO, R. O. P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.4, p.573-579, abr. 2007.

PACIULLO, D. S. C.; CAMPOS, N. R.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T.; TAVELA, R. C.; ROSSIELLO, R. O. P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.7, p.917-923, jul., 2008.

PAIXÃO, F. A.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L. D.; LEITE, H. G.; SILVA, G. F. D. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 30, n. 3, p. 411 - 420, 2006.

PILLAI, P. K. C.; SRUTHI, M. R.; MAHENDRAN, R. Seed handling and nursery practices of teak. **Teaknet Bull.** v. 7, p. 1–6. 2014

PIRES, T. P.; SOUZA, E. dos S.; KUKI, K. N.; MOTOIKE, S. Y. Ecophysiological traits of the macaw palm: a contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200-210. 2013.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **Sistemas silvipastoris**. Colombo: Embrapa Florestas. 2004.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.1, jan. 2008.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E AQUICULTURA - SEAGRO. 2012. Disponível em: <<https://seagro.to.gov.br/noticia/2012/3/2/floresta-de-pineiro-tem-viabilidade-comprovada-no-estado/>>. Acesso em: 25 mar. 2020.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E AQUICULTURA - SEAGRO. 2015. Disponível em: <<https://seagro.to.gov.br/noticia/2015/10/6/cenario-e-perspectivas-para-o-agronegocio-da-pecuaria-tocantinense/>>. Acesso em: 25 mar. 2020.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E AQUICULTURA - SEAGRO. **Plano ABC/TO**. 2019. Disponível em: <<https://seagro.to.gov.br/plano-abc-to/>>. Acesso em: 27 mar. 2020.

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA - SETEC. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/agropec_to.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2020.

SECRETARIA DA FAZENDA E PLANEJAMENTO (SEFAZ). Disponível em: <<http://www.sefaz.to.gov.br/noticia/2019/11/14/pib-tocantinense-atinge-r-3410-bilhoes/>>. Acesso em: 28 mar. 2020.

SILVA, A. R. **Sistema agroflorestal sobre cultivo de leguminosas: fertilidade do solo, resistência a penetração e produtividade de milho e feijão-caupi**. 2011. 96f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Tocantins. Gurupi, 2011.

SILVA, S. F.; FERRARI, J. L. Descrição botânica, distribuição geográfica e potencialidades de uso da *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex. A. Rich) Stapf. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.8, n.14; p.302. 2012.

SOARES, A. B.; SARTOR L. R.; ADAMI, P. F.; VARELLA, A. C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J. C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Bras. Zootec.**, v.38, n.3, p.443-451, 2009.

SOUZA, L. F.; MAURÍCIO, R. M.; GONÇALVES, L. C.; SALIBA, E. O. S.; MOREIRA, G. R. Produtividade e valor nutritivo da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em um sistema silvipastoril. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.4, p.1029-1037, 2007.

SOUZA, O. M. M.; COLLICCHIO, E.; PEREIRA, E. Q.; AZEVEDO, M. I. R. Zoneamento agroclimático para o *Eucalyptus urograndis* no Estado do Tocantins. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 5. 2014. Campo Grande, **Anais...** Campo Grande, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 231 -239. 2014.

SHARROW, S. H.; ISMAIL, S. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations and pastures in western Oregon, USA. **Agroforestry Systems**, v. 60, p.123-130, 2004.

SCHEMBERGUE, A.; CUNHA, D. A.; CARLOS, S. M.; PIRES, M. V.; FARIA, R. M. Sistemas agroflorestais como estratégia de adaptação aos desafios das mudanças climáticas no Brasil. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 55, n.1, jan./mar. 2017.

TSUKAMOTO FILHO, A. A. **Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais**. 2003. 98 f. Tese Doutorado (Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa. 2003.

VALLE, C. B.; EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M. Características das plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17. 2000. Piracicaba. **Anais...**Piracicaba, p. 65-108. 2000.

Maria Antonia Machado Barbosa¹, Angélica Fátima de Barros¹, Emily dos Santos Pereira¹, Rafael Augusto da Costa Parrella² e Leonardo Duarte Pimentel³

¹Engas. Agrônomas, Doutorandas do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa – UFV; ²Engo. Agrônomo, DSc em Genética e Melhoramento de Plantas, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo e ³Engo. Agrônomo, DSc em Fitotecnia, Prof. Adjunto do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa – UFV

1 - Introdução

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma gramínea nativa do continente africano, que vem sendo amplamente difundida para outras partes do mundo. Sua domesticação é datada desde a pré-história (cerca de 3000 a.C.) juntamente com outros cereais, sendo hoje considerado o quinto cereal mais cultivado no mundo, ficando atrás apenas do trigo, arroz, milho e cevada (RIBAS, 2008). No Brasil, sua introdução ocorreu com a finalidade de ser utilizado como sucessão de cultivos de verão, principalmente em substituição ao milho. Porém, nos últimos anos, tem recebido maior atenção, devido a adoção de práticas agrícolas mais modernas e através de programas de melhoramento, visando atingir maiores produtividades (BORÉM *et al.*, 2014).

O mecanismo fotossintético do tipo C4 *per se*, contribui para que o sorgo apresente uma alta capacidade de conversão de energia em biomassa. Associado à isso, o sorgo possui ainda, características particulares que conferem a essa planta, grandes vantagens sobre condições ambientais estressantes, como déficit hídrico, estresse térmico e alta irradiância. Todas essas características, possibilitam o cultivo do sorgo em áreas ou épocas marginais, ou seja, o sorgo pode ser cultivado sob condições de estresse ambiental e com baixa aplicação de tecnologia em locais e períodos que não são ideais para outras culturas (MAY *et al.*, 2013).

O sorgo tem sido utilizado na alimentação humana em diversos países do mundo, sendo cultivado de forma secundária, como fonte de grãos e forragem para a alimentação animal, principalmente durante a entressafra de outras culturas importantes, como a soja e o milho, por exemplo. Entretanto, sua alta versatilidade, tem levado à uma exploração além de usos tradicionais, com um potencial imediato para produção de bioenergia. Entre os diferentes morfotipos de sorgo, três tem

recebido especial atenção no setor bioenergético: biomassa, sacarino e granífero. O uso destes, tem sido possível graças à eficiente capacidade de conversão de seus componentes de biomassa em açúcares fermentáveis, e ainda, como fonte lignocelulósica para geração de eletricidade (ROONEY, 2014; MATHUR *et al.*, 2017). A produção de bioenergia a partir de sua biomassa pode ser feita seguindo quatro plataformas básicas: combustão direta para produção de energia térmica (vapor) e elétrica (cogeração); hidrólise química ou enzimática da fibra (celulose e hemicelulose) para produção de combustíveis líquidos; gaseificação para produção de gás de síntese ou geração de biogás; e por pirólise para produção de bio-óleo ou carvão/coque (CASTRO, 2014).

Uma vez que o uso de combustíveis fósseis tem sido amplamente associado à eventos de mudanças climáticas, devido à emissão de gases de efeito estufa (GEEs), seu uso tem se tornado cada vez mais restrito dentro do contexto de preservação ambiental, aumentando a demanda por fontes de energia alternativas que sejam renováveis e ecologicamente corretas. Nesse cenário, a descoberta da potencialidade do sorgo como uma cultura energética, tem sido fundamental, representando uma fonte de matéria-prima de baixo custo, maior rusticidade e baixo impacto ambiental. Assim, são necessárias informações mais específicas sobre a composição de sua biomassa, bem como as possíveis formas de uso que levam a produção de bioenergia. Nesse capítulo, abordaremos de forma geral e objetiva, as potencialidades do sorgo biomassa, sacarino e granífero, como matéria-prima para obtenção de bioenergia, principalmente na produção de biocombustível e termoenergia.

2 – Sorgo Biomassa

2.1 – Características gerais

O sorgo biomassa, também conhecido como sorgo energia, tem recebido destaque nos últimos anos como matéria-prima para cogeração de energia, devido à sua alta arquitetura (podendo atingir até 6 m de altura) e características peculiares para um grande acúmulo de biomassa. É considerada uma planta alternativa ao fornecimento de matéria-prima para queima direta na geração de vapor, com possibilidade de ser utilizada na entressafra da cana-de-açúcar, (quando há uma escassez de bagaço), e ainda, em substituição ao uso da lenha de eucalipto nos processos de queima para a geração de termoenergia (CASTRO, 2014). Além disso, possui alta capacidade de gerar energia por combustão da biomassa seca (cerca de 4000 Kcal kg⁻¹ em base seca), a baixo custo, torna-o uma espécie anual competitiva em comparação com outras espécies já estabelecidas (PIMENTEL *et al.*, 2017).

Este sorgo é uma planta sensível ao fotoperíodo, ou seja, o seu florescimento é induzido quando os dias se tornam menor que 12 horas e vinte

minutos (ROONEY; AYDIN, 1999). Esse tipo de característica é importante, pois permite que a planta desenvolva seu máximo potencial de acúmulo de biomassa quando cultivada na época de dias longos (Primavera/Verão) (ROONEY, 2014; MEKI *et al.*, 2017). Do ponto de vista econômico, maiores ganhos de biomassa sempre serão desejáveis no cultivo desse sorgo, logo, o manejo deve ser feito de tal forma que, as plantas continuem a crescer vegetativamente por períodos mais longos antes da colheita. Vale destacar ainda que, a sensibilidade do sorgo biomassa ao fotoperíodo, depende não somente da época de cultivo, mas também do tipo de material genético e do local de plantio (MEKI *et al.*, 2017).

O teor de umidade da biomassa ou teor de matéria seca no momento da colheita é outra característica importante para este tipo de sorgo. O sorgo biomassa possui o gene Dry (ZHANG *et al.*, 2018), com os alelos dominantes (D_{-}), que controlam o colmo seco (Pithy), apresentando baixos teores de umidade na biomassa na maturidade fisiológica, chegando a 50% com o teor fibra superior a 25%, sendo de grande interesse para o setor sucroenergético. Morfologicamente, é uma planta que apresenta colmos grandes e fibrosos, intensa área foliar e panículas com boa produção de grãos (Figura 1). Com um ciclo de vida relativamente pequeno (150 a 180 dias), requer atenção especial na fase de estabelecimento. Porém, quando comparado à outras culturas energéticas, possui vantagens quanto à utilização na quantidade de insumos, fertilizantes e irrigação, além de boa adaptabilidade a diferentes condições climáticas (CAPECCHI *et al.*, 2017). Apesar do sorgo biomassa ser caracterizada como uma planta responsiva ao suprimento de água (ROCATELI *et al.*, 2012), sua rusticidade às condições de déficit hídrico, permite o seu cultivo em regiões onde o cultivo da cana-de-açúcar é limitado, garantindo o suprimento de biomassa para produção de energia (PRAKASHAM *et al.*, 2015).



Figura 1 - Arquitetura do sorgo biomassa: porte elevado, colmos grandes e fibrosos e baixa produção de grãos. Foto: Leonardo D. Pimentel.

A cultura é propagada por sementes e tem sido recomendadas populações de 100.000 a 120.000 plantas ha⁻¹, dependendo das condições edafoclimáticas e considerando que há elevado perfilhamento. O espaçamento adotado usualmente é de 0,70 m entre fileiras para facilitar o tráfego dos implementos. Para que o sorgo biomassa expresse seu potencial produtivo, além de um bom preparo do solo e adubação de plantio, é necessário o controle de plantas daninhas, principalmente nos estádios iniciais. A adubação de cobertura deve ser feita quando as plantas apresentarem de 4 a 6 folhas ou 30 a 40 cm de altura. A colheita pode ser feita tanto no sentido da linha como no sentido transversal, porque o sistema de corte da plataforma é aberto, permitindo a entrada de plantas sem derrubá-las lateralmente, e com cilindros de corte horizontais.

Quando adotado todos os parâmetros ideais de produção, e dependendo da cultivar utilizada, o rendimento do sorgo biomassa pode atingir mais de 100 t ha⁻¹ de massa fresca e 40 t ha⁻¹ de massa seca em apenas seis meses (BATISTA *et al.*, 2017). No Brasil, a época mais propícia para o seu cultivo, é durante os meses de outubro a dezembro, quando o fotoperíodo é maior que 12 horas e 20 minutos, ao qual amplia seu ciclo vegetativo em detrimento ao reprodutivo, garantindo um maior acúmulo de biomassa (MAY *et al.*, 2013). Adicionalmente, locais com predominância de temperaturas médias em torno de 33 a 34°C são as mais recomendadas (BORÉM *et al.*, 2014).

2.2 – Composição

O sorgo biomassa possui propriedades lignocelulósicas ideais que lhe confere alta capacidade para a queima (geração de eletricidade), devido sua composição ser em maior parte de carboidratos estruturais, embora apresente uma pequena quantidade de carboidratos não-estruturais (ROONEY, 2014). As características químicas de sua biomassa, como poder calorífico, teor de cinzas e carbono, entre outros, se assemelham à de outras gramíneas que também são utilizadas para produção de energia (MAY *et al.*, 2013).

Os carboidratos estruturais, como celulose, hemicelulose e lignina, possuem função estrutural na célula vegetal, e dependendo da sua proporção, podem conferir alto poder de combustão ao material vegetal. Assim, o potencial energético da biomassa é medido através do seu poder calorífico, que por sua vez, diz respeito a quantidade de energia que é liberada pelo material em processo de combustão. O sorgo biomassa possui um poder calorífico de cerca de 4000 Kcal kg⁻¹, ou seja, apresenta-se como um bom insumo energético. Essa característica está associada a maior proporção de celulose, hemicelulose e lignina, em comparação com açúcares solúveis e cinzas.

Esses carboidratos estruturais, estão presentes em quantidades equivalentes tanto nas folhas quanto no colmo, e em contrapartida, a produção

de açúcares solúveis e cinzas ocorre de maneira diferenciada entre caules e folhas (TANG *et al.*, 2018). Mas de maneira geral, cultivares de sorgo biomassa têm demonstrado valores percentuais de lignina na ordem de 5 a 10%, porcentagem de hemicelulose de 15 a 25% e porcentagem de celulose de 35 a 45% (MAY *et al.*, 2013). Em adição, as proporções de carboidratos estruturais nas diferentes partes da planta, podem variar entre as diferentes cultivares. Na Tabela 1 pode-se observar as diferentes proporções na composição de duas cultivares de sorgo biomassa (cultivares BD 7607 e BRS 716). De maneira geral, as folhas e os colmos são os que apresentam a maior proporção de carboidratos estruturais. Para as duas cultivares em questão, foi encontrado alto teor de lignina nos colmos, sendo portanto, indicado para a geração de biocombustíveis sólidos, ou seja, queima direta para a geração de vapor/energia (PIMENTEL *et al.*, 2017).

Tabela 1 - Médias do teor de hemicelulose, celulose, lignina e cinzas das diferentes partes da planta de duas cultivares de sorgo biomassa

Cultivar	Parte	----- (%)-----				
		Hemicelulose	Celulose	Lignina	Cinzas	Extrativos
BD 7607	Panícula	28,59 b	8,38 b	6,22 b	1,98 b	54,83
	Folha	34,45 a	23,36 a	5,60 b	5,51 a	31,08
	Colmo	28,68 b	29,14 a	8,48 a	3,88 a	29,82
	Média	30,57	20,44	6,7	3,79	-
BRS 716	Panícula	46,16 a	18,54 b	7,60 ab	6,71 a	20,99
	Folha	35,08 b	27,09 a	5,43 b	7,10 a	25,3
	Colmo	28,86 b	29,14 a	10,21 a	5,67 a	26,12
	Média	35,65	22,10	7,91	6,50	-

Fonte: Pimentel *et al.* (2017)

O colmo é a parte que apresenta maior teor de umidade, fato este, que está associado a maior quantidade de carboidratos não-estruturais, em comparação com outras partes da planta, como folha, por exemplo (PIMENTEL *et al.*, 2017). Entretanto, essa umidade pode variar conforme o genótipo e a época de colheita. Maior teor de umidade encontrado na biomassa, indica que este material precisa de prévia secagem antes do processo de combustão, para que haja liberação de energia suficiente ao processo de queima. Desta forma, a umidade é um fator limitante na escolha do combustível (biomassa), não sendo permitido valores acima de 50%, pois acima deste ponto é liberada energia insuficiente para a combustão e consequentemente para a produção de calor (VIEIRA, 2012).

Há uma alta correlação entre altos teores de lignina e baixo teor de umidade, que resulta em um material com alto poder calorífico. A lignina possui uma estrutura bem mais complexa em comparação com a celulose e a hemicelulose, além disso, sua estrutura pode influenciar a degradação térmica da biomassa, elevando o seu

poder calorífico superior. Desta forma, a maior quantidade de lignina presente nos colmos do sorgo biomassa, em comparação com folha e panícula, confirma que o colmo, tem maior potencial para à geração de bioeletricidade e calor através da queima direta (PIMENTEL *et al.*, 2017). Além de estar relacionado ao poder calorífico, o elevado teor de lignina no sorgo biomassa é desejado para conferir maior resistência ao acamamento. Este acamamento é um dos principais problemas da cultura no campo. Devido ao porte elevado e ao peso das panículas, a planta fica muito susceptível ao tombamento ocasionado por ventos.

Apesar do sorgo biomassa ter um alto potencial de produção de biomassa, sua diferença na composição estrutural e química, especificamente celulose e hemicelulose (NEUMANN *et al.*, 2002), pode induzir sua indicação para diferentes fins. Assim os programas de melhoramento de sorgo biomassa tem duas vertentes: i) seleção de matérias com elevada produção de biomassa e teor de lignina, dado ao seu bom desempenho nos processos de combustão (MAY *et al.*, 2013); e ii) produção de biomassa com menor teor de lignina, para atender a indústria de agrocombustíveis. Apesar de objetivos distintos, ambos os programas no momento de selecionar híbridos, buscam materiais sensíveis ao fotoperíodo e alta produtividade de matéria seca, por meio de características: florescimento, porte, ciclo, resistência a acamamento e características lignocelulósicas (RODRIGUES, 2010).

2.3 – Produção de bioenergia

O sorgo biomassa é considerado como boa opção de matéria-prima para produção de bioenergia, devido a sua versatilidade como fonte de amido, açucares fermentescíveis e lignocelulose. Sua biomassa lignocelulósica possibilita ser utilizado em processos de combustão (lignina) como matéria calorífica para abastecer as caldeiras das usinas termoelétricas e conseqüentemente, produzir eletricidade, assim como, na produção de etanol celulósico (etanol de segunda geração) a partir da celulose e hemicelulose (Figura 2).

