



SIMULAÇÕES PARA PRODUZIR SOJA DE FORMA SUSTENTÁVEL NA REGIÃO DO MATOPIBA¹

SIMULATIONS TO MAKE SUSTAINABLE SOYBEAN PRODUCTION IN MATOPIBA REGION

SIMULACIONES PARA PRODUCIR SOJA SOSTENIBLE EN LA REGIÓN DE MATOPIBA

Milena Monteiro Feitosa²
José de Jesus Sousa Lemos³
Kilmer Coelho Campos⁴

RESUMO

A produção de soja avança significativamente a partir dos anos noventa na região do MATOPIBA, composta pelos Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Este trabalho objetiva simular a capacidade de produzir soja de forma sustentável naquela região, sem que novas áreas sejam desmatadas e tampouco avancem sobre as áreas destinadas à produção dos agricultores familiares. Utilizam-se dados da Produção Agrícola Municipal do IBGE no período de 1990 a 2016. Elaboram-se simulações em que se impuseram limites máximos para as áreas a serem colhidas com soja nos estados, de tal sorte que não avancem sobre aquelas dos agricultores familiares e não ultrapassem um valor teto simulado. Impõe-se assim que o crescimento da produção de soja na região, a partir daquelas áreas superiores, aconteça apenas via crescimento da produtividade por hectare. Cria-se o índice de sustentabilidade (ISUS) usando método de análise fatorial com a técnica de decomposição em componentes principais. Testam-se as diferentes simulações de respostas entre os diferentes estados no que se refere aos valores médios do ISUS e simula-se a sua provável taxa de crescimento no período investigado que foi de 1990 a 2016. Os resultados obtidos mostram ser possível produzir soja nessa região, com TGC positivas, sem que se avance em áreas ainda não desmatadas e/ou ocupadas pelos agricultores familiares. Isso é possível porque as produtividades que permitem obter esses resultados foram observadas nos estados nos anos que compõem a série histórica analisada. Conclusão geral da pesquisa: é possível cultivar soja de forma sustentável na região do MATOPIBA.

Palavras-Chave: Desenvolvimento Rural Sustentável. Agricultura Familiar. Modernização agrícola. Preservação ambiental.

¹Trabalho extraído da Dissertação de Mestrado em Economia Rural pela Primeira Autora sob a orientação do segundo autor.

²Mestre em Economia Rural pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Pesquisadora do Laboratório do Semiárido (LabSar), UFC. Fortaleza. Ceará. Brasil. E-mail: milenamonteirofeitosa@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3748-2395>

³Doutor em Economia pela Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil. Professor Titular do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. Coordenador do Laboratório do Semiárido (LabSar) na UFC. Fortaleza. Ceará. Brasil. E-mail: lemos@ufc.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1460-0325>

⁴Doutor em Economia pela Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil. Professor Associado II do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza – Ceará. Brasil. E-mail: kilmer@ufc.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7752-2542>

ABSTRACT

Soybean production has advanced significantly since the 1990s in the MATOPIBA region, comprising the states of Maranhão, Tocantins, Piauí and Bahia. This work aims to simulate the capacity to produce soybean in a sustainable way in that region, without new areas being deforested or advancing over the areas destined for the production of family farmers. IBGE Municipal Agricultural Production data from 1990 to 2016 is used. Simulations are elaborated in which maximum limits were imposed for the areas to be harvested with soybean in the states, in such a way that they do not advance over those of family farmers and do not exceed a simulated threshold value. Thus, it is imperative that the growth of soybean production in the region, from those “upper areas”, happen only by productivity growth per hectare. The sustainability index (ISUS) is created using a factor analysis method with the decomposition technique into main components. The different simulations of responses between the different states are tested with respect to the average values of the ISUS and its probable growth rate is simulated in the investigated period from 1990 to 2016. The results obtained show that it is possible to produce soybean in this region, with positive geometric growth tax (GGT), without advancing in areas not yet deforested and / or occupied by family farmers. This is possible because the productivities that allow obtaining these results were observed in the states in the years that compose the analyzed historical series. General conclusion of the research: it is possible to grow soy in a sustainable way in the MATOPIBA region.

Keywords: Sustainable Rural Development. Family Farms Soybean. Agricultural Modernization. Environmental Preservation.

RESUMEN

La producción de soja ha avanzado significativamente desde la década de 1990 en la región de MATOPIBA, que comprende los estados de Maranhão, Tocantins, Piauí y Bahía. El objetivo de este trabajo es simular la capacidad de producir soja de manera sostenible en esa región, sin deforestar nuevas áreas o avanzar en las áreas destinadas a la producción de agricultores familiares. Se utilizan datos de la Producción Agrícola Municipal de IBGE de 1990 a 2016. Se elaboran simulaciones en las que se imponen límites máximos para las áreas que se cosecharán con soja en los estados, de tal manera que no avancen sobre las de los agricultores familiares y no exceda un valor máximo simulado. Por lo tanto, es imperativo que el crecimiento de la producción de soja en la región, desde esas áreas superiores, ocurra solo a través del crecimiento de la productividad por hectárea. El índice de sostenibilidad (ISUS) se crea utilizando un método de análisis factorial con la técnica de descomposición en componentes principales. Las diferentes simulaciones de respuestas entre los diferentes estados se prueban en relación con los valores promedio de ISUS, y su tasa de crecimiento promedio (TGC) se simula en el período investigado, que fue de 1990 a 2016. Los resultados obtenidos muestran que es posible producir soja en esta región, con TGC positivo, sin avanzar en áreas aún no deforestadas y / u ocupadas por agricultores familiares. Esto es posible porque las productividades que permiten obtener estos resultados se observaron en los estados en los años que componen las series históricas analizadas. Conclusión general de la investigación: es posible cultivar soja de manera sostenible en la región de MATOPIBA.

Palabras clave: Desarrollo Rural Sostenible. Agricultura Familiar. Modernización Agrícola. Preservación del Medio Ambiente.

Como citar este artigo: FEITOSA, Milena Monteiro; LEMOS, José de Jesus Sousa; CAMPOS, Kilmer Coelho. Simulações para produzir soja de forma sustentável na região do Matopiba. **DRd - Desenvolvimento Regional em debate**, v. 10, p. 196-221, 23/04/2020. DOI: <https://doi.org/10.24302/drd.v10i0.2629>

Artigo recebido em: 21/12/2019

Artigo aprovado em: 08/04/2020

Artigo publicado em: 23/04/2020

1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira passou por profundas transformações em meados dos anos de 1960 ao final dos de 1980, como decorrência das estratégias de modernização agrícola ancoradas no crédito rural subsidiado destinado à aquisição de insumos modernos como agroquímicos, máquinas e demais equipamentos agrícolas. Estratégia que foi associada à um processo de substituição das importações, tal como então era preconizado por economistas da Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL). Essa modalidade de política privilegiou a produção nacional tanto na área mecânica quanto na área química. Foi um processo que favoreceu a consolidação do setor de insumos modernos proporcionando um incremento substancial no seu uso. Isso foi favorecido por uma conjuntura que incluía a expansão da, então ainda abundante, fronteira agrícola e da dinamização das exportações agrícolas favorecidas por um mercado externo em expansão. Esse conjunto de ações ficou conhecido na literatura como Complexos Agroindustriais (SZMRECSÁNYI, 1983; KAGEYMA, 1987).