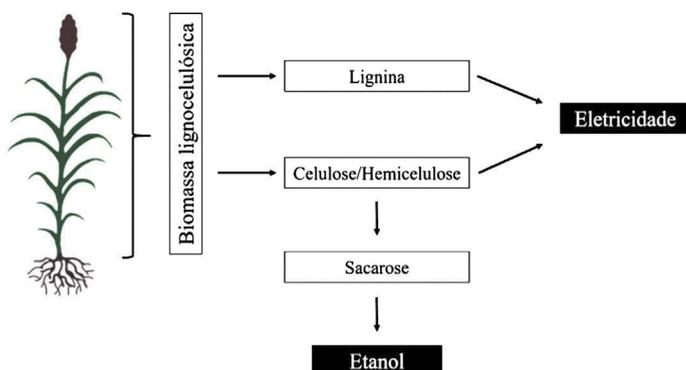


Figura 2 - Ilustração sobre a composição da biomassa lignocelulósica do sorgo biomassa e suas formas de uso

Um bom parâmetro para avaliar a potencialidade energética de combustíveis de biomassa é através do poder calorífico, ao qual corresponde a quantidade de energia liberada na combustão completa de uma unidade de massa do material combustível (PROTÁSIO *et al.*, 2011). O poder calorífico é chamado de superior (PCS) quando a quantidade de calor liberada na combustão de uma unidade de massa de combustível considera a água de formação e água da umidade do combustível no estado líquido. Já poder calorífico inferior (PCI) corresponde a quantidade de calor liberada sem considerar a evaporação de água de formação do combustível mais a quantidade de água da umidade do combustível. Um estudo realizado por Batista *et al.* (2018), demonstrou que o potencial energético do sorgo biomassa, depende da cultivar utilizada, cujo o PCS pode variar de 4220 a 4590 kcal kg⁻¹. Segundo esses mesmos autores, as cultivares em estudo apresentaram em média, 18 GJ de energia por tonelada de matéria seca (GJ t⁻¹) da biomassa seca total. Esses resultados são próximos aos encontrados para o bagaço de cana-de-açúcar, que apresenta valores médios de 18,16 GJ t⁻¹ (LIZCANO, 2015).

Além da cana-de-açúcar, estudos tem demonstrado que o sorgo biomassa apresenta um poder calorífico com valores próximos às outras culturas energéticas, conforme demonstrado na Tabela 2 (MARAFFON *et al.*, 2018). Logo, esta fonte de energia pode atender às demandas pontuais do mercado, principalmente em período de entressafra.

Tabela 2 - Poder Calorífico Superior (PCS), Poder Calorífico Inferior (PCI) e teor de cinzas de materiais utilizados como fonte de energia térmica

Material	PCS (Kcal Kg ⁻¹)	PCI (Kcal Kg ⁻¹)	Cinzas (%)
Sorgo Biomassa	4129	3807	8,13
Capim-elefante	4315	3996	4,72
Cana energia	4378	4048	3,98
Palha de cana	4460	4123	3,20
Eucalipto (5 anos)	4601	4288	0,47
Eucalipto (3 anos)	4586	4263	0,59

Fonte: Marafon *et al.* (2018)

Além do poder calorífico do sorgo biomassa, o conteúdo celulósico presente principalmente no colmo, lhe confere um papel significativo na produção de etanol celulósico (etanol de segunda geração). A produção de biocombustíveis de segunda geração a partir do sorgo biomassa leva em consideração o teor e a composição da lignina, índice de cristalinidade e porosidade da celulose. A conversão da biomassa lignocelulósica em etanol é realizada por meio de processo que envolve um pré-tratamento seguido de tratamento enzimático para liberar os açúcares estruturais a serem utilizados na fermentação. A eficiência deste processo de conversão é dependente de inúmeros fatores intrínsecos à biomassa que a deixa mais ou menos recalcitrante às enzimas e aos microrganismos fermentadores (MAY *et al.*, 2013).

Vale salientar, que a lignina é um composto da parede celular que interfere negativamente tanto com o processo de obtenção do etanol de segunda geração, quanto com a digestibilidade da forragem por ruminantes. Assim, a redução nos teores de lignina nesses genótipos de sorgo permitiria uma maior eficiência na produção de etanol a partir da biomassa, aumentando-se o número de litros de álcool por peso de massa seca a um menor custo (JORDAN *et al.*, 2012). Além disso, a menor quantidade de lignina facilita a digestibilidade da forragem, levando a um maior ganho nutricional para os animais que se alimentam dela, e conseqüentemente maior ganho de peso.

O gene *Bmr* codifica para a enzima cinamil álcool desidrogenase (CAD), que atua na via de síntese da lignina em sorgo (SABALLOS *et al.*, 2009; SATTLER *et al.*, 2009). Os mutantes *bmr*, são denominados de *brown midrib*, por causa da formação de tecido vascular marrom-vermelhado nas folhas e nos colmos, que está ligado a modificações da lignificação dos tecidos, podendo chegar a uma redução de 50% da lignina em comparação com linhagens com o respectivo gene *Bmr*. Assim, a redução do conteúdo de lignina tem apresentado um impacto positivo na eficiência de conversão da biomassa de sorgo *bmr* em açúcares simples, o que tornaria o processo de produção de etanol de segunda geração mais eficiente e economicamente mais competitivo.

Adicionalmente, a introdução do gene *bmr6* em linhagens de sorgo forrageiro permitirá a produção de uma silagem de maior digestibilidade para o gado, aumentando a produção de carne e de leite.

Almeida *et al.* (2019) avaliaram a composição de híbridos de sorgo biomassa convencional e com nervura marrom, bem como rendimento de etanol de segunda geração destes genótipos. Verificaram menor teor de lignina na biomassa dos genótipos com nervura marrom (aprox.5%) comparado com os convencionais (aprox.7%) e maior eficiência no rendimento de etanol celulósico, produzindo 0,51L de etanol por kg de matéria seca nos genótipos de nervura marrom contra 0,35L de etanol por kg de matéria seca nos genótipos convencionais (ALMEIDA, 2019).

Considerando os sistemas agroindustriais para produção de energia, o sorgo biomassa teria como vantagens: a) elevada produtividade de biomassa por unidade de área; b) possibilidade de uso da rebrota; c) propagação semínifera.

Como desvantagens, o principal fator limitante seria a sazonalidade de produção quando se cultiva o sorgo como cultura anual (cerca de 150 dias/ciclo). Assim, mesmo produzindo duas safras/ano, tem-se colheita concentrada em determinadas épocas do ano, o que é ruim para os empreendimentos agroindustriais devido a oferta sazonal de matéria-prima na indústria. Isso faz com que o sorgo seja cultivado como cultura complementar a outras cadeias agroindustriais, como a da cana-de-açúcar por exemplo.

3 – *Sorgo sacarino*

3.1 – Características gerais

O sorgo sacarino é uma opção a diversificação e aumento da oferta de matéria-prima para etanol, principalmente por viabilizar a sua produção na entressafra da cana-de-açúcar, diminuindo a ociosidade das indústrias no setor sucroenergético (SANTOS *et al.*, 2015). Quanto às características morfológicas, é uma planta que cresce até 4 m de altura, com grande acúmulo de açúcares solúveis em seus colmos (até 78% do total de sua biomassa) (MATHUR *et al.*, 2017). O sorgo sacarino, diferentemente da biomassa, é rico em caldo nos colmos devido possuir os alelos recessivos (*dd*) do gene *dry*. E ainda, apresenta um sistema radicular fibroso, denso e profundo, com formação de raízes adventícias nos nós acima do solo. A espessura do caule pode ser altamente variável, conforme a genética do material, região de cultivo, manejo e condições ambientais (ROONEY, 2014). Embora apresente um baixo rendimento de sementes, o sorgo sacarino tem capacidade de produzir rendimentos de biomassa significativamente maiores em comparação com o sorgo granífero (Figura 3).



Figura 3 - Características morfológicas do sorgo sacarino: cresce até 4 m de altura. Grande acúmulo de açúcares solúveis em seus colmos e boa produção de grãos. Foto: Leonardo D. Pimentel.

O sorgo sacarino maduro consiste de cerca de 75% de colmo, 10% de folhas, 10% de raízes e 5% de sementes em peso. Características como, dias para o florescimento, altura da planta e diâmetro do colmo, foram indicadas como os principais traços que apresentam efeito indireto sobre a produção de etanol. Já a produção de biomassa tem efeito direto na produção de etanol, indicando que, essas características devem ser consideradas durante um programa de seleção de genótipos de sorgo sacarino.

Uma característica importante é o período de utilização industrial (PUI), que compreende o período que a cultivar estará apta para colheita no campo, mantendo os padrões mínimos de produtividade e qualidade da matéria prima, que reflitam em rendimento de etanol viável economicamente (SCHAFFERT; PARRELLA, 2012).

O PUI é necessário para o planejamento de colheita e processamento da matéria prima, devendo ser o maior possível e mínimo de 30 dias, uma vez que a possibilidade de atrasos na colheita é comum por parte da usina devido a fatores operacionais (manutenção da usina) ou fatores climáticos (chuvas). Desta forma, cultivares com PUI inferior a 10 dias apresentam grande risco para o setor sucroalcooleiro, pois este curto período associado aos frequentes atrasos na colheita por parte da usina, resultam em produtividades abaixo da viabilidade econômica.

Características agrônômicas como ciclo de vida curto de cerca de 4 meses, capacidade de crescer sob condições ambientais adversas, baixo custo de cultivo e sistema fotossintético C4 são especialmente úteis para sua adoção como matéria-prima de biocombustível (MATHUR *et al.*, 2017). Adicionalmente, variedades de sorgo sacarino são mais altas, têm maior superfície de área foliar, possuem uma melhor capacidade de interceptação de luz e alta eficiência de uso de radiação em comparação com sorgo granífero e sorgo energia. Outra característica importante e exclusiva do sorgo sacarino, em comparação com outros tipos de sorgo, é a duração da produção ótima de açúcar, que geralmente ocorre antes da maturação fisiológica e é mantida por um maior período de tempo (KARLEN, 2014).

O plantio do sorgo sacarino é recomendado nos meses de outubro a dezembro, que corresponde ao período chuvoso no centro sul do Brasil. Uma população de 120.000 a 130.000 plantas ha⁻¹ é indicada para cultivares com baixo grau de perfilhamento, enquanto que 110.000 plantas ha⁻¹ é recomendada para cultivadas que perfilham mais (BORÉM *et al.*, 2014). Os espaçamentos adotados variam entre a cultivar e o local de cultivo. Em estudos realizados no Mato Grosso, a cultivar BRS 506 produziu aproximadamente 65 t ha⁻¹ de colmos no espaçamento de 0,5 m entrelinhas e, a população de 80.000 plantas ha⁻¹ foi considerada a mais adequada (SILVA *et al.*, 2016).

Quanto à adubação no plantio sobre a palha da cana-de-açúcar, é necessário aplicar entre 30 e 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio na semeadura (MAY *et al.*, 2018). A adubação de cobertura supre a alta demanda de nitrogênio e potássio antes da fase reprodutiva e é feita no estágio de quatro folhas completamente desenvolvidas. A colheita ocorre geralmente nos meses de fevereiro a abril, quando as usinas de cana estão ociosas por causa da entressafra e, portanto, o sorgo sacarino pode ser moído e processado utilizando a mesma estrutura da usina (DURÃES *et al.*, 2012).

3.2 – Composição

Entre os materiais que são usados na produção de bioenergia, o ponto de maior interesse é a produção de carboidratos, tanto não estruturais (açúcar e amido) quanto os estruturais (celulose, hemicelulose e lignina) (ISIKGOR; BECER, 2015). O sorgo sacarino tem como componente de maior interesse, os carboidratos não estruturais, sendo que, grande parte do conteúdo de carboidratos do suco do colmo é a sacarose e/ou glicose.

Numa abordagem geral, a casca e o mesocarpo do sorgo sacarino são bastante heterogêneos quanto à sua composição química (Tabela 3). Como observado, o mesocarpo do sorgo sacarino é rico em carboidratos não-estruturais (71%), tais como, sacarose (principalmente) e glicose. Já a casca é rica em carboidratos estruturais (45,5%), além de uma boa fração de sacarose (32,2%) (BILLA *et al.*, 1997). Tais características confere ao sorgo sacarino, ser uma boa fonte para produção de etanol, devido seus baixos teores de lignina e grande quantidade de açúcares solúveis. Em se tratando de produção de etanol, variedades que apresentam reduzido conteúdo de lignina na parede celular são preferenciais.

Em comparação com a cana energia, o caldo do sorgo sacarino contém 11,8% de açúcares, consistindo em sacarose, glicose e frutose, que podem ser prontamente convertidos em etanol, enquanto que a cana possui 9,8% (Tabela 4).

Tabela 3 - Composição química da medula e casca do colmo de sorgo sacarino. Os resultados são expressados como porcentagem (%) de massa seca

Componentes	Medula	Casca
Celulose	8,7	19,2
Hemicelulose	6,3	17,5
Lignina	0,6	8,8
Sacarose	67,4	32,2
Glicose	3,7	2,4
Cinzas	0,2	0,5

Fonte: Billa *et al.* (1997)

Tabela 4 - Composição do suco e fibra do sorgo sacarino em comparação com a cana energia

Componentes	Sorgo sacarino	Cana energia
Suco	71,9	53,6
Sacarose (% suco)	7,6	9,6
Glicose (% suco)	2,6	0,1
Frutose (% suco)	1,6	0,1
Açúcares totais (% suco)	11,8	9,8
Fibras (% massa seca)	13,0	26,7
Celulose (% massa seca)	44,6	43,3
Hemicelulose (% massa seca)	27,1	23,8
Lignina (% massa seca)	20,7	21,7
Cinzas	0,4	0,8

Fonte: Kim; Day (2011)

Assim, o sorgo sacarino produz mais etanol a partir do caldo, do que a cana energia (KIM; DAY, 2011). Alguns outros açúcares como arabinose, galactose, manose e xilose também são presentes na composição do caldo do sorgo sacarino (BILLA *et al.*, 1997; DAR *et al.*, 2008). Segundo Teixeira *et al.* (2017), o ponto ideal de colheita é após o florescimento, quando os grãos da panícula apresentam o estágio de grão leitoso, que é o momento em que se tem os melhores rendimentos indústrias.

Ainda segundo esses autores, a amostragem do Brix do caldo deve ser feita nos primeiros 2 ou 3 internódios da base do colmo, pois é nesta posição que se tem melhor representatividade do Brix obtido pela extração da planta inteira. Essa informação é muito importante na tomada de decisão para colheita, pois é muito comum se amostrar o meio do colmo, que tem maior Brix, porém, esse valor não representa o Brix da planta inteira.

3.3 - Produção de bioenergia

O principal componente do sorgo sacarino para a produção de bioenergia, concentra-se em seus colmos suculentos, onde açúcares acumulados na forma de suco, podem ser facilmente extraídos e fermentados para produção de etanol. O processamento industrial do sorgo sacarino é semelhante ao da cana-de-açúcar para a produção de etanol, podendo utilizar a mesma estrutura e processo empregado. As etapas constitui primariamente do pré-tratamento do sorgo, para facilitar a extração do caldo, que posteriormente, passará por aquecimento, decantação e filtração (FERREIRA, 2015).

Além dos açúcares do colmo, coprodutos na forma de bagaço, vinhaça, vapor e espuma, também são utilizados como matéria-prima para diversas finalidades. Uma visão geral da planta e dos vários produtos que podem ser derivados do sorgo sacarino são mostrados na Figura 4.

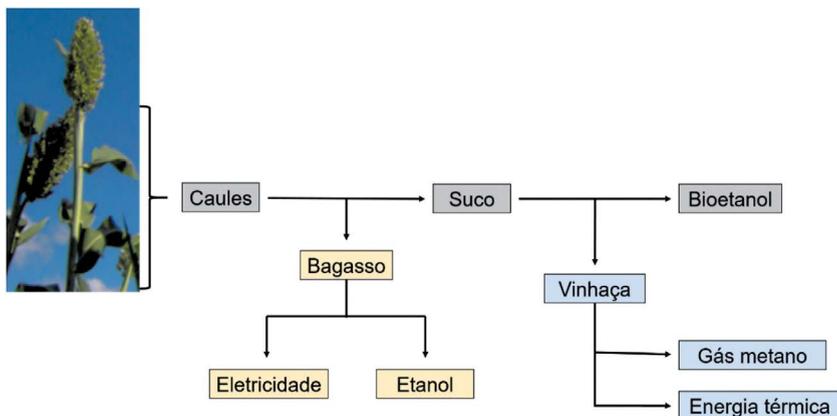


Figura 4 - As várias formas de uso do caule do sorgo sacarino para produção de bioenergia. Modificado a partir de Mathuret al. (2017)

Após a extração do suco, o material restante fibroso, conhecido como bagaço, serve como matéria-prima para geração de eletricidade. A biomassa lignocelulósica na forma de bagaço também pode ser usada para produção de etanol e plásticos biodegradáveis. O destilado líquido obtido após a extração de etanol do suco do sorgo sacarino, chamado de vinhaça, é um subproduto da produção de etanol.

Outros usos da vinhaça são na digestão anaeróbica para produzir gás metano para combustão na produção de energia térmica. A partir do sorgo sacarino, pode ser produzido ainda, o biogás, que é um combustível limpo e favorável ao meio ambiente por causa do menor derramamento de poluentes precários (APPELS *et al.*, 2011).

O sorgo sacarino pode render mais de 60 a 70 litros de etanol por tonelada processada de acordo a época de colheita, enquanto a cana-de-açúcar produz, em média, 85 litros por tonelada. Embora, a produção anual de etanol de sorgo sacarino depende de vários fatores, incluindo o potencial genético das cultivares, época do ano, qualidade do solo e outras condições ambientais, estima-se que a cultura de sorgo sacarino produza 8000 L ha⁻¹ ano⁻¹ de etanol (MATHUR *et al.*, 2017).

4 - Sorgo granífero

4.1 - Características gerais

O sorgo granífero que por muito tempo foi utilizado apenas na cadeia alimentícia, hoje representa grande potencial no setor bioenergético, devido seu grão possuir características semelhante ao milho e possibilitar a produção de etanol a partir de fonte amilácea (ROONEY, 2014). É uma planta que apresenta importantes vantagens agrônomicas, como capacidade de crescer em uma ampla gama de tipos de climas e solo, maior eficiência no uso da água e tolerante à seca. Além disso, o cultivo do sorgo é considerado menos oneroso, quando comparado ao milho, devido apresentar menor exigência nutricional e tecnológico, justamente por ser comumente plantada como uma cultura substituta (BORÉM *et al.*, 2014). Entre os demais tipos de sorgo, o granífero é o que tem maior expressão econômica e está entre os cinco cereais mais cultivados do mundo.

Através de avanços em programas de melhoramento genético, em meados da década de 40, foi possível desenvolver e lançar no mercado uma variedade de sorgo destinada a produção de grãos, com porte baixo e insensível ao fotoperíodo, conhecida como sorgo granífero, que contribuiu para que o cultivo da cultura fosse expandido para diversas regiões dos EUA. Em meados da década de 60 com a viabilização dos híbridos, a cultura rompeu a fronteira dos EUA, tornando-se popular em outros países.

Morfológicamente, o sorgo granífero é caracterizado como uma planta de porte pequeno quando comparado com outros tipos de sorgo, característica que facilita a colheita mecanizada (Figura 5 A) (PRAKASHAM *et al.*, 2015). Trata-se de uma planta ereta, com sistema radicular ramificado e profundo, que lhe confere maior resistência à déficit hídrico. Produz uma panícula (cacho) compacta de grãos, que representa o produto de maior interesse econômico (Figura 5 B). Os grãos são relativamente grandes e de cores variadas. Os colmos são suculentos, não doces ou ligeiramente doces, raramente secos (BORÉM *et al.*, 2014).

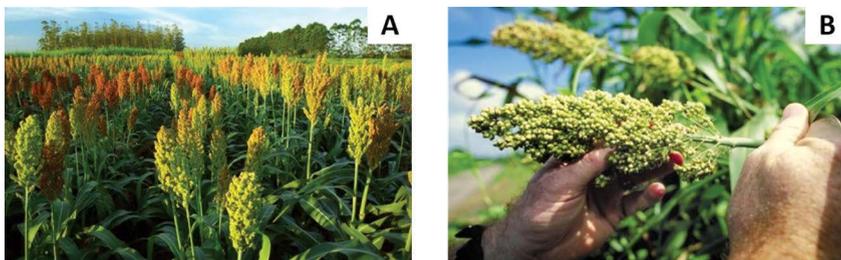


Figura 5 - Sorgho granífero em cultivo comercial no sul de Minas Gerais (5 A). Panícula do sorgo no estágio de maturação fisiológica, com grãos na consistência pastosa (5 B). Foto: Leonardo D. Pimentel.

O principal uso do sorgo granífero consiste na alimentação animal, em substituição parcial ou total ao milho, principalmente durante a entressafra, com uma vantagem comparativa de menor custo de produção e valor de comercialização de 80% do preço do milho. Entretanto, quando destinado a produção de etanol, o sorgo granífero é cultivado principalmente para obtenção do amido, um componente primário do grão, assim como o milho, que também serve de matéria-prima para produção de etanol (MURRAY *et al.*, 2008). Dessa forma, quando se aumenta o rendimento de grãos, aumenta também o rendimento do etanol, devido ao aumento de amido por unidade de área.

Em comparação com os demais morfotipos de sorgo, o granífero permite um plantio mais adensado, com populações finais que variam de 160.000 a 240.000 plantas por hectare, utilizando espaçamentos entre linhas de 0,45m e 0,60 m, dependendo da época do ano e sistema de cultivo (BORÉM *et al.*, 2014). Devido às características da planta de sorgo de tolerância a seca e de maior eficiência na utilização de água para completar seu ciclo, quando comparada à planta de milho, as datas limites para seu plantio são superiores às do milho, fazendo com que o sorgo seja uma melhor opção para o plantio tardios em condição de segunda safra. A partir da maturação fisiológica do grão, a colheita pode ser iniciada, com o grão com alta umidade, em torno de 28%. Entretanto, uma recomendação mais adequada é colher em uma faixa intermediária, entre 18 e 20%, quando o grão está mais maleável, evitando quebra e com menores perdas.

4.2 – Composição

Amido e proteínas são os principais componentes do grão do sorgo, na maioria das cultivares lançadas no mercado (JONES; BECKWITH, 1970; RAMÍREZ *et al.*, 2016) (Tabela 5), entretanto, existe variações quanto ao teor de amido em diferentes genótipos de sorgo granífero, que pode variar entre 64 e 74% do peso seco dos grãos. Além disso, nem todos os amidos de diferentes variedades de sorgo contribuem igualmente para a produção de etanol (WANG *et al.*, 2008).

Tabela 5 - Composição dos grãos do sorgo em % do peso total (massa seca)

Componentes	Cultivares		
	OK612	RS626	TE77
Proteína	11,6	11,5	11,7
Amido	75,9	76,3	75,9
Lípídeo	3,3	3,1	3,4
Fibras	1,9	1,8	---
Cinzas	1,3	1,2	---

Fonte: Jones; Beckwith (1970)

Os teores de amido, proteína, lipídios, taninos e teores de amilose são encontrados em maior quantidade nos grãos de sorgo em comparação com o do milho. O conteúdo lipídico da maioria das variedades de sorgo também são maiores do que do milho. Os amidos dos grãos de sorgo podem ainda, apresentar menor quantidade de amilose do que o amido de milho (AL *et al.*, 2011). Sabendo que, a relação amilose / amilopectina afeta a hidrólise do amido, a resistência a hidrólise é maior quando se tem maior teor de amilose (WU *et al.*, 2006).

Os grãos de sorgo apresentam alto teor de tanino, que tem capacidade de interação com proteínas, incluindo enzimas amilolíticas, via pontes de hidrogênio acopladas a hidrofóbicas interações. Esta associação de taninos com proteínas é reconhecida como tendo efeitos adversos na taxa de conversão do etanol (WANG *et al.*, 2008; RAMÍREZ *et al.*, 2016). Entretanto, interações de tanino de sorgo com proteínas pode ser evitado por etapas de pré-processamento de grãos, como tratamento químico. De qualquer forma, a maioria das cultivares comerciais de sorgo granífero disponíveis no mercado brasileira tem baixa concentração ou são isentas de tanino no grão.

4.3 - Produção de bioenergia

O sorgo granífero na maioria das vezes é utilizado para alimentação animal, mas também, é usado como fonte de amido para a produção de etanol, onde os grãos inteiros são moídos, molhados e depois cozidos para gelatinizar o amido. O amido é então decomposto enzimaticamente em açúcares, que são subsequentemente convertidos em etanol por levedura. Materiais não-amiláceos, como lipídios, proteínas, celulose e outros constituintes secundários da amêndoa, que compõem o grão seco, também são aproveitados como ração animal após o processo de produção do etanol.

A produção de etanol por fonte amilácea a partir dos grãos do sorgo, se assemelha muito a do milho, tecnologia esta, que já se encontra bem estabelecida nas refinarias norte americanas.

Pesquisas recentes tem demonstrado que o grão do sorgo também é uma matéria-prima viável para a produção do etanol, devido sua capacidade de adaptação à infraestrutura das refinarias de milho, associado à viabilidade econômica. Além disso, o rendimento do etanol de sorgo granífero é semelhante ao rendimento do etanol de milho (WANG *et al.*, 2008).

No Brasil, apesar de predominar a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, nos últimos anos iniciaram experiências bem sucedidas de usinas *Flex* (cana e milho). Mais recentemente, grandes empreendimentos de usinas focadas na produção exclusiva de etanol a partir de fonte amilácea (milho e sorgo) vem sendo implantados principalmente no estado do Mato Grosso. Isso porque, a grande oferta de matéria prima (milho e sorgo) associados aos custos elevados logísticos para exportação criam uma situação favorável para compra de matéria prima com preços competitivos.

Além do etanol obtido a partir da fonte amilácea, é produzido também a ração animal de alto valor agregado como coproduto do processo. O WDG (*Wet Distillers Grains* – grãos úmidos de destilaria) e o DDG (*Dried Distillers Grains* - grão seco de destilaria) são coprodutos resultantes da fermentação dos grãos, que passam a ser utilizados na nutrição do gado de corte e leiteiro. Ambos WDG e DDG, são fontes de fibra, proteína bruta, baixo conteúdo de amido e alta concentração de gordura, que torna-os ricos em energia e de fácil digestão para o animal (KLEINSCHMIT *et al.*, 2006).

O WDG apresenta alto teor de umidade (cerca de 70%), que inviabiliza seu uso em confinamentos que estão muito longe das usinas de etanol, além de necessitar de maiores cuidados de armazenamento.

Por outro lado, o DDG (versão seca do coproduto - 10-12% de umidade), tem vida útil longa, assim como os alimentos concentrados comumente utilizados, como milho e farelo de soja.

O processo de produção do DDG consiste da moagem do grão, que segue para a fermentação e destilação, resultando na vinhaça completa. Esta é separada por centrifugação em sólidos grosseiros e vinhaça fina. Os sólidos grosseiros passam por secagem, sendo transformados diretamente em DDG. Diversos estudos têm demonstrado a eficácia da utilização desses coprodutos em substituição ao farelo de soja sem efeitos negativos na alimentação animal. Além disso, os preços de compra, ou incorporados na produção do WDG e DDG são bem mais atrativos em comparação com outras rações tradicionais. Assim, o uso do grão de sorgo para produção de etanol ganha um reforço extra, através do uso dos excedentes para outros fins, agregando mais valor e rentabilidade para a cadeia produtiva do sorgo.

5 – Considerações Finais

O sorgo biomassa e o sorgo sacarino são culturas bastante promissoras para compor os sistemas agroindustriais para produção de energia, especialmente se forem implementados em complemento à produção de cana-de-açúcar, reduzindo a ociosidade industrial na entressafra da cana.

As principais vantagens dos sorgos seriam: elevada produtividade de biomassa por unidade de área; possibilidade de uso da rebrota; propagação seminífera. Como desvantagens, o principal fator limitante seria a sazonalidade de produção quando se cultiva o sorgo como cultura anual (150 dias/ciclo). Assim, mesmo produzindo duas safras/ano, tem-se colheita concentrada em determinadas épocas do ano, o que é ruim para os empreendimentos agroindustriais devido a oferta sazonal de matéria-prima na indústria. Porém, se o sorgo for implementado em sinergia com a cana-de-açúcar pode-se aumentar a oferta de energia do setor de forma complementar e não competitiva.

Se considerar sorgo granífero para produção de etanol amiláceo, abre-se uma nova oportunidade para regiões produtoras de grãos no interior do Brasil, que tem sérios problemas logísticos, os quais culminam com perda de competitividade. Neste sentido, a possibilidade de processar os grãos nas regiões produtoras gerando etanol e proteína vegetal (ração animal) agrega valor à cadeia produtiva de grãos, reduz a pressão por armazenamento e logística de transporte, permitindo regulação de preços e maior rentabilidade aos produtores brasileiros. Ainda comparando o sorgo com o milho (principais fontes de etanol amiláceo) tem-se a vantagem de compra do sorgo com valor em média 20% abaixo do preço do milho, resultando em menor custo do etanol produzido.

Referências

ALMEIDA, L. G. F. de. **Etanol de segunda geração utilizando sorgo biomassa de nervura marrom “brown midrib” BRM (*Sorghum bicolor*)**. 2019. 115 f. Tese de Doutorado - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.

ALMEIDA, Luciana Gomes Fonseca de; PARRELLA, Rafael Augusto da Costa; SIMEONE, Maria Lúcia Ferreira; RIBEIRO, Pedro César de Oliveira; SANTOS, Alexandre Soares dos; COSTA, Alexandre Sylvio Vieira da; GUIMARÃES, Amanda Gonçalves; SCHAFFERT, Robert Eugene . Composition and growth of sorghum biomass genotypes for ethanol production. **Biomass & Bioenergy**, v. 122, p. 343-348, 2019.

AL, Y. et al. Starch characterization and ethanol production of sorghum. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 7385-7392, 2011.

APPELS, L. et al. Anaerobic digestion in global bio-energy production: potential and research challenges. **Renew Sustain Energy Review**, v.15, p. 4295-4301, 2011.

BATISTA, V. A. P. et al. Agronomic and energetic potential of sorghum evaluated in two consecutive crops. **Journal of Experimental Agriculture International**. v. 22, n. 6, p. 1-9, 2018.

BILLA, E. et al. Structure and composition of sweet sorghum stalk components. **Industrial Crop and Products**, v. 6, p. 297-302. 1997.

BORÉM, A.; PIMENTEL, L.; PARRELLA, R. A. da C. **Sorgo do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2014.

CAPECCHI, L. et al. Crop factors influencing ethanol production from sorghum juice and bagasse. **Energies**, v. 10, p. 1-15, 2017.

CASTRO, F. M. R. **Potencial agrônômico e energético de híbridos de sorgo biomassa**. 2014. 80 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2014.

DAR, R. A. et al. Sweet sorghum-a promising alternative feedstock for biofuel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 4070-4090, 2018.

DURÃES, F. O. M.; MAY, A.; PARRELLA, R. A. da C. **Sistema agroindustrial do sorgo sacarino no Brasil e a participação público-privada: oportunidades, perspectivas e desafios**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012.

FERREIRA, O. E. **Produção de etanol a partir de sorgo sacarino com tratamento enzimático**. 2015. 98 f. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2015.

ISIKGOR, F. H.; BECER, C. R. Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers. **Polymer Chemistry**, v. 6, p. 4497-4559, 2015.

JONES, R. W.; BECKWITH, A. C. Proximate composition and proteins of threegrain sorghum hybrids and their drymill fractions. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 18, p.33-36, 1970.

JORDAN, D. B.; BOWMAN, M. J.; BRAKER, J. D.; DIEN, B. S.; HECTOR, R. E.; LEE, C. C.; MERTENS, J. A.; WAGSCHAL, K. Plant cell walls to ethanol. **Biochem J.**, v. 442, n. 2, p.241-252, 2012.

KARLEN, D. L. **Cellulosic energy cropping systems**. USDA, Agricultural Research Service, National Laboratory for Agriculture and the Environment. USA, 2014.

KIM, M.; DAY, D. F. Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 38, p. 803-807, 2011.

KLEINSCHMIT, D. H. et al. Evaluation of various sources of corn dried distillers grains plus solubles for lactating dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 12, p. 4784 – 4794, 2006.

ZHANG, Li-Min; LENG, Chuan-Yuan; LUO, Hong; WU, Xiao-Yuan; LIU, Zhi-Quan; ZHANG, Yu-Miao; ZHANG, Hong; XIA, Yan; SHANG, Li; LIU, Chun-Ming; HAO, Dong-Yun; ZHOU, Yi-Hua; CHU, Cheng-Cai; CAI, Hong-Wei; JING, Hai-Chun. Sweet Sorghum Originated through Selection of Dry, a Plant-Specific NAC Transcription Factor Gene. **The Plant Cell**, v. 30, p. 2286–2307, oct. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.18.00313>

MARAFON, A. C. et al. Capim-elefante como matéria-prima para a produção de energia térmica. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOMASSA, **Anais...** Curitiba, 2018.

MATHUR, S. et al. Sweet sorghum as biofuel feedstock: recent advances and available resources. **Biotechnology for Biofuels**, v. 146, n. 10, p. 1-19, 2017.

MAY, A.; DA SILVA, D. D.; SANTOS, F. C. dos. **Cultivo do sorgo biomassa para a cogeração de energia elétrica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2013. 65p. (Documentos 152).

MEKI, M. N. et al. Performance evaluation of biomass sorghum in Hawaii and Texas. **Industrial Crops & Products**, v. 103, p. 257-266, 2017.

MURRAY, S. et al. Genetic improvement of sorghum as a biofuel feedstock: I. QTL for stem sugar and grain nonstructural carbohydrates. **Crop Science**, v. 48, n. 6, p. 2165–2179, 2008.

NEUMANN, M. et al. Avaliação do valor nutritivo da planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n.1, p. 293-301, 2002.

PIMENTEL, L. D. et al. Chemical and bioenergetics characterization of sorghum agronomic groups. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 4, p. 424-431, 2017.

PRAKASHAM, R. S. et al. Sorghum biomass: a novel renewable carbon source for industrial bioproducts. **Biofuel**, v. 5, n. 2, p. 159-174, 2015.

PROTASIO, T. P. et al. Relação entre poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 31, n. 66, p. 113 – 122, 2011.

RAMÍREZ, M. B. et al. Fuel ethanol production from commercial grain sorghum cultivars with different tannin content. **Journal of Cereal Science**, v. 69, p. 125-131, 2016.

RIBAS, Paulo Motta. **Importância econômica: cultivo do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream>. Acesso em: 13 set. 2020.

ROCATELI, A. C. et al. Biomass sorghum production and components under different irrigation/tillage systems for the southeastern U.S. **Industrial Crops & Products**, v. 36, p. 589-598, 2012.

RODRIGUES, J. A. S. **Sistema de produção do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. *Sistemas de Produção*. v. 2, 2010.

ROONEY, W. L.; AYDIN, S. Genetic control of a photoperiod-sensitive response in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Crop Science**, v. 39, n. 2, p. 397- 400, 1999.

SABALLOS, A.; VERMERRIS, W.; RIVERA, L.; EJETA, G. Allelic association, chemical characterization and saccharification properties of brown midrib mutants of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Bioenergy Research**. v.1, p.193-204, 2008.

SANTOS, F. G.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. Melhoramento de sorgo. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005.

SATTLER, S. E.; SAATHOFF, A.J.; HAAS, E. J.; PALMER, N. A.; FUNNELL-HARRIS, D. L.; SARATH, G. et al. A nonsense mutation in a cinnamyl alcohol dehydrogenase gene is responsible for the sorghum brown midrib 6 phenotype. **Plant Physiol.**, v. 150, n. 2, p.584–595, 2009.

SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. da C. Planejamento Industrial. In: MAY, A.; DURAES, F. O. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. da C. (Ed.). **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G Tecnologia Qualidade Embrapa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 118 p. (Documentos, 139).

SILVA, A. F. et al. **Influência do espaçamento entrelinhas e da população de plantas no desempenho produtivo de sorgo sacarino no meio norte do Mato Grosso**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2016. 16 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 134).

TANG, C. et al. Bioethanol potential of energy sorghum grown on marginal and arable lands. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. 440, p. 1-11, 2018.

TEIXEIRA, T. P. M. et al. Redefinition of sweet sorghum harvest time: new approach for sampling and decision-making in field. **Industrial Crops & Products**, v. 109, p. 579-586, 2017.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas.** 2012. 72 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

WANG, D. et al. Grain sorghum is a viable feedstock for ethanol production. **Journal Industrial Microbiology Biotechnology**, v. 35, p. 313-320, 2008.

WU, X. et al. Effects of amylose, corn protein, and corn fiber contents on production of ethanol from starch-rich media. **Cereal Chem.**, v. 83, n. 5, p. 569-575, 2006.

ZHANG, Li-Min; LENG, Chuan-Yuan; LUO, Hong; WU, Xiao-Yuan; LIU, Zhi-Quan; ZHANG, Yu-Miao; ZHANG, Hong; XIA, Yan; SHANG, Li; LIU, Chun-Ming; HAO, Dong-Yun; ZHOU, Yi-Hua; CHU, Cheng-Cai; CAI, Hong-Wei; JING, Hai-Chun. Sweet Sorghum Originated through Selection of *Dry*, a Plant-Specific NAC Transcription Factor Gene. **The Plant Cell**, v. 30, p. 2286–2307, oct. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.18.00313>

Eliana Kelly Pareja¹, Stefano Merlin², Divaldo José da Costa Rezende³,
Heloisa Garcia da Mota⁴

¹Engenheira Agrônoma, Dra. em Biologia e Ecologia das Alterações Globais, Consultora Independente; ²Economista, Diretor da SOCIALCARBON Company; ³Engenheiro Agrônomo, MSc. em Políticas Ambientais e Dr. em Biologia e Ecologia das Alterações Globais, Consultor Internacional Independente e Vice-Presidente do Instituto Ecológica; ⁴Engenheira Ambiental, HGM Sustentabilidade.