Aliado às políticas de crédito, ao crescimento do mercado de insumos e ao acesso ao mercado externo, houve também o incentivo à pesquisa, desenvolvendo a ciência e a tecnologia, fato este que proporcionou o domínio de ecossistemas antes considerados impróprios para a agricultura, diversificando intensamente a produção agrícola e impulsionando ainda mais as exportações brasileiras de produtos agropecuários. Isso foi possível com a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em 1974.

Nos anos de 1980 a crise fiscal que provocou explosão da inflação se rebateu sobre a produção da agricultura no Brasil, provocando crise no setor. A crise provocada pela elevação dos preços do petróleo no começo dos anos setenta, que perdurou nos anos oitenta, encareceu internamente os insumos importados que eram utilizados nessa produção. A crise fiscal do Estado Brasileiro também provocou redução na disponibilidade de recursos para fomentar os impulsionadores investimentos governamentais por meio das intervenções nas políticas de crédito rural e preços mínimos. Em 1985, já se havia desenhado uma nova política agrícola mais voltada para o mercado interno (ARAÚJO, 2011).

Em 1986 o governo do então Presidente Sarney adotou política macroeconômica heterodoxa destinada a controlar a hiperinflação que então provocava desequilíbrios internos. Em fevereiro daquele ano foi lançado o plano cruzado que se ancorava principalmente no congelamento geral de preços e que, também por isso, exerceu desdobramentos importantes na agricultura brasileira, provocando-lhe dificuldades.

As mudanças na moeda não surtiram o efeito esperado pelo governo de então, devido ao descontrole das contas públicas e, em 1990, com a ascensão do primeiro governo eleito diretamente pela população, depois da retirada dos militares do poder, surgiu outro plano econômico de estabilização monetária que também teve impactos decisivos sobre a produção agrícola brasileira. Aquela política de estabilização foi acompanhada de valorização da taxa de câmbio, então fixada pelo Banco Central, diretamente vinculado ao Poder Executivo. Isso impactou ainda mais as já difíceis condições de exportações do setor agrícola exportador brasileiro (MARANGONI, 2012).

Mesmo com aquelas dificuldades, nos anos de 1980 surgiram outras frentes agrícolas no Nordeste e no Norte do País. Começava ali o desbravamento de uma nova fronteira agrícola. Ancorada nas tecnologias desenvolvidas pela EMBRAPA para o cultivo agrícola em áreas de Cerrados. Essas novas áreas começaram voltadas para a produção de grãos no Cerrado. Na década de 1990, o cultivo da soja adentrou de modo mais incisivo a região denominada pelo acrônimo de MATOPIBA, por congregar as fronteiras dos Estados do Maranhão, de Tocantins, do Piauí e da Bahia (OLIVEIRA; SOUSA, 2006).

O desenvolvimento de técnicas agrícolas a fim de aumentar a produtividade e, por sua vez, tornar mais competitiva a produção da soja na região do MATOPIBA, colaborou para um melhor resultado no crescimento do negócio agrícola intensivo em capital no Brasil em períodos mais recentes.

Contudo, o avanço da produção agrícola no MATOPIBA está provocando implicações importantes na modificação do ecossistema de Cerrados onde é predominantemente cultivada aquela oleaginosa. Devido ao avanço da soja nesse ecossistema, o Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS) constatou que foram desmatados no bioma do Cerrado aproximadamente 997.063 km² entre os anos de 2002 e 2011. No Relatório Técnico Monitoramento do Bioma Cerrado do período 2010-2011, o desmatamento totalizou 4.766,43 km², assim distribuídos: 1.310,62 km² localizados no Estado de Maranhão; 1.160,61 km² no Estado de Tocantins, 1.292,23 km² no Estado de Piauí e 1002,97 km² no Estado da Bahia (BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2015).

Observa-se também que as áreas de soja avançam sobre aquelas cultivadas pelos agricultores familiares. Os produtores de soja das regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, onde as terras ficaram relativamente mais caras, migraram para aquelas fronteiras desses quatro estados aonde prevaleciam agricultores familiares extremamente carentes, com áreas reduzidas e voltadas para a produção de alimentos (arroz, feijão, mandioca e milho, principalmente), em geral sem o uso de qualquer tecnologia, num regime praticamente de subsistência. (LEMOS, 2015).

Assim, a fim de alcançar uma produção agrícola sustentável no MATOPIBA de um ponto de vista econômico, mas reduzindo o avanço do desmatamento, é importante que seja via aumento da produtividade da terra e não via elevação das áreas plantadas. Isso porque avanço da produção por via da expansão de áreas só pode acontecer de duas formas que não são excludentes: avanço da fronteira agrícola com mais desmatamentos da vegetação nativa dos Cerrados e/ou mediante a compra das áreas dos agricultores familiares nativos que, por isso, precisarão emigrar em condições precárias para cidades de médios e grandes portes.

Assim, esta pesquisa tenta responder às seguintes perguntas: Seria possível a obtenção dos atuais níveis de produção de soja nos estados do MATOPIBA sem que haja mais desmatamentos ou avanço sobre as áreas destinadas ao cultivo das lavouras alimentares pelos agricultores familiares? Em quais estados que compõe a região essa possibilidade poderia ser mais e menos promissora?

Fica explícito que o estabelecimento de áreas máximas para as lavouras de soja, ou de quaisquer outras na região do MATOPIBA somente seria possível se forem criados mecanismos oficiais de regulamento do uso das terras naquelas áreas. O estudo pode contribuir para subsidiar também os governos daqueles quatro estados para estabelecerem limites espaciais de expansão das áreas de lavouras intensivas em capital.

Nessa perspectiva, o objetivo geral deste trabalho é simular a capacidade de produção da soja nos níveis atualmente praticados na região do MATOPIBA, caso fossem estabelecidos limites máximos de expansão para as áreas cultivadas com essas lavouras.

De forma específica, o estudo busca: a) simular a construção de índices de sustentabilidade para a produção de soja em cada um dos estados que faz parte do MATOPIBA entre os anos de 1990 e 2016; b) avaliar se a produção de soja se sustentaria nos Estados que compõem o MATOPIBA, caso as simulações feitas no estudo se materializassem efetivamente; c) aferir as diferenças médias entre os níveis de sustentabilidades simuladas para os estados do MATOPIBA.

O trabalho está estruturado da seguinte forma. Além desta Seção introdutória, tem mais quatro Seções. Na Segunda Seção o artigo faz uma síntese da expansão da soja bem como acerca a sua relevância para a economia brasileira. Na terceira Seção se apresenta a metodologia utilizada na pesquisa. Na quarta são apresentados e discutidos os resultados para, finalmente na quinta seção serem apresentadas as Considerações Finais.

2 A EXPANSÃO DA SOJA E SUA IMPORTÂNCIA NA ECONOMIA BRASILEIRA

Nos últimos anos, a soja é um dos grãos mais produzidos e consumidos no mundo. Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, ficou demonstrado que, de 2003 a 2013, o consumo mundial da soja aumentou 57% (269,7 milhões de toneladas), a produção demonstrou crescimento de 62% (284 milhões de toneladas). O principal importador da *commodity* é a China, sendo o seu consumo servindo de matéria-prima para a agroindústria de ração animal (USDA, 2014).

De acordo com a ilustração mostrada no Tabela 1, as maiores safras de 2015/2016 ainda pertencem aos Estados Unidos (106,9 milhões de toneladas), ao Brasil (96,5 milhões) e à Argentina (56,8 milhões). Segundo o Anuário Brasileiro da Soja de 2016 (KIST, 2016), em decorrência das condições climáticas enfrentadas no período, o ano de 2016 registrou redução na sua produtividade em comparação ao período anterior. A região do MATOPIBA foi a mais prejudicada pela falta de chuvas provocada pelo fenômeno *El Niño*, recuando 36,8% da produção dos estados do Nordeste que lhe fazem parte (KIST *et al.*, 2016).

Tabela 1 – Principais produtores de soja em 2016 segundo a *Food and Agriculture Organization* (FAO).

Países Produtores	Estados Unidos	Brasil	Argentina	China	Outros
Produção (Milhões ton)	106,9	96,5	56,8	11,61	41,95
Relativo (%)	34,17	30,83	18,15	3,71	13,41

Fonte: FAO (2016)

A produção mundial da soja de 2018/19, segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) foi de 358,6 milhões de toneladas. Para a safra brasileira de soja para 2019/20, está prevista uma produção de 126 milhões de toneladas, ultrapassando os EUA e fazendo com que o País se torne o maior produtor mundial do grão, tendo em vistas que a previsão da produção da soja para os EUA é de 96,8 milhões de toneladas. Esse montante da produção americana do grão representa uma queda de 19,6% em relação à safra de 2018/19, devido a problemas climáticos acontecidos naquele País. Em relação às exportações mundiais do grão é esperada que o Brasil exporte 77 milhões de toneladas, representando um volume recorde de 50,7% das exportações globais projetadas para o período 2019/2020 (CARVALHO *et al.* 2019; DEAGRO, 2020).

O bioma dos cerrados se estende em amplos espaços desses quatro estados, sobretudo nas suas áreas de fronteiras. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) desenvolveu tecnologias para o cultivo de soja nesse tipo de solo, e isso atraiu produtores das regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste. Ressalte-se que boa parte dos agricultores daquelas regiões veio quando aquelas áreas ainda eram bastante inóspitas no começo dos anos oitenta. Eles foram atraídos pelos baixos preços das terras que se praticavam na ocasião. Isso aconteceu como decorrência do seu encarecimento nas suas áreas de origem em virtude, principalmente, da demanda por terras, principalmente, para produzir soja. Contudo, foi a partir da década de 1990 que se observou expressiva evolução do cultivo de terras com essa cultura (LEMOS, 2015; MIRANDA, 2015).

Tomando como exemplo o Maranhão, o estado que possui a maior quantidade de municípios no MATOPIBA, tanto em termos absolutos como relativos, em 1980 o IBGE contabilizou a existência de apenas 80 hectares de áreas com soja. No começo dos anos noventa aconteceu uma verdadeira explosão das áreas ocupadas com a oleaginosa, inicialmente nos cerrados do sul do estado, e depois se espraiando para a região do Baixo Parnaíba, no leste maranhense (LEMOS, 2015).

Fenômeno parecido aconteceu em todos os estados da região do MATOPIBA, como se pode constatar pela evolução das áreas consolidada com a cultura de todos os estados ente os anos de 1990 e 2015, que está mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 – Evolução quinquenal das áreas com soja no MATOPIBA, bem como das suas participações em relação às áreas do Centro-Oeste e Brasil entre 1990 e 2015

Anos	MATOPIBA (1)	CENTROOESTE (2)	BRASIL (3)	Relação (%) (1)/(2)	Relação (%) (1/3)
1990	403.070	3.894.482	11.584.734	10,3	3,5
1995	591.156	4.554.047	11.702.919	13,0	5,1
2000	904.995	5.537.597	13.693.677	16,3	6,6
2005	1.795.831	10.882.566	23.426.756	16,5	7,7
2010	2.206.853	10.882.566	23.339.094	20,3	9,5
2015	3.681.903	14.989.590	32.206.387	24,6	11,4
TGC	9,8% a.a.	6,3% a.a.	4,8% a.a.	1,6	2,0

Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE, vários anos.

TGC é a taxa geométrica de crescimento estimada pela equação: $\ln(Y_t) = \beta_0 + \beta_1 T + \epsilon_t$ em que Y_t (t= 1990, 1991, ..., 2016) pode ser as áreas anuais de soja no MATOPIBA, Brasil e Centro-Oeste; o coeficiente angular multiplicado por 100 é a TGC associada à variável que está do lado esquerdo em logaritmos naturais. Esse coeficiente foi estatisticamente diferente de zero com menos de 1% de probabilidade de erro.

Observa-se que, em 1990, as áreas com soja do MATOPIBA representavam apenas 10,3% das observadas para a Região Centro-Oeste e apenas 3,5% das áreas observadas no Brasil. Em 2015 essas áreas do MATOPIBA saltaram para uma participação relativa de 24,6% e 11,4%, respectivamente, das observada no Centro-Oeste e no Brasil. Constata-se ainda que o crescimento das áreas com soja no MATOPIBA se deu de forma muito mais acelerada do que no Centro-Oeste e Brasil. Isso comprova a relevância dessa região como produtora de soja no Brasil a partir dos anos noventa (Tabela 2).