1 – Introdução

No Brasil e no mundo, o tema desenvolvimento sustentável tem sido abordado em quase todos os workshops, seminários e congressos, no entanto, atitudes e comportamentos em compatibilidade com a conservação do meio ambiente ainda são considerados insatisfatórios. Já é do conhecimento de muitos que não se pode alcançar o crescimento adequado seguindo os mesmos passos da economia e tecnologia que trouxeram o planeta à situação atual. Sendo assim, o conceito de “Consumo Sustentável” vem se tornando popular juntamente com as idéias sobre desenvolvimento sustentável. A nível mundial o interesse pela preservação do meio ambiente decorre da constatação de que os avanços tecnológico e industrial, têm sido associados à degradação ambiental, a pressão dos grandes projetos de monocultivos e a exploração irracional das riquezas da biodiversidade.

Nas últimas décadas o foco principal dos problemas ambientais tem concentrado especialmente nas questões relativas à mudança do clima, causada pelo aquecimento global, sendo que a comunidade científica mundial afirma que as atividades humanas, são as principais responsáveis pelo aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), devido à queima de combustíveis fósseis (dos automóveis, das indústrias, usinas termoelétricas), queimadas, desmatamento, decomposição de lixo, e outros (IPCC, 2007; IPCC, 2013; MMA, 2020).

Em 1992 com a Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), vários países se reuniram na tentativa de alcançar melhores resultados na redução das emissões e em 1997 no terceiro encontro da UNFCCC estabeleceu-se o Protocolo de Kyoto (CHANDER; TULKENS, 2006).

O Protocolo de Kyoto foi o primeiro acordo entre os principais países emissores de GEE a estabelecer metas para reduzir suas emissões em cerca de 5% no período de 2008 a 2012, com penalização caso não cumpridas as exigências (MADOKORO, 2014). Contudo o Protocolo de Kyoto só entrou em vigor, a partir de 2005, durante a 11ª Conferência das Partes (COP 11), em Montreal, no Canadá.

Para o cumprimento das cotas de emissão de GEE, os países do Anexo I, ou seja, os maiores emissores de GEE, poderiam comprar as Certificações das Reduções de Emissões (CRE) ou Certified Emissions Reduction (CERs), as quais só poderiam ser originados a partir de projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo - MDL, desenvolvidos em países do não Anexo I. Diante do exposto, os países do Anexo I poderiam instalar projetos em outros países de forma que esses projetos modifiquem as emissões de GEE na atmosfera (MADOKORO, 2014).

Já o Acordo de Paris, realizado em 2015 durante a 21ª Conferência das Partes (COP 21), foi o mais recente tratado internacional que ocorreu, sendo aprovado pelos 195 países participantes que se comprometeram em reduzir emissões de gases de efeito estufa.

Com intuito de buscar as reduções de emissões, o Projeto Sequestro de Carbono da Ilha do Bananal, no Estado do Tocantins, foi um dos primeiros projetos desta modalidade implementado no Brasil no final da década de 90, proporcionando uma contribuição para o mercado de carbono mundial. O projeto possibilitou a criação de uma metodologia ou ferramenta capaz de monitorar os recursos de sustentabilidade no longo e médio prazo.

Durante a implementação do projeto foi criado o conceito de Carbono Social, o qual surgiu da necessidade de garantir que os projetos de redução e mitigação de emissões dos gases causadores do efeito estufa, pudessem realmente inserir não só as questões de desenvolvimento sustentável, como também garantir um meio transparente de se medir e dimensionar os ganhos sociais e a sustentabilidade das comunidades envolvidas nos projetos, bem como assegurar uma valorização dos serviços ambientais prestados pela comunidade. Isso porque, o envolvimento da comunidade através da participação e dos benefícios é a única garantia de sucesso de um projeto de longo prazo.

O conceito Carbono Social refere-se ao carbono absorvido/reduzido através de ações que viabilizem e melhorem as condições de vida das comunidades envolvidas nos projetos de redução de emissões/mudanças climáticas, visando a salvaguarda do bem-estar e da cidadania, sem degradar a base de recursos (REZENDE; MERLIN, 2003).

A abordagem do Carbono Social, vem sendo usada nos últimos anos para o monitoramento e avaliação de uma série de projetos sócioambientais desenvolvidos pelo Instituto Ecológica.

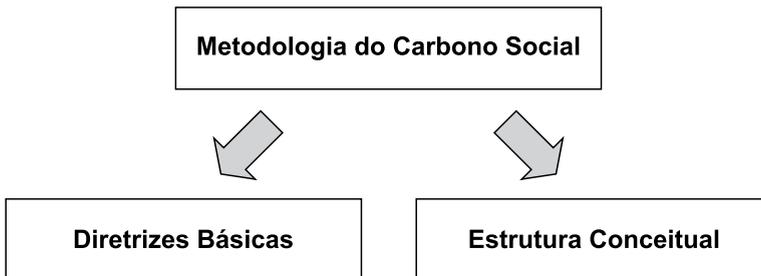
Empreendida como uma ferramenta de desenvolvimento sustentável, a Metodologia do Carbono Social, vem proporcionando experiências e resultados muito positivos, quando aplicada em comunidades que dependem do uso dos recursos naturais para sua sobrevivência conseguindo de alguma forma disseminar o conhecimento adquirido.

Diante do exposto, o Carbono Social passou a ser um standard do mercado voluntário de carbono reconhecido pela capacidade de agregar benefícios sociais e ao mesmo tempo monitorar e avaliar os recursos necessários para um meio de vida sustentável, com uma perspectiva de ser implementado em diferentes regiões do planeta.

2 – Metodologia do Carbono Social

A Metodologia do Carbono Social – MCS, surgiu da necessidade de aprimorar os conhecimentos sobre os projetos de redução de emissões de carbono, o conceito de sustentabilidade e quantificar o envolvimento social nestes tipos de projetos. Foi idealizado portanto, a partir da exigência de se ter uma ferramenta capaz de monitorar ganhos qualitativos e quantitativos do Projeto de Sequestro de Carbono do Entorno da Ilha do Bananal localizado no Estado do Tocantins, e que tivesse a capacidade de avaliar os benefícios intangíveis e tangíveis.

Ao mesmo tempo, desejava-se também que esta metodologia pudesse inserir estes benefícios a partir de diretrizes básicas e que oferecesse uma direção estratégica com foco na melhoria dos recursos necessários para se obter um meio de vida sustentável. Além disso, deveria ter uma estrutura conceitual que pudesse inserir os projetos/atividades dentro da realidade local e com foco no desenvolvimento sustentável.



2.1 – Diretrizes básicas

As diretrizes básicas Metodologia do Carbono Social abaixo relacionadas, servem para orientar as ações das comunidades e suas iniciativas.

1. É centrada nas comunidades;
2. Valoriza o potencial e os recursos das pessoas;
3. É participativa, holística, dinâmica e flexível;
4. É voltada para as relações locais e globais;
5. É voltada para a análise do potencial de biodiversidade e ecossistemas;
6. É voltada para a solução de problemas e a busca da sustentabilidade;
7. Busca a inclusão social e reconhece questões de gênero e outras formas de diferença social;
8. Reconhece as relações de poder e o contexto político.

2.2 - Estrutura conceitual da metodologia

A estrutura conceitual da metodologia MCS possibilita gerar o cenário da situação a ser trabalhada, agregando diversos elementos como: perspectivas, recursos, estratégias, fatores de ameaça, oportunidades, organizações política e relações sociais.

Um sistema de trabalho para investigar o grau de sustentabilidade de um meio de vida, foi desenvolvido por Scoones (1998), podendo esse sistema de trabalho ser aplicado em diferentes escalas, ao nível individual, familiar, de comunidade, de cidade, de região e até de país. De acordo com o mesmo autor, a habilidade de possuir diferentes meios de vida depende dos bens materiais e sociais que as pessoas possuem. Sendo assim, foi definido pelo autor, quatro diferentes tipologias de bens, os quais foram definidos como "recursos", sendo eles: o capital natural, o econômico ou financeiro, o humano e o social.

O conceito de Carbono Social considerou os quatro recursos definidos por Scoones (1998), incorporando mais dois novos recursos que são: a biodiversidade e o carbono.

Sendo assim, o conceito de Carbono Social considera seis recursos de sustentabilidade, conforme destacado a seguir.

Recursos da Metodologia do Carbono Social – MCS

Recurso Social: são os recursos (rede de trabalho, ações de responsabilidade social, reivindicações sociais, relações sociais, relacionamentos de confiança, associação em organizações sociais, políticas públicas), que as pessoas procuram em busca de um meio de vida alternativo.

Recurso Humano: é a habilidade, conhecimento e capacidade para o trabalho que as pessoas possuem, além de boa saúde

Recurso Financeiro: capital básico (dinheiro, crédito/débito, poupança e outros bens econômicos), disponível às pessoas para realização das ações de responsabilidade socioambiental, e que as supre com diferentes opções de meio de vida.

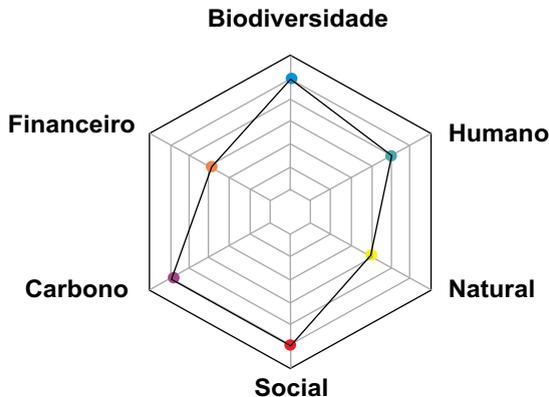
Recurso Natural: é a relação entre o empreendimento e o estoque de recursos naturais (solo, água, ar, recursos genéticos) e serviços ambientais (proteção de solos, manutenção de ciclos hidrológicos, absorção da poluição, controle de pragas, polinização, entre outros), de onde derivam os recursos para gerar um meio de vida.

Recurso Biodiversidade: representa o conjunto das espécies, ecossistemas e genes que formam a diversidade biológica existente em qualquer região. São aspectos relevantes nesta componente, a integridade das comunidades naturais, o tipo de uso e interação das comunidades humanas com a biodiversidade, o estado de conservação, as pressões e ameaçadas impostas às espécies nativas e a existência de áreas prioritárias para a conservação.

Recurso Carbono: refere-se ao tipo de manejo de carbono desenvolvido, podendo ser sequestro, substituição e conservação, ou seja, manejo dos recursos naturais, ações sustentáveis, diminuição do desmatamento, redução de emissões de carbono.

Fonte: Rezende; Merlin (2003); SOCIALCARBON (2013)

Para a conceitualização da Metodologia do Carbono Social (MCS), foi criada uma representação visual em forma de hexágono, contendo informações sobre os bens que as pessoas possuem (Figura 1).

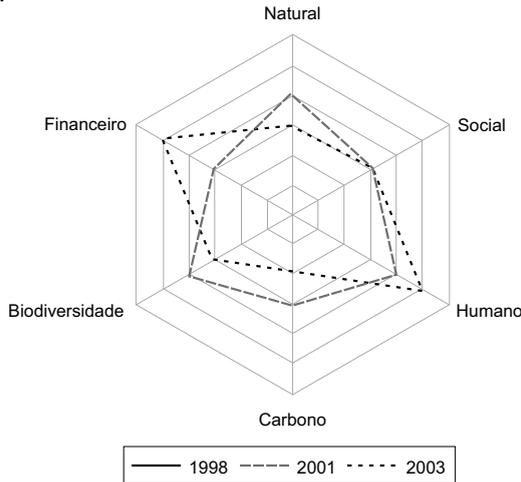


Fonte: Rezende (2009)

Figura 1 - Hexágono do Carbono Social, mostrando os seis diferentes recursos e a forma de visualização a partir da isolinha dos indicadores conectando a cada recurso

A garantia de um meio de vida sustentável pode ser medida, por exemplo, pela melhoria na qualidade de vida, na renda mensal, redução de riscos e vulnerabilidades, melhoria na segurança alimentar e melhor uso sustentável dos recursos naturais. Porém, esses resultados podem sofrer interferências diversas como, por exemplo, o desejo das pessoas terem uma grande quantidade de recursos financeiros, o que acaba impedindo que outras tenham um mínimo de recursos, podendo esta aspiração muitas vezes também levar a um uso insustentável dos recursos naturais. A interação com a biodiversidade e o tipo de manejo de carbono utilizado pode influenciar sensivelmente na dinâmica do conceito (REZENDE; MERLIN, 2009).

Conforme pode ser observado na Figura 2, o centro do hexágono representa zero acesso aos recursos e cada um dos vértices do hexágono representa o acesso máximo aos mesmos, em uma escala que varia de 0 a 6. Este modelo representativo pode identificar a realidade da comunidade em estudo, possibilitando uma melhor análise do acesso aos recursos necessários para sua sobrevivência (REZENDE; MERLIN, 2003).



Fonte: Rezende; Merlin (2003)

Figura 2 – Hexágono, mostrando um exemplo da representação dos recursos (escala de 0 a 6) baseados na Metodologia do Carbono Social

Para a construção do hexágono é necessário a coleta de dados de instituições e de campo, por meio do uso de metodologias participativas junto às comunidades rurais ou empresa e posteriormente realiza-se a sistematização destas informações. Nessa fase além de relatar as vivências e as observações de campo, busca-se elaborar o quadro de recursos disponíveis e serviços.

Para identificar o grau de uso dos recursos, a MCS utiliza indicadores de sustentabilidade que saem da situação mais crítica ou insustentável para a situação mais favorável do uso dos recursos. O número de indicadores pode variar de acordo com a necessidade e conforme o desejo daqueles que aplicam a análise, entretanto, a MCS adota 6 indicadores por variável.

Um dos desafios da concepção da MCS e da aplicação foi a valoração dos recursos para a montagem dos índices a serem usados no hexágono esquemático. Para facilitar a construção dessa relação de valores, foi estipulado um índice de 1 a 6, representando o “1” o mais precário da disponibilidade e/ou acesso aos recursos e o “6” o máximo acesso. O índice foi desenhado considerando os diversos aspectos dos recursos analisados de forma holística (biodiversidade, carbono, humano, social, financeiro e natural), com base em discussões com a equipe de campo, e levando em conta a realidade percebida pela comunidade envolvida (REZENDE; MERLIN, 2003).

Podem ser verificados os critérios adotados para a escala do hexágono da MCS nos quadros de 1 a 12, de acordo com cada tipo de recurso, utilizados na avaliação dos benefícios sociais do Projeto de Sequestro de Carbono da Ilha do Bananal, executado pelo Instituto Ecológica (IE), conforme indicado por Rezende; Merlin (2003).

2.3 - Indicadores por modalidade de recurso utilizados pelo Projeto de Sequestro de Carbono da Ilha do Bananal, no Estado do Tocantins

1. Recurso de Biodiversidade

Quadro 1 - Indicadores do Recurso Biodiversidade

1	2	3	4	5	6
Comunidades naturais totalmente descaracterizadas com o predomínio de espécies exóticas.	Comunidades naturais muito descaracterizadas, com o predomínio de espécies comuns e pouco relevantes para a conservação.	Comunidades naturais razoavelmente conservadas, mas com visíveis sinais de perturbação (ausência de elementos indicadores).	Comunidades naturais em bom estado de conservação nas áreas destinadas à proteção.	Comunidades naturais pouco perturbadas e bem diversificadas nas áreas destinadas à proteção.	Bem conservadas ou quase intactas nas áreas destinadas à proteção.
Biodiversidade não está disponível ou não é utilizada pela população local.	Biodiversidade é utilizada em muito baixa proporção pela população local.	Biodiversidade local é razoavelmente utilizada pela população local.	Biodiversidade local é significativamente utilizada, representando uma expressiva parcela das necessidades alimentares e medicinais da população local.	Biodiversidade bastante utilizada pela população local, que apresenta uma grande dependência das espécies nativas.	Biodiversidade é amplamente utilizada pela população local, que depende intrinsecamente das espécies nativas.
Total ausência de espécies de importância para a conservação.	Espécies de interesse para a conservação com rara ocorrência ou com acentuado declínio populacional.	Espécies de interesse para a conservação com ocorrência esporádica e moderado declínio populacional.	Ocorrência de um baixo número de espécies de interesse para a conservação e baixo declínio populacional.	Ocorrência de um número razoável de espécies de interesse para a conservação cujas populações tendem à estabilização.	Ocorrência de várias espécies de interesse para a conservação, cujas populações estão estáveis ou aumentando

Quadro 2 - Monitoramento dos indicadores do Recurso Biodiversidade

Item	Método de Avaliação	Responsabilidade	Periodicidade
Comunidades naturais	Inventários em campo	Equipe multidisciplinar	Semestral
Uso da biodiversidade	Entrevistas com moradores locais	Qualquer profissional	Semestral
Espécies relevantes para conservação	Entrevistas com moradores e inventários em campo	Equipe multidisciplinar	Anual

2. Recurso Natural

Quadro 3 – Indicadores do Recurso Natural

1	2	3	4	5	6
Ecossistemas nativos totalmente ausentes na região.	Ecossistemas nativos que cobrem uma superfície de até 1% da região e com elevado grau de fragmentação.	Ecossistemas nativos que cobrem uma superfície entre 1% a 5% e com grande grau de fragmentação.	Ecossistemas nativos que cobrem uma superfície entre 5% a 20% da região com baixo nível de conexão.	Ecossistemas nativos que cobrem uma superfície entre 20% a 50% da região e bem conectados.	Ecossistemas nativos que cobrem uma superfície superior a 50% da região totalmente conectados.
Ecossistemas nativos sem nenhuma proteção específica.	Ecossistemas nativos com proteção irrisória ou pouco expressiva.	Ecossistemas nativos com pequena proteção legal específica.	Ecossistemas nativos com razoável proteção legal específica.	Ecossistemas nativos protegidos com nível mínimo previsto na legislação.	Ecossistemas nativos protegidos acima do exigido pela legislação.
Atividades socioeconômicas desenvolvidas com alto grau de impacto sobre as áreas nativas.	Atividades socioeconômicas desenvolvidas com expressivo grau de impacto sobre as áreas nativas.	Atividades socioeconômicas desenvolvidas com moderado impacto sobre as áreas nativas.	Atividades socioeconômicas desenvolvidas com baixo impacto sobre as áreas nativas.	Atividades socioeconômicas desenvolvidas com mínimo impacto sobre as áreas nativas.	Atividades socioeconômicas desenvolvidas de modo sustentável.
Recursos hídricos indisponíveis para utilização pelas comunidades locais.	Recursos hídricos disponíveis a um custo muito elevado para as comunidades locais.	Recursos hídricos disponíveis, mas com custo moderado para as comunidades locais.	Recursos hídricos disponíveis a um baixo custo pelas comunidades, mas seu uso ocorre de maneira não sustentável.	Recursos hídricos de boa qualidade e de baixo custo, mas o uso requer um certo controle ou adequação da demanda.	Recursos hídricos de boa qualidade, baixo custo e utilizados de forma sustentável pelas comunidades locais.

Quadro 4 – Monitoramento dos indicadores do Recurso Natural

Item	Método de Avaliação	Responsabilidade	Periodicidade
Cobertura Vegetal	Uso de imagens de satélite	Especialista em geoprocessamento	Anual
Proteção legal	Levantamento nos órgãos públicos federais, estaduais e municipais	Qualquer profissional	Semestral
Impacto de atividades	Coleta de parâmetros sobre estrutura da vegetação e composição de espécies nas áreas afetadas	Equipe multidisciplinar	Semestral
Recursos hídricos	Coleta de parâmetros físico-químicos dos mananciais	Equipe multidisciplinar	Semestral

3. Recurso Social

Quadro 5 – Indicadores do Recurso Social

1	2	3	4	5	6
Não-existência de associação formal.	Existência de associação formal, desestruturada e com conflitos internos.	Existência de associação formal, comandada por dirigentes interessados no fortalecimento do grupo.	Existência de associação formal, comandada por líderes e não apenas dirigentes.	Existência de associação formal, comandada por líderes interessados e relativamente experientes.	Existência de associação formal, com internalização do espírito comunitário e comandada por líderes preparados e experientes.
Conflitos internos difíceis de resolver.		Conflitos internos de pequena monta.	Conflitos internos passíveis de resolução.	Poucos conflitos internos.	Nenhum conflito interno ou conflitos dentro do limite tolerável pelo grupo.
Máxima vulnerabilidade a interferências externas.	Grupo bastante vulnerável a interferências externas, especialmente de políticos locais.	Média vulnerabilidade a interferências externas.	Interesse pelo coletivo.	Pouca vulnerabilidade a interferências externas.	Mínima vulnerabilidade a interferências externas.
A relação é individualista ou melhor, cada um por si.			Interesse pelo coletivo.	Espírito associativista presente.	Espírito de comunidade presente.
Relações familiares desestruturadas.			Ligações familiares existentes	Relações familiares e de parentesco existentes.	Relações familiares e de parentesco fortalecidas.

Quadro 6 – Monitoramento dos indicadores do Recurso Social

Item	Método de Avaliação	Responsabilidade	Periodicidade
Relações sociais	Participativo e entrevistas	Técnico social	Anual
Existência de associações	Participativo, entrevistas semi-estruturadas	Técnico social	Anual

4. Recurso Humano

Quadro 7- Indicadores do Recurso Humano

1	2	3	4	5	6
Alto índice de analfabetismo.	Analfabetismo entre os mais velhos.	Poucos analfabetos.	Mínima quantidade de analfabetos.	Quase nenhum analfabeto.	Nenhum analfabeto.

A maior parte das pessoas teve dois a três anos de estudo.	Jovens com quatro anos de escola.	Jovens com seis anos de escola ou mais.	Jovens com acesso à escola e com mais de seis anos de estudo.	Jovens com acesso à escola e muitos com primeiro grau completo, porém sem interesse em continuar os estudos.	Jovens com primeiro grau completo e alguns cursando o segundo grau.
Alto índice de doenças, especialmente tropicais, e quase nenhum acesso a hospitais e médicos.	Incidência de doenças em crianças e velhos.	Incidência de doenças, com grau médio de dificuldade de acesso a médicos e hospitais.	Poucas doenças e alguma dificuldade de acesso a médicos e hospitais.	Poucas doenças e acesso a agentes de saúde, médicos e hospitais.	Quase nenhum tipo de doença. Facilidade de acesso a hospital e médicos.
Sem acesso à assistência técnica.	Dificuldade de acesso a hospitais e médicos. Pouco acesso à assistência técnica.	Assistência técnica apenas na elaboração de projetos agrícolas, para a obtenção de crédito.	Assistência técnica relativamente presente.	Acesso à assistência técnica.	Acesso à assistência técnica no dia-dia da produção.
Pessoas desestimuladas para o trabalho.	Pessoas pouco estimuladas para o trabalho.	Pessoal com algum estímulo para o trabalho.	Pessoas estimuladas para o trabalho, mas com dificuldade em saber como atuar.	Pessoas estimuladas para o trabalho.	Pessoas bastante estimuladas para o trabalho, sabendo como atuar.
Poucos profissionais preparados.	Poucos profissionais preparados	Alguns profissionais habilitados	Profissionais habilitados, com necessidade de aperfeiçoamento.	Profissionais habilitados.	Diferentes tipos de profissionais e bem habilitados.
Visitas aos familiares como lazer.	Visitas aos familiares como lazer.	Viagens e esporte como lazer.	Passeios e esporte como lazer.	Passeios, festas religiosas, esporte, banhos de rio como lazer.	Campeonatos esportivos, festas religiosas, passeios e banhos de rio como lazer

Quadro 8 – Monitoramento dos indicadores do Recurso Humano

Item	Método de Avaliação	Responsabilidade	Periodicidade
Educação Saúde Assistência técnica Habilidade profissional Oportunidade de lazer	Entrevistas e visitas, reuniões e discussões conjuntas de forma integrada com a comunidade.	Técnico social, conhecedor de realidade local e que conheça as técnicas participativas.	Anual

5. Recurso Carbono

Quadro 9 - Indicadores do Recurso Carbono

1	2	3	4	5	6
Custo de transação do projeto alto.	Custo de transação alto, mas com contrapartidas das comunidades.	Custo de transação inserido em agentes financiadores.	Custo de transação médio.	Custo de transação compartilhado.	Custo de transação compartilhado de forma cooperativa.
Projetos voltados à conservação de carbono não-elegíveis ao CDM.	Projetos não elegíveis, com poucas atividades elegíveis.	Projetos com atividades não-elegíveis (70%) e elegíveis.	Projetos mistos: 50% elegíveis e 50% não-elegíveis.	Projetos com atividades elegíveis (70%) e não-elegíveis.	Projetos com atividades elegíveis ao CDM.
Nenhum envolvimento da comunidade na concepção e desenvolvimento do projeto.	Pouco envolvimento da comunidade.	Participação relativa da comunidade.	Participativa, mas não de forma completa.	Participativa e significativa.	Processo participativo de forma completa.
Pouco retorno social e econômico para a comunidade no projeto.	Baixo retorno social.	Retorno social e econômico adequado nos níveis de participação da comunidade.	Retorno social e econômico satisfatório.	Retorno social evidente e mensurável do ponto de vista social e econômico.	Alto retorno social e econômico.

Quadro 10 – Indicadores do Recurso Carbono

Item	Método de Avaliação	Responsabilidade	Periodicidade
Custo de transação	Análise dos custos em cada fase	Especialista	Início do projeto
Elegibilidade CDM (MDL)	Parâmetros do protocolo e CDM/ Baseline/PDD	Equipe multidisciplinar	Início do projeto
Envolvimento comunitário	Processo participativo	Equipe multidisciplinar	Início do projeto/ anual
Retorno econômico e social	Reuniões semiestruturadas e participativas. Informações sobre renda da comunidade	Equipe multidisciplinar	Anual

6. Recurso Financeiro

Quadro 11 – Indicadores do Recurso Financeiro

1	2	3	4	5	6
Desconhecimento da existência de créditos.	Alguns já conseguiram crédito e estão inadimplentes.	Cientes da existência de créditos, mas sem acesso a eles.	Muitos conseguiram créditos e começam a beneficiar a propriedade.	Maior parte conseguiu crédito e tem planejamento para o pagamento da dívida.	Já tiveram crédito e buscam novos créditos, tendo já pagado quase a totalidade do débito.

Comercialização inexistente de produtos agropecuários.	Produção mínima e comercialização quase inexistente de produtos agropecuários, retirados da alimentação da família.	Produção e comercialização mínima de produtos agropecuários.	O débito existe mas ainda em fase de carência.		Comercialização de produtos agropecuários como fonte geradora de renda.
Sem trabalho	Trabalho de diarista nas fazendas vizinhas.	Trabalho dentro da propriedade e também venda de mão de obra nas fazendas vizinhas.	Trabalho quase exclusivamente dentro da propriedade.	Trabalho dentro da propriedade.	Trabalho para a propriedade.
Comercialização de produtos do extrativismo de forma insustentável.	Utilização de produtos do extrativismo como única fonte de subsistência.	Utilização mínima de produtos do extrativismo como fonte de subsistência.	Utilização adequada dos produtos do extrativismo como fonte de subsistência.	Utilização adequada dos produtos do extrativismo como fonte de subsistência.	Manejo adequado de produtos extrativista como fonte geradora de renda.

Quadro 12 – Monitoramento dos indicadores do Recurso Financeiro

Item	Método de Avaliação	Responsabilidade	Periodicidade
Acesso ao crédito	Entrevistas e visitas às agências financeiras	Técnico social, economista com conhecimento de crédito, mercado	Anual
Comercialização			
Formas de trabalho	Entrevistas em mercados		
Produção animal	Reuniões participativas Levantamento in loco e entrevistas		

3 - Aplicação da Metodologia do Carbono Social

A Metodologia do Carbono Social, inicialmente foi desenhada para avaliar as condições das comunidades envolvidas em projetos florestais, mas posteriormente foi adaptada para projetos envolvendo os mais variados tipos de empreendimentos, mantendo sempre as suas características fundamentais.

A seguir apresenta-se dois exemplos de aplicações da Metodologia do Carbono Social, sendo uma desenvolvida em comunidade e outra em nível empresarial, ambas localizadas na região central do Estado do Tocantins.

Exemplo 1:

Levantamento dos indicadores de sustentabilidade para os artesãos de biojóias do Distrito de Taquaruçu (MCS - Marco zero)

Introdução

A confecção de biojóias pode ser uma forma de geração de renda para as comunidades, pois é um produto diferenciado e muito criativo, além de ter como matéria prima produtos fáceis de serem encontrados na natureza. Por isso é muito importante saber qual semente é mais adequada, como e quando coletá-las corretamente para que seja preservado o ecossistema. As biojóias possuem ainda um mercado aberto, a criatividade aliada à beleza das peças configura o artesanato brasileiro e podem ainda identificar uma cultura ou uma região, como no caso do Tocantins, na utilização de sementes oriundas do Cerrado.

A abordagem utilizando a MCS visa avaliar recursos de sustentabilidade para averiguar de uma forma holística e integrada um sistema ou processo produtivo, sem no entanto, perder o enfoque na diminuição dos efeitos das alterações climáticas. Desta forma é possível planejar alternativas mais sustentáveis, desenvolver estratégias que procurem a contínua melhoria do sistema e acrescentar valor agregado ao sistema ou produto em causa.

Os indicadores e variáveis desenvolvidos foram adequados a um grupo de artesãos de biojóias do distrito de Taquaruçu, município de Palmas no Estado do Tocantins, no âmbito da Metodologia do Carbono Social. O diagnóstico aqui apresentado referem-se a um artesão e é relativo ao ano de 2006.

Metodologia

Inicialmente procedeu-se a um levantamento das matérias-primas, dos insumos e o cadastro do artesão. Durante este processo foi possível acompanhar a produção e averiguar acerca do quotidiano e da realidade humana e social. Seguidamente elaboraram-se os indicadores e respectivas variáveis de forma aberta e participativa, considerando as críticas e opiniões dos próprios artesãos. Posteriormente recorreu-se a questionários internos, a registros e a estatística para desenvolver o diagnóstico dos recursos, social, humano, financeiro, carbono, produção e natural, para definir o marco zero. O diagnóstico consiste em determinar o cenário existente para cada variável.

Síntese dos resultados

a) Recurso Social

O artesão possui registro da atividade, mas não está coberto por Previdência Social. As relações familiares estão fortalecidas e não existe trabalho infantil dentro do núcleo familiar. Existência de uma associação formal, mas desestruturada e com conflitos internos.

b) Recurso Humano

Embora o artesão não tenha qualificação profissional, demonstra grande conhecimento técnico, usufrui das capacitações que ocorrem e está muito estimulado para o trabalho.

c) Recurso Financeiro

Conta com a ajuda de instituições para a participação em eventos e exposições, no entanto a atividade de artesanato que exerce a tempo inteiro é insuficiente para gerar a renda que o artesão ambiciona.

d) Recurso Carbono

O artesão adquiriu consciência ambiental, identificou-se com o projeto Selo do Carbono Social, cumpre as normatizações elaboradas e reconheceu a oportunidade de adquirir valor agregado no seu produto.

e) Recurso Produção

O artesão é eficiente em termos produtivos e no manejo dos insumos, descarta poucas sementes e é independente na produção. Consegue pôr em prática os conhecimentos adquiridos em diversas capacitações.

f) Recurso Natural

A consciência ambiental do artesão leva-o a adotar os procedimentos corretos relativamente à coleta das sementes, embora utilize tintas não biodegradáveis para tingir as peças.

O diagnóstico considerando cada um dos seis recursos utilizados no presente trabalho, o qual refere-se ao marco zero da MCS para o artesão de biojóias, está apresentado na Figura 3.

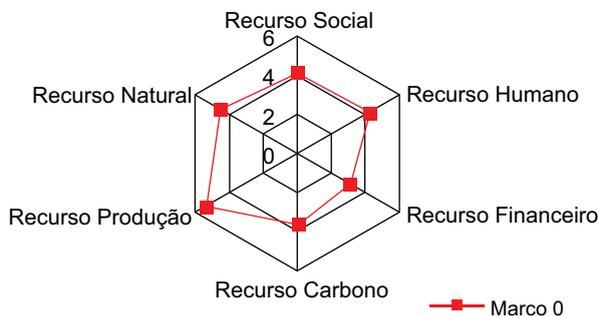


Figura 3 - Representação esquemática do marco zero da Metodologia do Carbono Social para o artesão de biojóias de Taquaruçu, Palmas - TO, 2006

A partir do marco zero, buscar-se-á melhorar cada recurso, com vistas a obter uma resposta mais equânime entre os mesmos. Nesse contexto, para cada recurso analisado e com base nas perspectivas da comunidade, serão propostas de forma participativa ações que visem ampliar o(s) recurso(s) desejados (REZENDE, 2009).

Considerações gerais

De uma forma geral o diagnóstico efetuado com o artesão demonstra a existência de sustentabilidade para os recursos estudados, com particular enfoque no recurso produção, onde o artesão se revela eficiente no manejo dos insumos. Percebe-se também o bom desempenho no recurso natural, que se deve à conscientização ambiental adquirida e pelos conhecimentos adquiridos nas diversas capacitações.

Contudo, verifica-se que é possível progredir facilmente na sustentabilidade dos recursos analisados, bastando para tal uma melhor organização por parte do artesão e a elaboração de registros mais completos e detalhados da produtividade mensal, coleta de sementes, doação das sementes para viveiros de mudas e da comercialização. No entanto, existem alguns assuntos de mais complexa resolução como a desestruturação da associação formal, que compromete a organização entre os artesãos, e a não cobertura pela Previdência Social do artesão.

O recurso financeiro é o que carece de maior atenção e desenvolvimento, uma vez que o valor agregado do produto deverá contribuir mais eficazmente para a melhoria da renda do artesão.

Exemplo 2:

Estudo de caso – Aplicação da Metodologia de Carbono Social na Cerâmica Milenium (Marcos zero, 1 e 2)

A Cerâmica Milenium é um pequeno empreendimento localizado em Paraíso do Tocantins, no Estado do Tocantins que produz tijolos, telhas e blocos de cerâmica vermelha. A empresa foi uma das pioneiras a realizar a troca de combustível no Brasil, deixando de utilizar a lenha nativa do Cerrado e passando a utilizar serragem, casca de arroz e capim elefante como combustível de seus fornos.

Desde o início do projeto, em 2007, a empresa familiar tem utilizado os benefícios de sua inserção no Mercado de Carbono para melhorar a vida dos empregados e sua gestão empresarial.

Dentro do empreendimento, a aplicação da Metodologia do Carbono Social deu suporte às ações de saúde e segurança, e identificou melhorias nas condições de

trabalho, como resultado de investimentos nos recursos humanos, e principalmente, devido às melhorias nas tecnologias utilizadas para a produção dos tijolos e telhas, decorrentes da troca de combustível.

Além disso, a comunidade envolveu-se gradativamente no projeto. As crianças de escolas da região visitam anualmente o empreendimento para assistirem palestras e conhecerem a importância da preservação do meio ambiente e da mitigação das mudanças climáticas.

A venda dos créditos também possibilitou o investimento da cerâmica em atividades culturais e esportivas.

Os benefícios da inserção da cerâmica no mercado de carbono, e da utilização da Metodologia do Carbono Social como ferramenta de gestão podem ser observados na representação gráfica do Hexágono do Carbono Social (Figura 4).

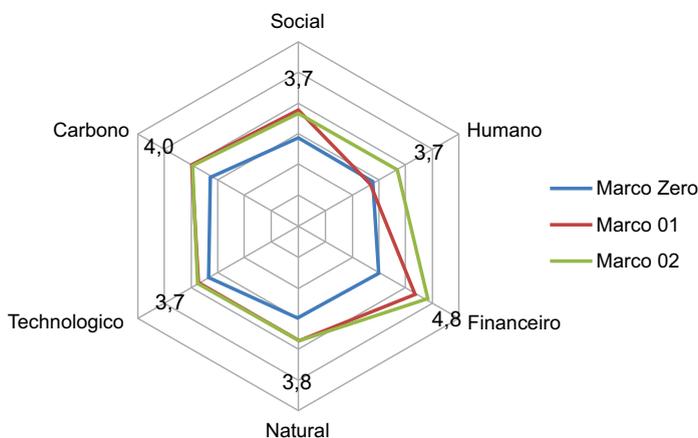


Figura 4 - Representação esquemática dos marcos zero, 1 e 2 da Metodologia do Carbono Social para a empresa Cerâmica Milenium, 2010

De acordo com a Figura 4, percebe-se claramente que o processo de substituição do uso de combustível para fornecer energia aos fornos da cerâmica, teve reflexos positivos de forma equânime em todos os seis recursos analisados junto à empresa, destacando-se o recurso financeiro.

Considerando a incorporação dessa tecnologia pela empresa, ou seja, o uso como combustível apenas de resíduos agrícolas e outros tipos de biomassas (serragem, casca de arroz e capim elefante), não utilizando mais a lenha de origem de vegetação nativa, contribuiu para evitar o desmatamento do Cerrado, reduzindo assim a emissão de CO₂ para a atmosfera, além de manter a biodiversidade.

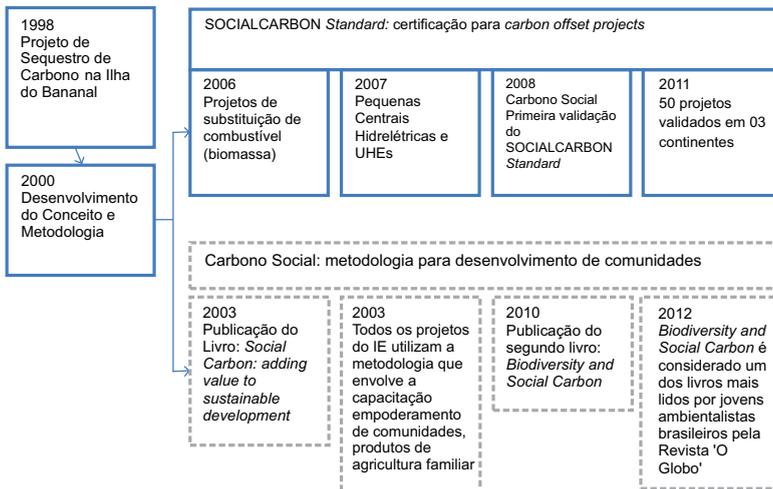
Depreende-se que, o emprego desse processo por consequência, vem colaborar na mitigação dos impactos negativos provocados pelas mudanças do clima.