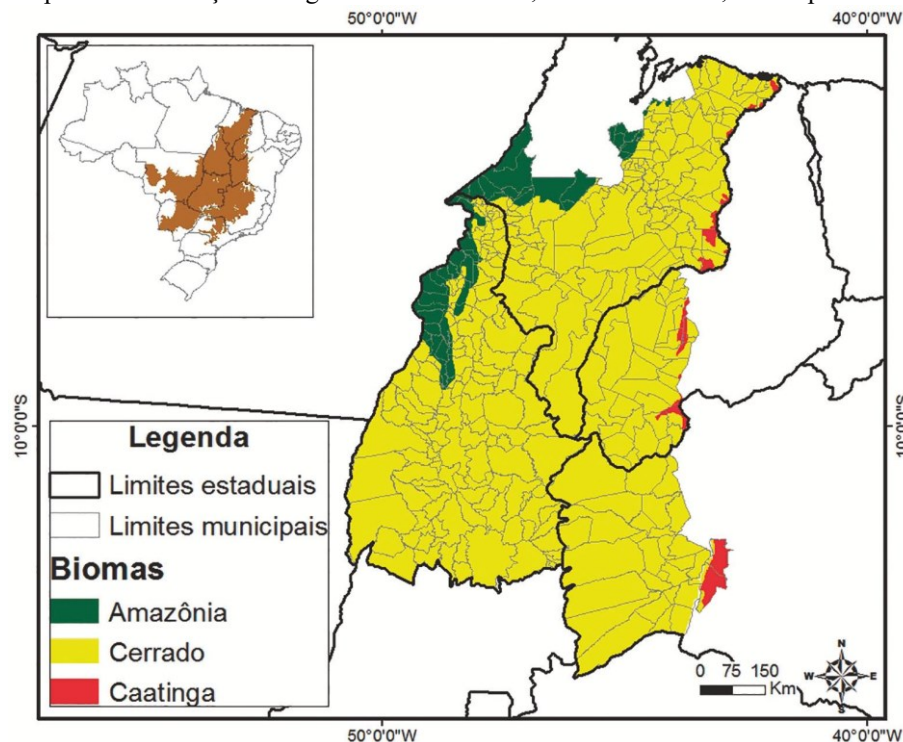
Em 2015 a região do MATOPIBA estava composta por 337 municípios cuja área total era de 73 milhões de hectare, dos quais 3,7 milhões estavam ocupados com a soja. A população estimada para o IBGE em 2017 era de 27 milhões de pessoas.

A produção aproximada das atividades agrícolas intensivas em capital, incluindo soja, milho híbrido e algodão herbáceo, principalmente dos estados que compõem o MATOPIBA, é a seguinte: 33% no Maranhão, em 135 municípios que fazem parte da região; 38% no Tocantins, com 139 municípios inclusos nessa região; 11% no Piauí, que tem 13 municípios na região; e 18% na Bahia, com 30 municípios fazendo parte do MATOPIBA. Abrangendo 324.326 mil estabelecimentos agrícolas, 46 unidades de conservação, 35 áreas em terras indígenas, 781 assentamentos de reforma agrária e áreas quilombolas (MIRANDA, 2015; SILVA *et al.*, 2016). No Mapa 1 se mostra a delimitação do MATOPIBA e os biomas que compõem a região.

Os principais motivos para a expansão da soja nas regiões Centro-Oeste e Nordeste são: a) incentivos fiscais relacionados às novas áreas para a produção agrícola. No caso da área do Cerrado, tem-se o Programa Nipo-Brasileiro de Cooperação para o Desenvolvimento do Cerrado (PRODECER); b) inserção de empresas que produzem e processam grãos e carnes; c)

baixo valor das terras; d) terras planas que favorecem uma agricultura mecanizada e; e) ocupação de produtores vindo das regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste do País como bom nível econômico e detentores de alta tecnologia (ESPÍNDOLA; CUNHA, 2015).

Mapa 1 – Delimitação da região do MATOPIBA, limites estaduais, municipais e biomas



Fonte: Buainain *et al.* (2017)

Reunindo um conjunto de ecossistemas como savanas, matas, campos e matas de galeria, o Cerrado possui clima estacional, com precipitação anual de 1.500 mm, um período chuvoso (de outubro a março), seguido de um período seco (de abril a setembro) e temperaturas médias anuais (de 22°C a 27°C). Os solos são ricos em alumínio, com elevada acidez que, porém, não impedem a expansão da produção agrícola. Esse problema é superado com a utilização de calcário para contornar a acidez, e pela utilização de fertilizantes para torná-los mais produtivos (KLINK; MACHADO, 2005; VIEIRA FILHO, 2016).

A expansão das áreas agrícolas observada no bioma Cerrados gerou, pelo menos dois tipos de preocupações. Uma relacionada à preservação ambiental, em razão do avanço das lavouras em novas áreas via desmatamento. Outra preocupação se refere ao crescimento econômico desigual, provocando exclusão social para a região do MATOPIBA, principalmente no início dos anos 2000.

Com a expansão da agricultura intensiva em capital nas áreas de Cerrado no Norte e Nordeste, com as atividades agrícolas possuidoras de alta concentração de capital e tecnologia, cria-se, com essa expansão, uma descentralização da produção antes concentrada em áreas Centro-Oeste.

O MATOPIBA é considerado como a nova fronteira agrícola brasileira, com oportunidades de investimento, condições para atividades agroindustriais, porém desconsidera

os aspectos sociais, culturais e ambientais (LIMA *et al.*, 2016). Há assim preocupação com a sustentabilidade das atividades agrícolas naquela região, nas suas diferentes dimensões: ecológica, econômica, social, cultural, espacial, política (nacional e internacional), jurídico-política, ética, psicológica e tecnológica (BRAUN; ROBL, 2015; IAQUINTO, 2018).

Segundo Sachs (2008), Braun, Robl (2015) e Iaquinto (2018), as dez dimensões que representam a sustentabilidade, podem ser resumidas a seguir.

- a) Dimensão Social: atua a partir de um crescimento econômico, que assegure uma distribuição de renda justa e acesso aos serviços essenciais, sendo capaz de reduzir as desigualdades sociais.
- b) Dimensão Econômica: resultado de ações públicas e privadas, com o objetivo de alocar e gerir de modo eficiente os recursos, diminuindo a dicotomia entre os parâmetros microeconômicos e macroeconômicos.
- c) Dimensão Ecológica ou Ambiental: respeito das atividades econômicas em relação ao uso dos recursos não renováveis, busca a preservação do meio ambiente, sob uma concepção de interesse coletivo.
- d) Dimensão Espacial ou Territorial: observando que a má distribuição espacial dos assentamentos urbanos é uma das causadoras dos problemas ambientais. A urbanização sem planejamento das cidades causada pelo êxodo rural, decorrente do não desenvolvimento rural, é uma das causas de desequilíbrio espacial de conglomerados humanos;
- e) Dimensão Cultural: promoção e preservação da história, tradições e valores de cada região, bem como o acompanhamento de transformações e garantia a toda a população do acesso à informação e ao conhecimento, cujo objetivo é investir na elaboração ou reforma de equipamentos culturais.
- f) Dimensão Política (nacional e internacional): liberdade das populações de definir sobre o seu futuro, devendo existir o empoderamento das pessoas que compõem a sociedade e que serão beneficiadas pelas políticas intervencionistas com o objetivo de alcançar o seu desenvolvimento.
- g) Dimensão Jurídico-política: a sustentabilidade é um princípio constitucional, sendo assim deve-se assegurar o direito ao meio ambiente, por meio da proteção e preservação do mesmo.
- h) Dimensão Ética: propagação da ética baseada no reconhecimento da ligação de todos os seres e do impacto das ações e omissões, bem como a compreensão do meio ambiente fazer parte de todo o sistema.
- i) Dimensão Psicológica: estudo do ser humano e sua relação com as demais dimensões, como a cultural, a social, a política e a econômica.
- j) Dimensão Tecnológica: geração de conhecimento científico que ajude no avanço da tecnologia, a fim de alcançar uma sociedade mais sustentável.

Em áreas de baixa renda, em que as atividades agrícolas desempenham papel relevante na formação da renda, prevalecem baixos padrões tecnológicos que são, a um só tempo, causa e efeito dos baixos níveis de renda que prevalecem nesses ambientes.

O desafio que se coloca é: como promover modernização na agricultura das regiões Norte e Nordeste, onde estão os estados que fazem parte do MATOPIBA sem provocar esses “desfavoráveis efeitos”?

Porque se sabe que alcançar o desenvolvimento sustentável é de grande importância, pois, com o uso de técnicas adequadas, é possível atingir as necessidades do presente sem prejudicar as necessidades das gerações futuras, promovendo o aumento da renda, a melhoria da qualidade de vida e a diminuição dos efeitos das produções e do consumo sobre o meio ambiente (ROMEIRO, 2012).

Essa busca do desenvolvimento sustentável é imprescindível. Embora numa perspectiva de economia liberal há que haver a participação do Estado, investindo em assistência técnica de qualidade, extensão rural, acesso ao crédito rural como o PRONAF, e a promoção de novos conhecimentos para aumentar a resiliência perante as vulnerabilidades técnicas, sociais e ambientais que permeiam a produção agrícola familiar, sobretudo no Nordeste e nas áreas dentro ou no entorno do MATOPIBA, incluindo parte do Estado de Tocantins, que faz parte da região Norte.

Em relação ao fortalecimento da agricultura familiar, sobretudo se está sob ameaça de perder espaços devido ao avanço de atividades mais modernas, faz parte da estratégia para evitar que a modernização da agricultura proporcione os efeitos desfavoráveis referidos por Kusz (2014). Desta forma torna-se necessária e desejável a interação das políticas macroeconômicas que melhorem as condições de um conjunto de produtores e não somente alguns; políticas que expressem estratégias de redução da pobreza tanto urbana quanto rural, gerando empregos e fortalecendo as economias regionais e o mercado interno; ter políticas voltadas para a “emancipação”, em termo de competitividade dos seus beneficiários para entrar no mercado; e ter uma massa crítica mínima de agricultores familiares que possam dar o estopim para o desenvolvimento local (BUAINAIN *et al.*, 2003).

Buscar incessantemente praticar uma agricultura sustentável mostra a crescente insatisfação do *status quo* da agricultura moderna. Indica o desejo da sociedade de que possuam sistemas produtivos que, ao mesmo tempo, conservem os recursos naturais e ensejem produtos mais saudáveis, não comprometendo o avanço tecnológico. Um dos desafios que se vislumbra nas áreas promissoras produtoras intensivas em capital no MATOPIBA é conciliar esses interesses: avanço da agricultura moderna voltada para o negócio agrícola que não gere como subproduto o passivo ambiental (BEZERRA, 2000; SEIDLER, 2018).

A sustentabilidade econômica que é o objeto desta pesquisa está assentada na possibilidade da produção de soja se manter no futuro sem que haja a necessidade de incorporar novas áreas que implicariam em mais desmatamentos ou avanços sobre as áreas que são ocupadas pelos agricultores familiares que já ocupavam aquelas áreas desde os seus ancestrais familiares. Avanços sobre essas áreas, têm impactos culturais e sociais muito importantes e precisam ser estancados de alguma forma. Esta pesquisa aposta que a saída tecnológica seria a menos traumática, porque traria benefícios generalizados, além dos econômicos já praticamente consolidados no MATOPIBA. Assim, no estudo afere-se sustentabilidade na sua vertente

econômica, avaliando como se comportaria a produção de soja no MATOPIBA se as áreas fossem “congeladas” em um determinado patamar, e a produção atualmente obtida fosse conseguida apenas via incremento da produtividade da terra, ou seja, via tecnologias capazes de serem praticadas, e que inclusive já foram ou são observadas na própria região.

3 METODOLOGIA

Os dados utilizados na pesquisa foram secundários, coletados a partir de informações da Produção Agrícola Municipal (PAM), disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Todos os valores nominais anuais foram corrigidos para o ano 2016 utilizando o índice geral de preços – disponibilidade interna (IGP – DI) da Fundação Getúlio Vargas. O período escolhido para análise foi de 1990 a 2016.

Para se alcançar o objetivo do trabalho sobre a sustentabilidade da produção de soja na região do MATOPIBA, no âmbito econômico, a pesquisa desenvolveu o Índice de Sustentabilidade (ISUS). O ISUS, que se trata de uma simulação estatística que consiste na combinação de indicadores devidamente ponderados, cuja soma é igual a um.

Para tomar a decisão de como simular o ISUS havia algumas opções. Uma dessas seria estabelecer arbitrariamente que cada indicador tinha o mesmo peso na sua elaboração. Esta escolha foi prontamente descartada porque pode suscitar críticas acerca da magnitude desses pesos arbitrários, pois é sempre provável que cada indicador tenha ponderação distinta na formatação do índice.

A segunda opção seria buscar a magnitude dos pesos mediante procedimentos determinísticos ou aleatórios. Entre os processos determinísticos, podem ser empregados métodos de programação linear. Entre os processos estocásticos, aplicam-se métodos de análises de regressão ou análise fatorial.

Nesta pesquisa, optou-se pelo uso deste último instrumento, pressupondo-se que as variáveis envolvidas são todas aleatórias e que ha elevado correlação entre si. Havendo correlação entre as variáveis, o método de programação linear não se aplica. Além disso, a soma dos efeitos individuais não é igual ao efeito total, justamente em virtude das correlações. Este é um dos fundamentos do método de análise fatorial. Optou-se pela decomposição em componentes principais (MAROCO, 2003; HAIR *et al.*, 2005; FÁVERO *et al.*, 2009).

Para a realização da pesquisa se parte das definições que envolvem a produção agrícola. Assim define-se:

A_{it} = Área em hectare colhida com soja no i -ésimo estado i ($i=1, 2, 3, 4$) e no período t ($t = 1990, \dots, 2016$);

R_{it} = Produtividade (kg. ha^{-1}) de soja no estado i e no período t ;

$Q_{it} = A_{it} \cdot R_{it}$ = Produção em toneladas de soja no estado i e no período t ;

P_{it} = Preço da soja em valores de 2016 no estado i e no período t ;

$V_{it} = P_{it} \cdot Q_{it} = P_{it} \cdot A_{it} \cdot R_{it}$ = Valor da produção de soja em reais de 2016, no estado i e no período t .