4 - Metodologia do Carbono Social como certificação do mercado de carbono

O conceito de Carbono Social está sendo utilizado como um *standard* do mercado voluntário em projetos de diferentes âmbitos, como a troca de combustíveis, a energia renovável, os aterros sanitários, cerâmicas entre outros. Este conceito como comentado anteriormente, foi desenvolvido diretamente com as comunidades na análise de seus problemas, proporcionando alternativas concretas associadas a projetos que envolvam desenvolvimento sustentável e as mudanças climáticas. Outra característica deste conceito é que mantém ou aumenta as capacidades e os benefícios das comunidades, sem degradar a base de recursos sociais, ambientais, etc. (REZENDE; MERLIN, 2009).

Dessa forma, sua aplicação em um projeto de desenvolvimento sustentável passa por uma análise integrada das condições de vida das pessoas que vivem na comunidade, considerando suas perspectivas, recursos, estratégias, fatores de ameaça, oportunidades, organizações políticas e relações sociais.

Sob uma perspectiva de mercado, a aplicação da MCS aumenta a transparência e a confiabilidade de projetos inseridos no mercado de carbono. Por isso, em 2008, o Instituto Ecológica (IE) lançou o SOCIALCARBON *Standard*, um padrão desenvolvido para fortalecer os co-benefícios de projetos de redução de emissões e de compensação de carbono, que certifica diferentes tipos de projetos inseridos no Mercado Voluntário de Carbono (SOCIALCARBON, 2013). A Figura 5 apresenta um resumo histórico retratando o desenvolvimento da Metodologia do Carbono Social e a criação do SOCIALCARBON *Standard*.



Fonte: SOCIALCARBON (2020)

Figura 5 - A evolução temporal da Metodologia do Carbono Social e a criação do SOCIALCARBON Standard

O objetivo da certificação é padronizar a aplicação da MCS, e com isso, trazer maior liquidez aos créditos de carbono, melhorando ainda os preços dos mesmos. A certificação garante a grandes clientes a reputação do projeto, passando a considerar projetos de redução de emissões de maneira holística. Para clientes mais rigorosos, os documentos relacionados apenas ao projeto de substituição de combustível não são suficientes para garantir a sustentabilidade do projeto. Por isso, a aplicação da MCS traz maior segurança para os mesmos.

Dentro do mercado de carbono, é certo dizer que o SOCIALCARBON Standard permitiu a inclusão de pequenos empreendimentos, cuja estrutura organizacional poderia afastá-los desse tipo de mercado.

É correto afirmar que o Carbono Social oferece não só critérios socioambientais, mas também, metodologia centrada na sustentabilidade, marca reconhecida nacional e internacionalmente, com certificação e registro já consolidados no mercado (REZENDE; MERLIN, 2009).

Pequenas organizações normalmente apresentam pouca capacidade organizacional e de mobilização, faltando ainda gestão de recursos humanos, financeiros, tecnológicos e ambientais. Neste sentido, exigir uma performance excepcional destes empreendimentos no início do projeto não condiz com a realidade.

Por esta razão, o SOCIALCARBON Standard permite a certificação de projetos mesmo que estes estejam mal classificados no início, desde que se comprometam com a melhoria contínua, e garantam a gestão de acordo com os princípios e diretrizes da MCS. A abordagem que define o que deve ser feito, de maneira hierárquica, não é um método efetivo na prática, pois não existe interesse de comprometimento dos stakeholders. O SOCIALCARBON Standard procura identificar quais os temas mais importantes para os empreendimentos e seus empregados, de forma que investir em certas questões é mais relevante para a realidade e apresenta maior custo benefício como por exemplo, na melhoria de salários e benefícios, e redução da rotatividade; melhoria da capacitação em tecnologia, segurança e qualidade e na redução de resíduos

Compradores e desenvolvedores de projeto reconhecem que o SOCIALCARBON é um standard diferenciado, pois não só propõe critérios, mas soluções práticas para a manutenção da sustentabilidade, ressaltando ainda que é o único standard originado em país em desenvolvimento.

Referências

- CHANDER, P.; TULKENS, H. **Cooperation, stability and self-enforcement in internacional environmental agreements: a conceptual discussion**. Paper prepared for the David Bradford Memorial Conference. Venice Summer Institute. San Servolo, Munich. July 23, 2006.
- IPCC. **IPCC WG1 Fourth assessment report**. Paris, 2007. 21p.
- IPCC. **Climate Change: the physical science basis – contribution of working group 1 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge / New York: Cambridge University Press, 2013, 1.535p.
- MADOKORO, M. M. **Carbono social como ferramenta complementar aos estudos de impactos ambientais**. 2014. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo – EEL/USP, Lorena, 2014.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Educlima: o que é mudança do clima**. 2020. Disponível em: <<http://educaclima.mma.gov.br/mudanca-do-clima/>>. Acesso em: 20 jan. 2020.
- REZENDE, D.; MERLIN, S.; SANTOS, M. **Seqüestro de carbono: uma experiência concreta**. 2. ed. rev. e amp. Palmas: Instituto Ecológica, 2001. 177 p.
- REZENDE, D.; MERLIN, S. **Carbono social: agregando valores do desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Ed. Fundação Peirópolis, 2003. 162 p.
- REZENDE, D. **Biodiversidade e carbono social**. 2009. 166 f. Tese (Doutorado em Biologia e Ecologia das Alterações Globais) – Departamento de Biologia, Universidade de Aveiro, Aveiro – Portugal, 2009
- REZENDE, D.; MERLIN, S. **Biodiversidade e carbono social**. Porto: Edições Afrontamento/Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro, Portugal. 2009. 150 p.
- SANTOS, F.; SANTOS, M. **Análise do meio de vida das comunidades rurais do Sudoeste do Tocantins: uso em diagnóstico, monitoramento e marco zero de projetos**. Palmas: Instituto Ecológica e Ministério Público, 2002.
- SCOONES, I. **Sustainable livelihoods: a framework for analysis**. IDS working paper 72, Brighton: IDS, 1998.
- SOCIALCARBON. **SOCIALCARBON Standard: v. 5.0**. São Paulo: Instituto Ecológica. 2013. 27p. Disponível em: <http://www.socialcarbon.org/wp-content/uploads/2012/11/SOCIALCARBON_STANDARD_v-5-0-final-II1.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2020.

SOCIALCARBON. **Report Milenium ceramic industry - point 02**. Disponível em: <www.socialcarbon.org>. Acesso em: 23 out. 2019.

SOCIALCARBON. **Site Oficial da SOCIALCARBON Standard**. 2020. Disponível em: <www.socialcarbon.org>. Acesso em: 23 jan. 2020.

CAPÍTULO 20

Divulgação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Extraído na íntegra do site da ONU BRASIL (2020) por Erich Collicchio¹
Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>

¹O texto deste capítulo é uma cópia de partes do site da ONU Brasil (2020), com intuito exclusivo de contribuir na divulgação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Esta obra vem divulgar os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), considerando especialmente o Objetivo 2 - Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável e o Objetivo 13 – Ação contra a mudança global do clima, que referem-se à temática deste livro.

Em setembro de 2015, chefes de Estado, de Governo e altos representantes da Organização das Nações Unidas reuniram-se em Nova York e adotaram a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, a qual inclui os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A nova Agenda de desenvolvimento propõe uma ação mundial coordenada entre os governos, as empresas, a academia e a sociedade civil para alcançar os 17 ODS e suas 169 metas, de forma a erradicar a pobreza e promover vida digna para todos, dentro dos limites do planeta (PNUD, 2015).

A seguir apresenta-se na íntegra, o Preâmbulo da Agenda 2030, redigido em 2015 e extraído do documento disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf> (ONU BRASIL, 2015).

“Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável

Preâmbulo: Esta Agenda é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade. Ela também busca fortalecer a paz universal com mais liberdade. Reconhecemos que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões, incluindo a pobreza extrema, é o maior desafio global e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável.

Todos os países e todas as partes interessadas, atuando em parceria colaborativa, implementarão este plano. Estamos decididos a libertar a raça humana da tirania da pobreza e da penúria e a curar e proteger o nosso planeta. Estamos determinados a tomar as medidas ousadas e transformadoras que são urgentemente necessárias para direcionar o mundo para um caminho sustentável e resiliente.

Ao embarcarmos nesta jornada coletiva, comprometemo-nos que ***ninguém seja deixado para trás.***

Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e 169 metas que estamos anunciando hoje demonstram a escala e a ambição desta nova Agenda universal. Eles se constroem sobre o legado dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio e concluirão o que estes não conseguiram alcançar. Eles buscam concretizar os direitos humanos de todos e alcançar a igualdade de gênero e o empoderamento das mulheres e meninas. Eles são integrados e indivisíveis, e equilibram as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental.

Os Objetivos e metas estimularão a ação para os próximos 15 anos em áreas de importância crucial para a humanidade e para o planeta:

Pessoas: Estamos determinados a acabar com a pobreza e a fome, em todas as suas formas e dimensões, e garantir que todos os seres humanos possam realizar o seu potencial em dignidade e igualdade, em um ambiente saudável.

Planeta: Estamos determinados a proteger o planeta da degradação, sobretudo por meio do consumo e da produção sustentáveis, da gestão sustentável dos seus recursos naturais e tomando medidas urgentes sobre a mudança climática, para que ele possa suportar as necessidades das gerações presentes e futuras.

Prosperidade: Estamos determinados a assegurar que todos os seres humanos possam desfrutar de uma vida próspera e de plena realização pessoal, e que o progresso econômico, social e tecnológico ocorra em harmonia com a natureza.

Paz: Estamos determinados a promover sociedades pacíficas, justas e inclusivas que estão livres do medo e da violência. Não pode haver desenvolvimento sustentável sem paz e não há paz sem desenvolvimento sustentável.

Parceria: Estamos determinados a mobilizar os meios necessários para implementar esta Agenda por meio de uma Parceria Global para o Desenvolvimento Sustentável revitalizada, com base num espírito de solidariedade global reforçada, concentrada em especial nas necessidades dos mais pobres e mais vulneráveis e com a participação de todos os países, todas as partes interessadas e todas as pessoas.

Os vínculos e a natureza integrada dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são de importância crucial para assegurar que o propósito da nova Agenda seja realizado. Se realizarmos as nossas ambições em toda a extensão da Agenda, a vida de todos será profundamente melhorada e nosso mundo será transformado para melhor”.



Fonte: ONU BRASIL (2020) Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>
 Figura 1 – Logomarca dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS



OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Objetivo 1. Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares

Objetivo 2. Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável

Objetivo 3. Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades

Objetivo 4. Assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos

Objetivo 5. Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas

Objetivo 6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos

Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos

Objetivo 8. Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos

Objetivo 9. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação

Objetivo 10. Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles

Objetivo 11. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis

Objetivo 12. Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis

Objetivo 13. Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos

Objetivo 14. Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável

Objetivo 15. Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade

Objetivo 16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis

Objetivo 17. Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável



Objetivo 2. Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável.

2.1 Até 2030, acabar com a fome e garantir o acesso de todas as pessoas, em particular os pobres e pessoas em situações vulneráveis, incluindo crianças, a alimentos seguros, nutritivos e suficientes durante todo o ano.

2.2 Até 2030, acabar com todas as formas de desnutrição, incluindo atingir, até 2025, as metas acordadas internacionalmente sobre nanismo e caquexia em crianças menores de cinco anos de idade, e atender às necessidades nutricionais dos adolescentes, mulheres grávidas e lactantes e pessoas idosas.

2.3 Até 2030, dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos, particularmente das mulheres, povos indígenas, agricultores familiares, pastores e pescadores, inclusive por meio de acesso seguro e igual à terra, outros recursos produtivos e insumos, conhecimento, serviços financeiros, mercados e oportunidades de agregação de valor e de emprego não agrícola.

2.4 Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo.

2.5 Até 2020, manter a diversidade genética de sementes, plantas cultivadas, animais de criação e domesticados e suas respectivas espécies selvagens, inclusive por meio de bancos de sementes e plantas diversificados e bem geridos em nível nacional, regional e internacional, e garantir o acesso e a repartição justa e equitativa dos benefícios decorrentes da utilização dos recursos genéticos e conhecimentos tradicionais associados, como acordado internacionalmente.

2.a Aumentar o investimento, inclusive via o reforço da cooperação internacional, em infraestrutura rural, pesquisa e extensão de serviços agrícolas, desenvolvimento de tecnologia, e os bancos de genes de plantas e animais, para aumentar a capacidade de produção agrícola nos países em desenvolvimento, em particular nos países menos desenvolvidos.

2.b Corrigir e prevenir as restrições ao comércio e distorções nos mercados agrícolas mundiais, incluindo a eliminação paralela de todas as formas de subsídios à exportação e todas as medidas de exportação com efeito equivalente, de acordo com o mandato da Rodada de Desenvolvimento de Doha.

2.c Adotar medidas para garantir o funcionamento adequado dos mercados de commodities de alimentos e seus derivados, e facilitar o acesso oportuno à informação de mercado, inclusive sobre as reservas de alimentos, a fim de ajudar a limitar a volatilidade extrema dos preços dos alimentos.

O texto acima, referente ao Objetivo 2, foi extraído na íntegra do site oficial da Nações Unidas Brasil (ONU BRASIL, 2020). Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods2/> e da Agenda 2030 disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>



Objetivo 13. Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos (*)

13.1 Reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países;

13.2 Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais;

13.3 Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima;

13.a Implementar o compromisso assumido pelos países desenvolvidos partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) para a meta de mobilizar conjuntamente US\$ 100 bilhões por ano a partir de 2020, de todas as fontes, para atender às necessidades dos países em desenvolvimento, no contexto das ações de mitigação significativas e transparência na implementação; e operacionalizar plenamente o Fundo Verde para o Clima por meio de sua capitalização o mais cedo possível;

13.b Promover mecanismos para a criação de capacidades para o planejamento relacionado à mudança do clima e à gestão eficaz, nos países menos desenvolvidos, inclusive com foco em mulheres, jovens, comunidades locais e marginalizadas.

() Reconhecendo que a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima [UNFCCC] é o fórum internacional intergovernamental primário para negociar a resposta global à mudança do clima.*



Agenda 2030 - ONU

Referências

ONU BRASIL, Nações Unidas Brasil. **17 objetivos para transformar nosso mundo**. 2020. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/>>. Acesso em: 31 jan. 2020.

ONU BRASIL, Nações Unidas Brasil. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. New York: ONU. 2015. 49p. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>><https://nacoesunidas.org/pos2015/>>. Acesso em: 25 fev. 2020.

PNUD, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **As perguntas mais frequentes sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**. New York: PNUD. 2015. 28 p. Disponível em: < https://www.br.undp.org/content/dam/brazil/docs/ODS/Projeto%20ODS_FAQ%20-.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

ORGANIZADORES DO LIVRO



**Dr. ERICH
COLLICCHIO**

Engenheiro Agrônomo (UFG), Especialista em Engenharia da Irrigação (UFV), Mestre em Ciências, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas (UFLA), Doutor em Ecologia Aplicada (ESALQ/USP) e Pós-doutorado em Fitotecnia (UFV) pelo PROCAD-AM. É Professor Associado II da Universidade Federal do Tocantins - UFT nos cursos de graduação em Engenharia Ambiental e do Mestrado em Agroenergia Digital. Foi Coordenador Científico do Escritório do LBA/TO (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia), parceria UFT/INPA. Responsável pelo Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais (LAMAM/UFT). Membro do Fórum Estadual de Mudanças Climáticas do Tocantins pela UFT (2012 a 2020) e pela Fapt-TO (2021 ao atual). Membro do Grupo Gestor do Plano ABC/Tocantins, pela UFT. Autor do livro: "Organização Estadual de Pesquisa Agropecuária: um instrumento de apoio ao desenvolvimento rural sustentável do Tocantins" (2006), patrocinado pelo Banco da Amazônia.

CV Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0722996667111812>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3452-6249>



**Dr. HUMBERTO RIBEIRO DA
ROCHA**

Engenheiro Civil - Aeronáutica (ITA), Mestre em Meteorologia (INPE), DSc. em Meteorologia (USP) e Livre Docente em Meteorologia (USP). Professor Titular do Departamento de Ciências Atmosféricas – IAG/USP. Especialista em Hidroclimatologia, Instrumentação na área de Meteorologia, e Relações Biosfera e Atmosfera. Coordenador do Laboratório de Clima e Biosfera do IAG/USP, que estuda o clima e a água nos ecossistemas terrestres, e utiliza modelagem computacional de chuva-vazão, produtividade vegetal, serviços ambientais, e observatórios hidrometeorológicos com torres de fluxo na Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e áreas agrícolas. Introduziu o curso de Interação Biosfera-Atmosfera na Pós-Graduação do IAG/USP. Coordenador de projetos na Amazônia (Large Scale Biosphere-Atmosphere Interaction Experiment in Amazonia-LBA), na Mata Atlântica (Programa Biota-Fapesp); Membro da Coordenação do Programa de Mudanças Climáticas da FAPESP.