Identificando Q_i^{mx} = quantidade máxima produzida de soja em cada um dos estados do MATOPIBA e R_i^{mx} = produtividade máxima de soja observada no i -ésimo estado nas séries estudadas. Define-se a área de referência para o estado i como: $\hat{A}_i = (Q_i^{\text{mx}} / R_i^{\text{mx}})$. Uma das simulações feitas na pesquisa é que a área de cada estado ficaria “congelada” nesse valor \hat{A}_i . Simulam-se ainda as seguintes variáveis:

$R_{it} = Q_{it} / A_{it}$, quando $A_{it} \leq \hat{A}_i$. Neste caso a produtividade utilizada é a que ocorreu efetivamente na série;

$R_{it} = Q_{it} / \hat{A}_i$ quando $A_{it} > \hat{A}_i$.

Esta simulação assegura que a produção atual se manterá nos anos “ t ” mesmo quando as áreas com soja permanecerem “congeladas” no seu nível de referência, liberando as áreas excedentes para a produção de alimentos, ou outros tipos de atividades, como recuperação da vegetação original, plantio de árvores ou recuperação natural da cobertura vegetal.

Este é o indicador crucial desta pesquisa na simulação da sustentabilidade da produção de soja no MATOPIBA. Como se verá a seguir, todos os três restantes indicadores apenas serão sustentáveis se for possível o atingimento das produtividades simuladas que assegurem os níveis de produção atuais, com as áreas cultivadas sendo no máximo iguais à área de referência. Sendo isso possível, o desafio será fazer com que o progresso tecnológico avance de forma a permitir que as produtividades simuladas no estudo sejam passíveis de serem recuperadas em patamares já observados em algum, ou alguns anos das séries, tendo em vistas que todas as produtividades simuladas no estudo foram observadas ao longo da série histórica de que se dispunha.

Portanto, como já aconteceram, em alguns anos, o que seria preciso buscar eram as razões por que não aconteceram em outros períodos. Portanto, deixa-se o problema para ser resolvido pela Pesquisa Agrônômica e pelos serviços de Assistência Técnica, Extensão Rural e Fomento Agrícola dos Estados do MATOPIBA, caso as simulações que se fez no estudo revelem que as produções se sustentam “não permitindo” que as áreas se elevem além da simulada como referência.

Tendo definido o primeiro indicador da pesquisa que é a produtividade, define-se o segundo indicador que é a área corrigida (AC_{it}). Isto foi feito mediante as seguintes simulações:

$AC_{it} = (A_{it} / \hat{A}_i)$, nos casos em que $A_{it} \leq \hat{A}_i$. Na medida em que as áreas efetivas A_{it} (menores) tenderem para \hat{A}_i (maiores), a relação tende para 1,0.

$AC_{it} = (\hat{A}_i / A_{it})$ nos casos em que $A_{it} > \hat{A}_i$. Nestes casos os valores se elevam, tendendo para um (1), na medida em que as áreas de referência (menores) tenderem para as áreas efetivas (maiores).

Com esta forma de definição das áreas corrigidas, simula-se que as áreas com soja não deveriam ultrapassar o seu valor de referência no período sob avaliação. A manutenção da produção nos patamares observados nos anos em que as áreas observadas foram superiores às áreas de referência em cada Estado que compõe o MATOPIBA se dará via crescimento da produtividade, o que implica em avanço tecnológico na produção de soja naquela região.

O terceiro indicador é o valor da produção de soja em relação ao PIB (V_{it}/PIB_{it}), que simula o impacto dessa produção na geração da riqueza em cada um dos Estados que compõe o MATOPIBA. Como os valores da produção são definidos pela produção multiplicada pelos preços, que são exógenos às decisões dos agricultores, a sustentabilidade deste indicador acontecerá se houver a evolução dessa relação no tempo, assegurando-se que a produção se manterá sem exceder as áreas de referência, e as produtividades se elevarão em patamares já observados em algum ano nos estados.

Por último se estabelece a condição de que as áreas relativas e cultivadas com soja nos estados do MATOPIBA (AR_{it}) sejam no máximo iguais às áreas destinadas anualmente para a agricultura familiar no estado da região (AF_{it}). Isto assegura que a sustentabilidade da produção de soja será assim considerada se for possível a sua expansão sem ultrapassar as áreas com a produção de arroz, feijão, mandioca e milho naqueles quatro estados. Assim define-se:

$AR_{it} = A_{it} / AF_{it}$ nos casos em que $A_{it} \leq AF_{it}$; e

$AR_{it} = AF_{it} / A_{it}$, nos casos em que $A_{it} > AF_{it}$

Assim, nesta pesquisa há duas simulações de restrições de áreas. As áreas de referência, definidas no texto e as áreas com alimentos. Prevaleceu na pesquisa a menor das duas áreas, para efeito de simulação.

Com base nesses indicadores foram simulados: o Índice Parcial de Produtividade ($IREND_{it}$); o Índice Parcial da Área Corrigida ($IARCOR_{it}$); o Índice da relação valor da produção de soja com o PIB do Estado ($IVEPIB_{it}$); e o Índice Parcial da relação Área da soja e Área das culturas alimentares ($IRAREAS_{it}$).

Os índices parciais, assim simulados, foram denominados, genericamente, por IY_{jt} ($j = 1, 2, 3, 4$), para respectivamente: $IREND_{it}$, $IARCOR_{it}$, $IVEPIB_{it}$ e $IRAREAS_{it}$. Para que se simule sustentabilidade a cada indicador, procede-se a construção de índices parciais em cada indicador utilizado na pesquisa. Para tanto se identifica o valor máximo do indicador (Y_{mx}) que ocorreu durante a série estudada. Atribuiu-se o valor 100 para o máximo e ajustaram-se os demais valores da série de maneira proporcional, de acordo com o que está mostrado na equação (1):

$$IY_{jt} = (Y_{jt} / Y_{mx}) .100 \quad (1).$$

Em razão da maneira como os IY_{it} foram simulados, tendo os seus valores contidos no intervalo de zero (0) a cem (100), quanto mais próximo de 100, maior será sustentabilidade simulada do indicador. Mais próximo de zero, sem incluir este limite inferior, menor será a sustentabilidade simulada. O índice de sustentabilidade simulado (ISUS) na pesquisa se define da seguinte maneira:

$$ISUS_{jt} = \sum w_{jt} IY_{jt} \quad (2).$$

Na equação (2), tem-se o índice de sustentabilidade simulado ($ISUS_{it}$), obtido pela média ponderada dos índices parciais, que devem possuir as características essenciais quando se constrói um índice, como: simplicidade, capacidade de ser reproduzido e facilidade na obtenção e aferição dos indicadores (BRIGUGLIO, 2003).

Adotaram-se os pesos (w_{jt}), que foram gerados com base em cada um dos índices parciais simulados do ISUS. Esses pesos variam entre zero e um, e somam um ($\sum w_{it} = 1$). Os pesos foram estimados utilizando o método de análise fatorial, mediante a técnica de decomposição em componentes principais. O ISUS simulado tem variação de zero (0) a cem (100), e pode ser entendido como percentagem. Mais próximo de 100, maior será a sua sustentabilidade simulada.

Este mesmo procedimento foi feito de forma agregada para os estados que compõem o MATOPIBA, em que os indicadores discutidos para cada estado são agregados para a região como um todo. Como um dos objetivos da pesquisa é comparar os índices de sustentabilidade simulados entre os estados que compõem a região, optou-se por adotar uma única ponderação para os indicadores do ISUS. E essa ponderação é a obtida para os indicadores agregados que foram simulados para o MATOPIBA.

Tendo sido feita a simulação dos ISUS de cada Estado, de acordo com esse critério, simula-se a sustentabilidade da produção da soja nos estados que compõem o MATOPIBA. Para tanto se estimaram as evoluções dos índices de sustentabilidades ($ISUS_{it}$) simulados para cada estado, no tempo. O teste de simulação de sustentabilidade é dado pela equação que afere a taxa média de crescimento anual do ISUS simulado, definida a seguir:

$$ISUS_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 T + \epsilon_{it} \quad (T = 0, 1, 2, \dots, 26) \quad (3).$$

Onde T é o tempo; α_0 é o parâmetro linear; α_1 é o coeficiente angular que mede a derivada de $ISUS_{it}$ em relação ao Tempo (T). Como a variável do lado esquerdo da equação está aferida em percentagem o coeficiente angular (α_1) será a taxa geométrica de crescimento (TGC) do ISUS (WOOLDRIDGE, 2011).

Se a TGC do ISUS simulado for estatisticamente diferente de zero e positiva, assume-se que a simulação realizada mostra que é possível cultivar soja no Estado em áreas menores e sem avançar nas áreas atualmente cultivadas com lavouras alimentares. Caso a TGC apresente valor estatisticamente negativo, pode-se assumir, com a margem de erro associada à estimação da TGC, que a sustentabilidade simulada, tal como preconizada neste estudo, não existe na produção de soja no i -ésimo Estado do MATOPIBA. Caso a TGC não seja estatisticamente diferente de zero, pode-se afirmar que a simulação da produção de soja no Estado que compõe o MATOPIBA, da forma como foi estabelecida neste estudo, é estagnada no tempo. Assim, em

duas situações, se poderá dizer que não há sustentabilidade na evolução da produção de soja no i-ésimo Estado do MATOPIBA, sob as condições impostas neste estudo: se a TGC for nula ou se for negativa.

Além do valor médio dos ISUS simulados, estimam-se os coeficientes de variação (CV). Por definição o CV mede a relação percentual entre o desvio padrão e a média aritmética de uma variável aleatória. O CV tem a utilidade de aferir a heterogeneidade ou a homogeneidade que se observa na distribuição dos valores de uma variável aleatória em torno da sua média. O CV pode ser utilizado como medida de desigualdade e/ou para medir a exatidão de resultados experimentais (GOMES, 1985; GARCIA, 1989; SØRENSEN, 2000).

Uma vantagem de usar o CV nesse tipo de avaliação, em relação a outras medidas de variabilidade, é que permite a comparação entre variáveis de naturezas e aferições distintas (GARCIA, 1989; SØRENSEN, 2000).

Quanto menor o CV, mais homogênea será a distribuição das observações em torno da média. Para usar o CV como medida de aferição de homogeneidade / heterogeneidade de uma distribuição é necessário a definição de seus valores críticos. Gomes (1985) estabeleceu limites para classificação dos CV em experimentação agrícola (Tabela 3).

Tabela 3 – Classificação do CV de acordo com a sua amplitude

Classificação do CV	Amplitude do CV
Baixo	$CV < 10\%$
Médio	$10\% \leq CV < 20\%$
Alto	$20\% \leq CV < 30\%$
Muito alto	$CV \geq 30\%$

Fonte: Gomes (1985)

Para avaliar se há diferença entre os ISUS simulados para os quatro estados do MATOPIBA utiliza-se do teste de contraste de média. Em cada um dos quatro (4) estados da região haverá uma série de pares $(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)$, em que os X_i, Y_i representam, respectivamente emparelhados, os ISUS simulados para o Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

O objetivo desse teste é descobrir se há diferenças significativas entre as médias de cada dois grupos a serem testados. Define-se μ_x a média do ISUS simulado do estado i e no período analisado; μ_y é definida como a média do ISUS simulado do estado j. A hipótese nula (H_0) é dada como é mostrado na equação (4):

$$H_0: \mu_x - \mu_y = \theta \quad (4).$$

Caso se suponha que $\theta = 0$, estará sendo testada a igualdade entre as duas médias, como mostrado na equação (1). Dessa forma, se for rejeitada a hipótese nula, implicará que há diferenças significativas entre as médias das variáveis X e Y e, neste caso escreve-se a hipótese alternativa H_1 que estabelece:

$$H_1: \mu_x \neq \mu_y \quad (5).$$

Em relação à utilização do teste de comparação de médias na presente pesquisa, não é possível conhecer os verdadeiros desvios padrões correspondentes, mas se pode estimá-los. Define-se a variável “ \bar{D} ” como a diferença média estimada de acordo com o contraste indicado

na equação (4). Com as estimativas σ_x e σ_y para os desvios padrões dos dois estados em que se está testando se há diferença entre os respectivos ISUS. Tendo-se obtido a estimativa do desvio padrão para a diferença entre as médias do contraste “ S_d ”, e com o valor de n (número de anos observados, que vem a ser o número de pares do contraste), se define a equação (6) que testa se há diferenças significativas entre as médias:

$$t_c = \bar{D} - \theta / S_d \cdot (\sqrt{n})^{-1} \quad (6).$$

Na equação (6), o quociente definido por t_c tem distribuição “ t ” de *Student*. As regras de decisão estão apresentadas a seguir. Sendo t_c o valor calculado na pesquisa; t_t o valor tabelado da estatística de “*Student*” para um determinado nível de significância estatística:

Se $t_c < t_t$: Aceita-se a hipótese nula (H_0);

Se $t_c > t_t$: Rejeita-se a hipótese nula (H_0).