CV Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3930103224694130>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3809-4626>

AUTORES DE CAPÍTULOS

Currículos resumidos dos autores que colaboraram na elaboração dos capítulos deste livro (Ordem alfabética)



**MSc. ALEXANDRE AIRES DE
FREITAS**

Engenheiro Agrônomo (UFCE), Mestre em Agronomia - Irrigação e Drenagem (UFCE). Possui relevante experiência em instrutoria, consultoria e elaboração de projetos nas áreas de Gestão e Agronomia. Foi professor dos Cursos de Graduação em Tecnologia da Irrigação e Especialização em Irrigação do Instituto Centec e do Curso Sequencial em Tecnologia de Frutos Tropicais da UECE. É empregado da Embrapa, já tendo exercido as funções de Chefe Geral e Chefe Adjunto de Transferência de Tecnologia da Embrapa Pesca e Aquicultura em Palmas - TO. Atualmente exerce a função de Chefe da Secretaria Geral da Embrapa. Brasília - DF, Brasil. alexandre.freitas@embrapa.br



**Dr. ANDRÉ MARCONDES ANDRADE
TOLEDO**

Engenheiro Agrônomo (UFLA), Mestre e Doutor em Ciências (CENA/USP). Foi professor da UFMT, no Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas (Campus de Rondonópolis). Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, Campus Lagoa do Sino (Buri-SP). Possui habilidades com uso da técnica de geoprocessamento para desenvolver trabalhos relacionados com análise espacial de dados geográficos, manejo e conservação do solo, monitoramento do uso da terra por meio de produtos de sensoriamento remoto, envolvendo aeronaves remotamente pilotadas (RPAs), caracterização dos fatores físicos de bacias hidrográficas e zoneamento agroclimático. Buri - SP, Brasil. amatoledo@gmail.com



**MSc. ANDRÉ DE MOURA
ANDRADE**

Engenheiro Ambiental formado na UFT e Mestre em Agroenergia (UFT). Atualmente trabalha na Gerência de Informação e Inteligência Ambiental, na Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins (Semarh). Tem experiência na operação e programação em SIG (Sistemas de Informações Geográficas) direcionado a simulações e modelagens ambientais, zoneamento agroclimático em especial destaque a Hidrologia Aplicada e Recursos Hídricos. Palmas – TO, Brasil. andre.de.moura.andrade@gmail.com



**MSc. ANGÉLICA FÁTIMA DE
BARROS**

Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Viçosa – UFV (2014). Mestre em Fitotecnia (2016) pela UFV e em fase de final do doutorado em Fitotecnia pela UFV (2020). As principais linhas de pesquisa baseiam-se na dessecação pré-colheita com herbicidas em sorgo biomassa e sorgo granífero. Atualmente é professora na Faculdade de Tecnologia – Senai. Leciona principalmente temas relacionados à Agricultura Digital e Produção Agrícola. Cuiabá – MT, Brasil. angélica.barros@mt.docente.senai.br



**Dr. BALBINO ANTÔNIO
EVANGELISTA**

Geógrafo (UFG), Mestre em Gestão Ambiental e Territorial (UnB), Doutor em Engenharia Agrícola (Unicamp) na área de concentração Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável. É analista da Embrapa Pesca, Aquicultura e Sistemas Agrícolas, atuando na área de Agrometeorologia e Geoprocessamento, onde exerce também a função de supervisor do Núcleo Temático de Sistemas Agrícolas Integrados (NTSAI). Desenvolve pesquisa na área de agrometeorologia e geotecnologia com ênfase em modelagem agrometeorológica aplicada a riscos climáticos na agricultura; e integra o grupo-gestor que coordenar a execução do Zoneamento Agrícola de Risco Climático do Brasil (ZARC), instrumento de política agrícola do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (DGER/MAPA). Palmas – TO, Brasil. balbino.evangelista@embrapa.br



**Dr. CARLOS EDUARDO MAGALHÃES DOS
SANTOS**

Engenheiro Agrônomo formado pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) em 2003, Mestre em Fitotecnia (Produção Vegetal), Doutor em Genética e Melhoramento (2008) e Pós-doutorado em Fitotecnia (2008) pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Atualmente é Professor Adjunto na UFV/Campus de Viçosa - Departamento de Fitotecnia e Bolsista de Produtividade 2 do CNPq. Foi professor Adjunto na UFV/Campus de Rio Paranaíba e bolsista de Qualidade em Pesquisa de Excelência da FUNARBE. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Genética, Melhoramento Vegetal e Estatística, atuando principalmente nos seguintes temas: Melhoramento de fruteiras tropicais, genética quantitativa, biometria, fruticultura, manejo e tratos culturais, maracujazeiro, goiabeira, abacaxizeiro, bananeira, *Acrocomia aculeata* (macaúba) e consultoria na área de fruticultura. Viçosa – MG, Brasil. carlos.magalhaes@ufv.br



**Dra. CHEILA CRISTINA
NAVES BARBIERO**

Engenheira Agrônoma (UNITINS), Mestre em Ciências Agrárias (UnB), e Doutora em Biologia e Ecologia das Alterações Globais (Universidade de Aveiro – Portugal). Foi gestora do Projeto Social Internacional Mulheres e foi Pró-Reitora de Extensão do IFTO. Atualmente é Professora do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins – IFTO. Palmas – TO, Brasil. cheilnaves3@gmail.com



**MSc. CLÁUDIO FRANÇA
BARBOSA**

Zootecnista (UFV), Mestre em Ciências Veterinárias (UFU). Analista de Transferência de Tecnologia da Embrapa Pesca e Aquicultura. Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em Produção Animal de Bovinos em Sistemas Intensivos a Pasto e em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Palmas – TO, Brasil. claudio.barbosa@embrapa.br



**Dr. DANIEL DE CASTRO
VICTORIA**

Engenheiro Agrônomo (ESALQ/USP), Mestre em Ecologia Aplicada (ESALQ/USP) e Doutor em Ciências pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP). Pesquisador da Embrapa Agricultura Digital. Tem experiência na área de geoprocessamento, sensoriamento remoto, agrometeorologia e modelagem hidrológica, atuando no mapeamento de áreas agrícolas e modelagem hidrológica da Bacia Amazônica com modelos de grande escala. Campinas – SP, Brasil. daniel.victoria@embrapa.br



**DANIEL LIMA
BATISTA**

Bacharel em Engenharia Ambiental (UFT), Mestrando em Engenharia Ambiental (UFT). Atualmente é coordenador comercial na empresa BRK Ambiental | Saneatins, atuando a mais de 10 anos no saneamento do Estado do Tocantins. Palmas -TO, Brasil.



**Dr. DANIEL DE BRITO
FRAGOSO**

Engenheiro Agrônomo (UNITINS) em 1997. Mestre em Entomologia (UFV) em 2000. Doutor em Entomologia (UFV) em 2003. Professor-visitante na Kansas State University, nos EUA, em 2007. Pós-doutor em Fitotecnia (UFV) parceria com o PROCAD-AMAZÔNIA (2009). De 2003 a 2010 foi professor titular e pesquisador da Universidade Estadual do Tocantins - UNITINS. Atualmente é pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura na área de Fitossanidade/Entomologia Aplicada, ocupando o Cargo de Chefe Adjunto de Transferência e Tecnologia da Embrapa Pesca e Aquicultura no Tocantins. Tem experiência na área de Agronomia, com trabalhos linhas de pesquisas: manejo integrado de praga e toxicologia de inseticidas/resistência de insetos-praga a inseticidas. Palmas – TO, Brasil. daniel.fragoso@embrapa.br



**MSc. DANILLO SILVA
NUNES**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins (UFT) em 2018, e formação como Técnico em Meio Ambiente pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) em 2013. Mestre em Desenvolvimento Regional (UFT). Atuou no Projeto de Gestão em Alto Nível de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Formoso - TO. Palmas – TO, Brasil. danielosnunes@live.com



**Dr. DIVALDO
REZENDE**

Engenheiro Agrônomo (UFLA), Mestre em Políticas Ambientais e Recursos Rurais (Universidade de Londres - Wye College), Doutor em Biologia e Ecologia das Alterações Globais e Pós-Doutor em Ativos Ambientais (Universidade de Aveiro – Portugal). É Consultor Internacional Independente e Vice-Presidente do Instituto Ecológica. Foi diretor Executivo da Cantor CO2 Brasil, broker global do mercado de carbono no Brasil e em outros países na América Latina, focando em oportunidade de geração e negociação de CERs e VERs, serviços de Matchmaking entre investidores e oportunidades locais e sustentáveis. Foi Secretário de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Tocantins – Brasil. Foi CEO da Ecológica ID, uma empresa do Grupo IBOPE. São Paulo – SP, Brasil. divaldorezende@gmail.com



**MSc. ÉDER SOARES
PINTO**

Engenheiro Agrônomo (UFG); Especialista em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (UFPB); Mestre em Derecho Ambiental y de la Sostenibilidad (Universidade de Alicante – Espanha), com diploma reconhecido e revalidado pelo PRODEMA/UFRGN, como Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Doutorando em Planejamento do Território e Ambiente pela Universidade do Porto/FEUP – Portugal. É servidor do Instituto Natureza do Tocantins – Naturatins. Atua nos temas: Sensoriamento remoto, geoprocessamento e SIG; análise de dados ambientais; ordenamento territorial ambiental estratégico; arranjos produtivos locais e elaboração, gestão e execução de projetos. Palmas – TO, Brasil. edersoaresp@hotmail.com



**Dr. EDUARDO DELGADO
ASSAD**

Engenheiro Agrícola (UFV). Mestrado e Doutorado (Montpellier, França). Trabalhou nos laboratórios do INRA de Avignon e do CIRAD em Montpellier. Especializou-se em Sensoriamento Remoto no CNES (Centre National d'Études Spatiales) em Toulouse. É pesquisador da Embrapa desde 1987 atuando inicialmente no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Durante o período de 1993 a 2006 foi o Coordenador técnico nacional do Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos do Ministério da Agricultura. Foi Chefe da Embrapa Informática Agropecuária no período 2005 a 2009. Coordena projetos na área de Mudanças Climáticas e seus impactos na agricultura. É membro do Comitê Científico do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Em 2011 foi Secretário de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental do Ministério do Meio Ambiente. Professor do curso de Mestrado em Agronegócio da Fundação Getúlio Vargas. Campinas - SP, Brasil. eduardo.assad@embrapa.br



**MSc. EDUARDO QUIRINO
PEREIRA**

Engenheiro Ambiental (UNITINS) e Mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foi servidor público do Governo do Estado do Tocantins e atualmente é Professor Assistente do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins - UFT. As experiências de trabalhos técnicos e científicos englobam levantamentos de recursos naturais, diagnósticos biofísicos, compartimentação da paisagem, dinâmica da paisagem, conservação ambiental, recursos hídricos, planejamento territorial, bem como ferramentas integradas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Palmas – TO, Brasil. eduquirino@gmail.com



**Dra. ELIANA KELLY
PAREJA**

Engenheira Agrônoma (UNITINS), Especialista em Planejamento e Gestão Ambiental (UNITINS) e Doutora em Biologia e Ecologia das Alterações Globais (Universidade de Aveiro – Portugal). Foi Diretora do Núcleo de Inovação Tecnológica da Universidade Estadual do Tocantins - UNITINS. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em resgate e propagação de espécies nativas do Cerrado, atuando principalmente nos seguintes temas: desenvolvimento sustentável, projetos de recuperação de áreas degradadas - PRAD, projetos de REDD e sequestro de carbono. Palmas – TO, Brasil. consultoriak3@gmail.com



**MSc. EMILLY DOS SANTOS
PEREIRA**

Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA (2015), Mestre em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa - UFV (2018), Doutoranda em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa - UFV (2022). Têm experiência em Produção Vegetal e Melhoramento, atuando sobre tudo nas áreas de produção vegetal, estresses abióticos em plantas e marcadores moleculares SNPs. Atualmente desenvolve pesquisas nas áreas de viabilidade econômica da macaúba e tratamento de sementes em Viçosa - MG, Brasil. pereira.emilly@hotmail.com



**Dr. EXPEDITO ALVES
CARDOSO**

Engenheiro Agrônomo (UNITINS), em 1999 e Licenciatura em Química pela (UNITINS), em 2004. Mestre em Ciências Agrárias - Uso, manejo e conservação dos recursos naturais: água e solo pela (UFBA), em 2003. Doutor em Fitotecnia, com ênfase em Nutrição Mineral e Adubação de Plantas (UFV), em 2011. Graduando em Marketing (Universidade de Santo Amaro – UNISA). Tem experiência nas áreas de pedologia aplicada; nutrição e adubação de plantas; e manuseio de geotecnologias no manejo e conservação dos recursos naturais. É professor e pesquisador da Universidade Estadual do Tocantins - UNITINS e Inspetor de Recursos Naturais do Governo do Estado do Tocantins. Palmas – TO, Brasil. expedito.ac@unitins.br



**MSc. ERNANDES BARBOZA
BELCHIOR**

Sociólogo (UnB); Mestre em Sociologia Política (UnB); MBA em Agronegócios (ESALQ/USP). Pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura atuando no setor de prospecção e avaliação de tecnologias (SPAT) nos seguintes temas: avaliação de impactos de tecnologias agrícolas e socioeconomia. Palmas – TO, Brasil. ernandes.belchior@embrapa.br



**MSc. FÁBIO BREGA
GAMBA**

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade do Sagrado Coração/SP, Especialização em “Gestão e Conservação de Espaços Naturais”, pelo Centro Universitário Leonardo da Vinci/SC, Mestrado em Agroenergia pela Universidade Federal do Tocantins (UFT) e atualmente é Doutorando em Ciência do Ambiente (UFT). É Membro Associado do “Grupo de Estudos em Democracia e Gestão Social” - GEDGS, na condição de colaborador em pesquisas e estudos com Comunidades Tradicionais. Atua nas áreas de Gestão de Unidades de Conservação e Espaços Naturais, com interesse na temática de Biodiversidade e Conservação de Recursos Naturais e Mudanças de Uso e Cobertura da Terra. Nestes temas tem desenvolvido, ultimamente, trabalhos com Sensoriamento Remoto para análise destas mudanças em ambientes naturais. Palmas – TO, Brasil. fabregam.fbg@gmail.com



**Dr. FERNANDO ANTÔNIO MACENA DA
SILVA**

Possui graduação em Agronomia (UFPA), Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental (USP), Doutorado em Engenharia Agrícola (Unicamp) e Pós-Doutorado pelo Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. Atualmente é pesquisador da Embrapa Cerrados. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Plantio Direto, atuando principalmente nos seguintes temas: balanço hídrico, risco climático e modelagem de planta. Também tem trabalhado com sistemas diversificados de manejo agroecológico das terras (sistemas de cultivo e forrageiro) para permitir aos produtores atingir produtividades agropecuárias satisfatórias de forma compatível com o uso sustentável dos seus recursos naturais. Atualmente, suas pesquisas se concentram na avaliação de riscos e resiliência agroclimática na agricultura brasileira como instrumento de política pública, cujo principal objetivo é indicar áreas e épocas de semeadura com menores riscos para os cultivos agrícolas. Brasília – DF, Brasil. fernando.macena@embrapa.br



**Dra. FLÁVIA LUCILA TONANI DE
SIQUEIRA**

Possui graduação em Zootecnia (UNESP) em 1992, Mestre em Zootecnia (UFV) em 1995 e Doutora em Zootecnia (UNESP) em 2001. Participou da primeira equipe gestora da Universidade Federal do Tocantins (UFT) como Vice-reitora. Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em Avaliação, Produção e Conservação de Forragens e Manejo e Recuperação de Pastagens. Coordenou o Centro de Novas Tecnologias Educacionais da UFT e é coordenadora do Programa Universidade Aberta do Brasil (UAB) na UFT. É professora associada da Universidade Federal do Tocantins (UFT) do curso de Engenharia Ambiental e do Programa de Mestrado em Agroenergia, respondendo pelas disciplinas de solos e Aproveitamento de Resíduo da Produção de Biocombustíveis. Foi responsável pelo Laboratório de Solos do Mestrado em Agroenergia e atualmente é Coordenadora do Programa de Mestrado em Agroenergia da UFT. Palmas – TO, Brasil. flaviatonani@uft.edu.br



**Dr. GIRLENE FIGUEIREDO
MACIEL**

Meteorologista (UFPB), Mestre em Meteorologia (UFPB) e Doutor em Recursos Naturais (UFCG). Professor Associado I do curso de graduação em Engenharia Ambiental e do curso de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins - UFT. Desenvolve pesquisas sobre clima e meio ambiente, com aplicações em agrometeorologia, agroclimatologia, hidrometeorologia e no entendimento dos processos hidrológicos em bacias hidrográficas. Palmas – TO, Brasil. maciel@uft.edu.br



**Dr. GUILHERME BENKO DE
SIQUEIRA**

Zootecnista pela UNESP - Jaboticabal/SP (1997), Mestre pela UNESP - Ilha Solteira/SP (2001) e Doutor pela UFPA (2009), ambas titulações de pós-graduação tendo como área de concentração a Produção Animal. Professor Adjunto da Universidade Federal do Tocantins (UFT) do curso Engenharia Alimentos e membro docente do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia da UFT. Coordenador “Núcleo de Estudo em Pesquisa em Agroenergia” (Grupos Pesquisa/CNPq), onde atualmente desenvolve e coordena pesquisas para obtenção de etanol a partir de fontes amiláceas e lignocelulósicas, com foco no aproveitamento de resíduos agroindustriais, objetivando minimização dos impactos ambientais destas biomassas residuárias. Também é coordenador do Laboratório de Análise de Solos e Resíduos Agroindustriais (LASOR/UFT). Coordenador da Estação Experimental do Campus de Palmas - UFT – Atua em pesquisas com bioetanol, hidrólise enzimática e cinética fermentativa. Palmas – TO, Brasil. guibenko@uft.edu.br



**Esp. HELOÍSA GARCIA DA
MOTA**

Engenheira Ambiental (UNESP), Pós-graduação em Sustentabilidade e Responsabilidade Social Corporativa (FGV), Redes Digitais Terceiro Setor e Sustentabilidade (ECA/USP) e atualmente cursando MBA em Marketing. Foi Coordenadora de Sustentabilidade e Marketing na empresa SustainableCarbon, como Consultora Senior na PricewaterhouseCoopers (PwC), como Analista Senior de Sustentabilidade e Inovação na EDP Brasil. Atuou na área de mobilização e engajamento do Greenpeace Brasil, tornando-se Diretora de Engajamento e líder de Desenvolvimento Institucional na Recode. Atualmente é Superintendente de Desenvolvimento Institucional e Marketing na Sustenidos Organização Social de Cultura e é Sócia Diretora na empresa HGM Sustentabilidade. São Paulo – SP, Brasil. hgmsustentabilidade@gmail.com



**MSc. HIGINO JÚLIA
PITI**

Graduação em Ciências Econômicas pela Universidade Federal do Ceará (UFC) em 1982 e Mestre em Economia Rural pela UFC em 1985. É Professor da Universidade Federal do Tocantins (UFT) do curso de Ciências Econômicas. Trabalhou na Secretaria do Planejamento e Coordenação do Estado do Tocantins (SEPLAN/TO) e no Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Tocantins (Sebrae/TO). Foi professor da Fundação Universidade do Tocantins (UNITINS) e da Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Coordenador do Curso de Ciências Econômicas da UFT, Diretor Técnico e membro do Conselho Deliberativo Estadual do Sebrae/TO. Possui experiência em administração pública e na administração privada, empreendedorismo, inovação e planejamento. Palmas – TO, Brasil. higin01@gmail.com



**ISABELLA LOPES
RIBEIRO**

Engenheira Ambiental e Sanitária pela Faculdade Católica do Tocantins (UniCatólica) em 2017. Atualmente está cursando Agronomia na UniCatólica e bolsista de Desenvolvimento Tecnológico Industrial do CNPq - Nível B, atuando na Embrapa Pesca e Aquicultura. Tem experiência nas áreas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Como bolsista integra a equipe de estudos em risco climático na agricultura, com uso de modelagem em agrometeorologia aplicada em Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para orientar política de crédito rural do Ministério da Agricultura - MAPA (Proagro e Proagro Mais). Palmas – TO, Brasil.



**Dr. JOAQUÍN EDUARDO MANCHOLA
CIFUENTES**

(in memoriam)

Graduação em Estatística pela Universidade Nacional de Colômbia (1979); Especialização em Planejamento Regional e Urbano pela Escuela Superior de Administración Pública de Colômbia- ESAP; Especialização em Economia Regional e Urbana pelo Programa Internacional de Ensino e Pesquisa em Planejamento para o Desenvolvimento Regional, Convênio FIPE/IPEA/BIID, Mestrado em Teoria Econômica pela Universidade de São Paulo- FEA/USP (1989). Doutorado em Sociologia pela UnB. Exerceu o cargo de Gestor Público, lotado na Secretaria do Planejamento e Orçamento do Tocantins e de Professor na Fundação Universidade Federal do Tocantins (UFT), lotado no curso de Ciências Econômicas. Experiência na área de Amostragem e Métodos Quantitativos, Desenvolvimento Econômico, Desenvolvimento Regional e Urbano, Desenvolvimento Sustentável, Sociologia Rural, na Avaliação de Políticas Públicas e em Planejamento Governamental. Palmas – TO, Brasil.



**Dr. JONES
SIMON**

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/2004), com bolsa de graduação do programa PET/SESu, atuando nas áreas de Ensino, Pesquisa e Extensão e Doutor em Ciências (Área de Concentração: Física do Ambiente Agrícola) pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo (ESALQ/USP/2010). Atualmente é Pesquisador da Embrapa Pesca, Aquicultura e Sistemas Agrícolas, atuando nas áreas de Aquicultura e Sistemas Agrícolas, com ênfase em Agrometeorologia. Sua área de pesquisa abrange os seguintes temas: Sistema Solo-Planta-Atmosfera, Instrumentação Meteorológica, Mudanças Climáticas, Modelagem Agropecuária, Zoneamento Aquícola e Capacidade de Suporte. Palmas – TO, Brasil. jones.simon@embrapa.br



**MSc. JULIANA DA COSTA
SANTOS**

Engenheira Ambiental e Mestre em Engenharia Ambiental (UFT). É técnica administrativa da UFT, atuando principalmente nos seguintes temas: Meteorologia, Climatologia e Modelagem. Tem experiência na área de análise ambiental com uso de Sistema de Informações Geográficas e atualmente participa da equipe do projeto que tem desenvolvido atividades referentes aos Planos Municipais de Saneamento Básico. Palmas – TO, Brasil.



**Dr. JOSÉ LUIZ CABRAL DA
SILVA JÚNIOR**

Meteorologista (UFAL), Mestre e Doutor em Agronomia - Meteorologia Agrícola (UFV). Professor e Pesquisador da Universidade Estadual do Tocantins – UNITINS e atua no Núcleo de Meteorologia e Recursos Hídricos da UNITINS. Tem experiência em Meteorologia e Recursos Hídricos, atuando nas áreas da: Meteorologia Sinótica, Agrometeorologia (crescimento e desenvolvimento de culturas), Mudanças Climáticas e Fontes Renováveis de Energia (Eólica, solar, biomassa). Palmas – TO, Brasil. jlcabral_jr@yahoo.com.br



**Dr. LEONARDO DUARTE
PIMENTEL**

Engenheiro Agrônomo formado pela Universidade Federal de Viçosa - UFV (2006). Possui Mestrado em Melhoramento de Plantas e Biotecnologia (2007), Doutorado em Fitotecnia/Nutrição Mineral e Adubação de Plantas (2012) e Pós-doutorado em Agroenergia (convênio UFV-Petrobrás SA). Atuou como gerente de produção florestal no Grupo Entaban SA (2009 a 2011) e consultor da Pastori Participações Ltda (2012 a 2013) no dimensionamento, planejamento e implantação de projetos agroindustriais voltados para produção bioenergia (Soleá Brasil Óleos Vegetais Ltda, Acrotech Sementes e Reflorestamento Ltda). A partir de 2014 vem atuando como Professor Adjunto do Departamento de Agronomia (DAA) da UFV no Ensino, Pesquisa e Extensão nas áreas de Agroenergia, Fisiologia Vegetal, Agricultura Geral e Empreendedorismo. Na administração institucional atua como Coordenador do Curso de Agronomia da UFV e Conselheiro na Câmara de Agronomia do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA-MG). Viçosa – MG, Brasil. leonardo.pimentel@ufv.br



**Dr. LEONARDO JOSÉ MOTTA
CAMPOS**

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa - UFV (1998), Mestre em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás - UFG (2001) e Doutor em Biologia Vegetal/Fisiologia Vegetal pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG (2007). Tem experiência na área de Produção Vegetal e Ecofisiologia, atuando principalmente nos campos de produção vegetal, estresses abióticos em plantas, recuperação de áreas degradadas e conservação e uso dos solos. Atualmente é pesquisador da Embrapa Soja. Londrina – PR, Brasil. leonardo.campos@embrapa.br



**Dr. LEONARDO MORENO
DOMINGUES**

Doutor em Meteorologia pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP), local em que também concluiu o Bacharelado e o Mestrado. Membro do Laboratório de Clima e Biosfera (LCB), onde contribui desde 2008. Atua nas áreas de climatologia, interação biosfera-atmosfera e mudanças climáticas, com ênfase nas modelagens de superfície do sistema solo-planta-atmosfera e hidrológica. São Paulo – SP, Brasil. leonardo.domingues@iag.usp.br



**Dra. MARIA ANTONIA MACHADO
BARBOSA**

Engenheira Agrônoma formada pela Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA (2015). Mestre em Fisiologia Vegetal pela Universidade Federal de Viçosa – UFV (2017) e Doutoranda em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa – UFV (2021), com concentração nas áreas de Agroenergia, Ecofisiologia e Nutrição Mineral de Plantas. Sua principal linha de pesquisa envolve a relação entre as respostas fisiológicas e agrônomicas das culturas frente aos estresses abióticos. Contribui como revisora em periódicos internacionais nas áreas de Agronomia e Biologia Vegetal. Foi Integrante do Núcleo de Pesquisa Vegetal Básica e Aplicada (NPVBA - UFRA). Atualmente é integrante da Rede Macaúba de Pesquisa (REMAPE). Viçosa – MG, Brasil. mabarbosa483@gmail.com



**Dra. MANUELA MARIA CAVALCANTE
GRANJA**

Bióloga pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Mestre em Agronomia, na área de concentração em Melhoramento Genético de Plantas pela UFRPE e Doutora em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Atualmente é pesquisadora na área de Biotecnologia/Biologia Molecular. Tem experiência nas áreas de Biotecnologia/Genética, com ênfase Marcadores moleculares nucleares e mitocondriais, sistemática molecular, filogenia, bioinformática, genômica e proteômica. Além de Melhoramento Genético Vegetal, cultura de tecidos e clonagem de palmeáceas de interesse econômico (macaúba e dendê). Também tem experiência em Bioquímica, na avaliação de enzimas antioxidantes no combate a espécies reativas de oxigênio (EROS) em plantas submetidas a estresses abióticos. Viçosa – MG, Brasil. mmc.granja@hotmail.com



**Dra. MARIA INÊS RAMOS
AZEVEDO**

Engenheira Florestal (UFV), Especialista em Fruticultura Tropical (UNITINS), Mestre e Doutora em Ciência Florestal (UFV). Foi funcionária efetiva da Secretaria da Agricultura, Pecuária e Aquicultura do Estado do Tocantins - Seagro, professora da UNITINS, professora convidada da UFT e pesquisadora colaboradora no Laboratório LAMAM/UFT. Possui experiência na área de Recursos Florestais e Engenharia Florestal, com ênfase em sementes, propagação e fisiologia de espécies florestais, atuando principalmente nos seguintes temas: viveiros, laboratório de sementes, arborização, ecologia, restauração de áreas degradadas, silvicultura, reflorestamento, enriquecimento florestal, degradação ambiental, florística e fitossociologia, Cerrado e seqüestro de carbono. Palmas – TO, Brasil. inesramosaz@gmail.com



**MSc. MURILO DE PÁDUA
MARCOLINI**

Engenheiro Ambiental (UFT), Engenheiro Civil (CEULP-ULBRA), Técnico em Informática, Engenheiro de Segurança do Trabalho, Mestre em Agroenergia (UFT). Doutorando em Engenharia Civil pela Universidade de Porto (Portugal). É professor do CEULP-ULBRA em Palmas – TO. Atuação na área de Engenharia Civil, com experiência em Projetos de Engenharia e Ambientais e na elaboração de zoneamento agroclimático de culturas energéticas, associado aos cenários de mudanças do clima. Palmas – TO, Brasil. murilomarcolini@gmail.com.



**MSc. OLÍRIA MORGANA MENEZES
SOUZA**

Engenheira Ambiental (UFT), Especialista em Georreferenciamento de Imóveis Rurais e Urbanos e Mestre em Agroenergia (UFT). Foi pesquisadora e bolsista do Programa de Grande Escala Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA no Tocantins, parceria UFT/INPA. Consultora na área ambiental, tendo experiência na área de Geociências, Estruturação de Banco de Dados, Geoprocessamento, Zoneamento ambiental agroclimático de culturas. Palmas – TO, Brasil. oliriamorgana@gmail.com



**Dr. PAULO CARDOSO DA
SILVEIRA**

Licenciado em Biologia pela Universidade de Aveiro – Portugal, Mestre em Biotecnologia (Bioquímica) pela Universidade Técnica de Lisboa – Portugal e Doutor em Biologia, especialidade de Ecologia pela Universidade de Coimbra – Portugal. É Professor Auxiliar do Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro - Portugal, onde, leciona temas relacionados com Botânica, Ecologia e Biotecnologia, e desenvolve estudos em Sistemática de plantas e Ecologia, desde a flora Portuguesa, Península Ibérica, à de regiões tropicais como Angola, Timor-Leste, Moçambique e Brasil. Aveiro, Portugal. psilveira@ua.pt



**MSc. PEDRO HENRIQUE REZENDE DE
ALCÂNTARA**

Zootecnista (UFV), Mestre em Zootecnia (UFV). Trabalha atualmente como Analista A de Transferência de Tecnologia da Embrapa Pesca, Aquicultura e Sistemas Agrícolas. Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em Nutrição de Ruminantes, Manejo de Pastagens e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Palmas – TO, Brasil. pedro.alcantara@embrapa.br



**Dr. PEDRO ROBERTO
JACOBI**

É Sociólogo, Mestre em Planejamento Urbano, Doutor em Sociologia e Livre Docente em Educação. Professor Titular Sênior do Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental/Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (PROCAM/IEE/USP). Coordenador do Projeto Governança Ambiental da Macrometrópole Paulista face às Mudanças Climáticas (IEE/Fapesp - 2017-2022). Editor da revista Ambiente e Sociedade. Presidente do Conselho do ICLEI América do Sul (Governos Locais pela Sustentabilidade), desde 2011. Coordenador do Grupo de Estudos Meio Ambiente e Sociedade do Instituto de Estudos Avançados da USP (IEA). Membro do Conselho do South American Resilience Center (SARAS). Desenvolve pesquisas com foco em Aprendizagem Social e Recursos Naturais, Educação Ambiental para a Sustentabilidade, Governança Ambiental – Água, Resíduos, Clima, Participação Social. São Paulo – SP, Brasil. prjacobi@gmail.com



**Dr. RAFAEL AUGUSTO DA COSTA
PARRELLA**

Engenheiro Agrônomo com Mestrado e Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas pela Universidade Federal de Lavras - UFLA. Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Centro Nacional de Pesquisa em Milho e Sorgo (CNPMS) desde 2008, atuando como melhorista de sorgo com ênfase no desenvolvimento de híbridos e variedades com alta produção e qualidade da biomassa para múltiplos usos. Destacam-se os tipos sacarino para produção de etanol (Tecnologia 1G), sorgo biomassa para a produção de etanol celulósico (Tecnologia 2G), biogás, cogeração de energia ou uso como forragem para alimentação animal. Possui experiência no desenvolvimento de linhagens macho estéril (A), mantenedora (B), restauradora de fertilidade (R) e populações de sorgo tolerantes a estresses bióticos e abióticos. Sete Lagoas – MG, Brasil. rafael.parrella@embrapa.br



**MSc. RAFAEL CESÁRIO
ABREU**

Formado em 2014 em Meteorologia pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP). Mestrado na área de Meteorologia de mesoescala e assimilação de dados com o modelo Weather Research and Forecasting (WRF) sob orientação do Prof. Dr. Ricardo Hallak. Doutorando em Meteorologia do Departamento de Ciências Atmosféricas do IAG/USP, sendo que atualmente trabalha com o downscaling dinâmico para simulações de longo prazo focado nos impactos no regime pluviométrico. São Paulo – SP, Brasil. rafael.abreu@iag.usp.br



**MSc. RODRIGO BARBOSA SELLOS
LOPES**

Engenheiro Ambiental formado na Universidade Federal do Tocantins (UFT) e Mestre em Agroenergia (UFT). Atualmente trabalha como Gerente de Informação e Inteligência Ambiental, na Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins (Semarh). É Conselheiro do CREA/TO e membro do Conselho Estadual de Florestas do Tocantins. Tem experiência em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) com aplicação em estudos ambientais e agrícolas, consultoria ambiental, zoneamento agroclimático. Palmas – TO, Brasil. rodrigobarbosa.amb@gmail.com



**Dr. SEBASTIÁN GIRALDO
MONTOYA**

Engenheiro Agrônomo pela Universidad Nacional de Colombia - Medellín. Participou de intercâmbio acadêmico na Facultad de Ciencias Agrárias da Universidad de Buenos Aires (FAUBA). Realizou curso de Enologia na Escuela Argentina de Vinos em Buenos Aires, Argentina. Mestre em Fitotecnia, com ênfase em Fruticultura, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutor em Fitotecnia, com ênfase em Ecofisiologia Vegetal, pela UFV. Em 2014 recebeu o prêmio Arthur Bernardes no Simpósio de Integração Acadêmica (SIA), pela criação do aplicativo MacFruit 1.0. Em 2016 recebeu o Prêmio Novos Talentos para o Alimento Sustentável, nas categorias Américas, pelo trabalho intitulado "Domestication of macauba palm, restoration of degraded pastures and establishment of the two-stories agricultural production system (Double Store Production System - DSPS)". É Professor adjunto A nível I de Fruticultura de Clima Temperado do Departamento de Agronomia da UFV. Linha de pesquisa: Fruticultura de Clima Temperado; Ecofisiologia Vegetal; Sistemas consorciados. Viçosa – MG, Brasil. sebastian.montoya@ufv.br



**Dr. SÉRGIO YOSHIMITSU
MOTOIKE**

É Engenheiro Agrônomo formado pela Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista (ESAPP) em 1990, possui mestrado em Fitotecnia (Produção Vegetal) pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) em 1993 e doutorado em Natural Resources and Environmental Sciences - University of Illinois at Urbana Champaign – EUA, em 2001. Foi coordenador do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia e do Programa de Genética e Melhoramento da UFV. Foi o idealizador e um dos fundadores da empresa Acrotech Sementes e Reflorestamento Ltda. Atualmente, é professor titular da UFV. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Fitotecnia e Melhoramento Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: palmáceas oleaginosas (*Elaeis guineensis* e *Acrocomia aculeata*), cultivo *in vitro*, domesticação e desenvolvimento de novas espécies de potencial agrícola. Viçosa – MG, Brasil. sergiomotoike@gmail.com



**Esp. STEFANO
MERLIN**

Economista e Administrador de Empresas. Doutorando em Ciências Biológicas (Universidade de Aveiro – Portugal). É o CEO e acionista da Sustainable Carbon. É Presidente e co-fundador do Instituto Ecológica, uma ONG brasileira focada em iniciativas de P&D relacionadas ao desenvolvimento sustentável e mudanças climáticas. Gestor de programas ambientais e de responsabilidade social, em especial visando à redução de emissões no mercado voluntário de carbono, com ênfase em troca de combustíveis, biomassa renovável, compostagem e Redução de Emissões pelo Desmatamento e Degradação (REDD+). São Paulo – SP, Brasil. merlin.stefano@gmail.com



**Dra. SUSIAN CHRISTIAN
MARTINS**

Engenheira Agrônoma (UFSCar); Mestre em Ciência do Solo e Nutrição de Plantas (ESALQ/USP); Doutora em Ciências (CENA/USP). Foi consultora em instituições como Embrapa, Unicamp, Fundação Getúlio Vargas, Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, WRI Brasil, Ministério da Agricultura e Ministério da Ciência e Tecnologia. Membro do Observatório ABC, uma iniciativa da FGVAgro com o objetivo de envolver a sociedade no debate sobre economia de baixo carbono. Atualmente é Coordenadora Técnica do Programa Fazendas Vivas da Climate Smart Group & Pangea Capital (CSG/Pangea) atuando no desenvolvimento de projetos de crédito de carbono baseados na natureza, agropecuária regenerativa e gestão estratégica do capital natural, com resultados ambientais e financeiros positivos para todos os envolvidos. São Paulo – SP, Brasil. smartins@climatesmartgroup.com



**MSc. TELMA MARIA DO
VALE**

Engenheira Ambiental (UFT) em 2016 e Mestre em Agroenergia (UFT) em 2019. Foi bolsista de Iniciação Científica com tema voltado à Piscicultura, na Embrapa Pesca e Aquicultura, onde estagiou no Núcleo Temático de Sistemas Agrícolas Integrados - NTSAI. Prestou consultoria autônoma na validação dos estudos de Mapeamento de Risco Climático da Soja para o Brasil, pela Embrapa. Atualmente atua como Pesquisador-Bolsista de Desenvolvimento Tecnológico Industrial – DTI, na Embrapa em Palmas - TO. Possui experiência em geoprocessamento, modelagem agrícola, agrometeorologia e em estudos de risco climático na agricultura. Palmas – TO, Brasil. telma.ambiental@hotmail.com

Autora da obra da contracapa (4ª capa)



BRUNA DE FREITAS MOREIRA (Bromou)

Natural do Rio de Janeiro, cresceu em Palmas - TO onde vive e trabalha como grafiteira e ilustradora autodidata. Iniciou no graffiti em 2018 e desde então busca retratar suas percepções sobre a vida nortista, e ilustrar momentos em que a cidade e a natureza se encontram no cerrado através de seus murais coloridos. Graduada em Arquitetura e Urbanismo (UFT), hoje busca cumprir o seu papel social na cidade utilizando a arte de rua como sua principal ferramenta. Palmas – TO. Instagram: @bromou; E-mail: bromo.contato@gmail.com

Descrição da obra: *“Tem o tempo da poeira, tem o tempo da chuva”*

Técnica: Tinta acrílica sobre tela. Dimensão: 1,60 x 1,20 m, Ano: 2019.

A obra retrata as estações da cidade de Palmas - Tocantins e o impacto que o clima tem sobre a vida daqueles que vivem a região. Na composição, a chuva e a seca representam as atribulações e adversidades da localidade, enquanto o solo fértil e a água simbolizam a resistência e a esperança da população.

APOIO:



Universidade Federal do Tocantins – UFT

Câmpus Universitário de Palmas

Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais - LAMAM/UFT

Endereço:

109 N Av. NS 15, ALCNO 14 S/N, CEP: 77.001-090, Palmas – TO, Brasil
(63) 3232-8152

Clima, Uso da Terra, Desenvolvimento e Mudanças Regionais

(Grupo de Pesquisa CNPq/ UFT)

dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/7961077765333507



Universidade de São Paulo - USP

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

Departamento de Ciências Atmosféricas

Laboratório de Clima e Biosfera - LCB/IAG/USP

Endereço:

Rua do Matão, 1226 - Cidade Universitária, CEP: 05508-090
São Paulo – SP, Brasil
(11) 3091-4772

Website: <http://www.iag.usp.br/lcb>

Relações Clima, Água e Biosfera

(Grupo de Pesquisa CNPq/ USP)

dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/1204



Título da obra: "Tem o tempo da poeira, tem o tempo da chuva"
Autora: Bruna de Freitas Moreira, Bromou

ISBN: 978-65-5390-006-6