Maiores detalhes sobre os testes de contrastes de médias podem ser encontrados em Bisquerra, Sarriera, Martínez (2004); Fávero *et al.*, (2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

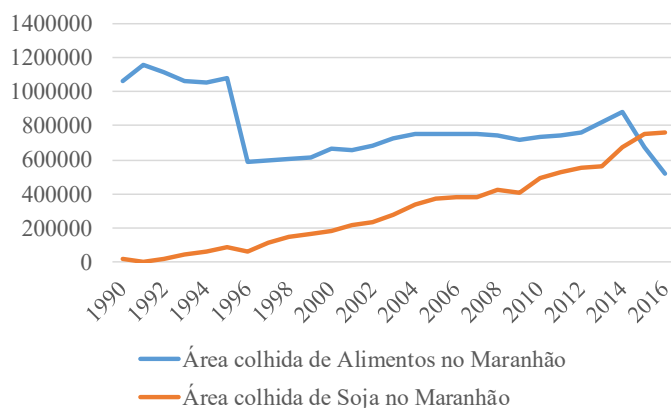
Inicia-se a discussão dos resultados mostrando evoluções geométricas das áreas com lavouras alimentares e com soja nos quatro estados que compõem o MATOPIBA e na região como um todo. Nos Gráficos 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente apresentam-se as trajetórias atuais das áreas colhidas com lavouras alimentares (arroz, feijão, mandioca e milho) e com soja em cada estado e na região do MATOPIBA de forma agregada.

Segundo essa trajetória, observa-se que apenas no Maranhão as trajetórias das áreas colhidas com soja e alimentos se cruzaram ao final do período analisado. Isso aconteceria em 2015. Ano em que as áreas cultivadas com soja superariam as áreas colhidas nesse estado com arroz, feijão, mandioca e milho (Gráfico 1).

Piauí e Tocantins tiveram a ultrapassagem das áreas cultivadas com soja sobre as cultivadas com lavouras alimentares, respectivamente, em 2002 e 2005 (Gráficos, 2 e 3). A Bahia, por sua vez já começa a série analisada, em 1990, com as áreas colhidas com soja superando aquelas destinadas às produções de arroz, feijão, mandioca e milho (Gráfico 4).

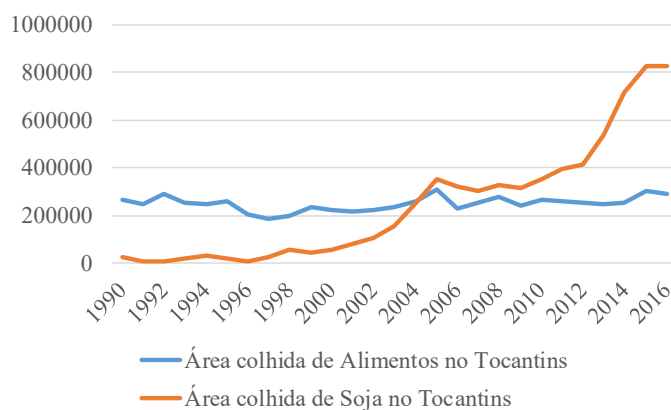
Agregando as áreas colhidas com soja e lavouras alimentares nos municípios que fazem parte do MATOPIBA nos quatro estados, observa-se que em 2003 as áreas agregadas com soja ultrapassaram as áreas com lavouras alimentares na região como um todo (Gráfico 5). Dessas evidências depreende-se que as maiores dificuldades para a implantação de um projeto que envolvesse um avanço das áreas de soja sem que entrasse nas áreas produtoras de alimentos seria bem mais problemático no estado da Bahia.

Gráfico 1 – Trajetórias das áreas colhidas com lavouras alimentares e soja no estado do Maranhão que faz parte do MATOPIBA entre os anos de 1990 e 2016



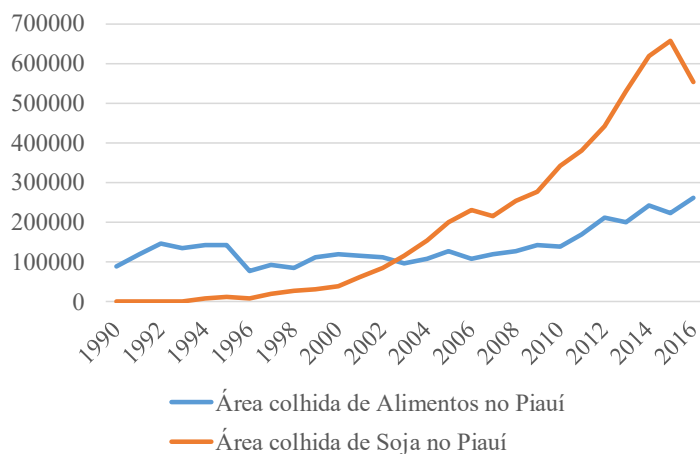
Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE, vários anos

Gráfico 2 - Trajetórias das áreas colhidas com lavouras alimentares e soja no estado de Tocantins que faz parte do MATOPIBA entre os anos de 1990 e 2016



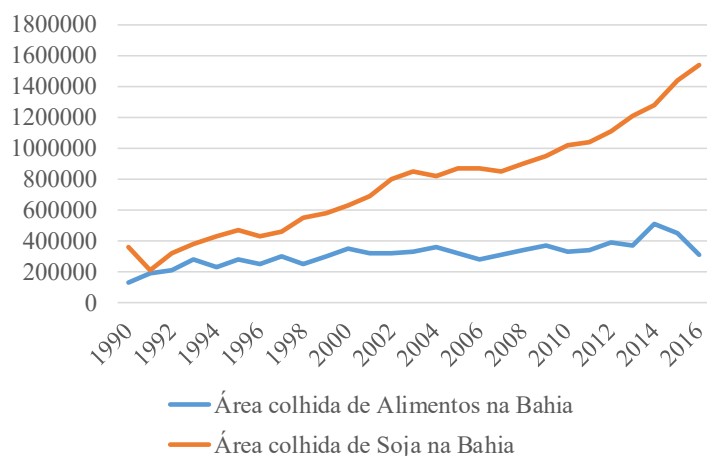
Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE, vários anos

Gráfico 3 - Trajetórias das áreas colhidas com lavouras alimentares e soja no estado do Piauí que faz parte do MATOPIBA entre os anos de 1990 e 2016



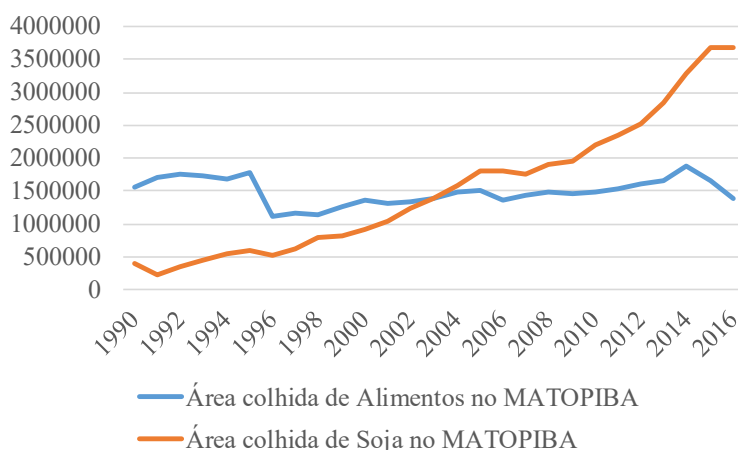
Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE, vários anos

Gráfico 4 – Trajetórias das áreas colhidas com lavouras alimentares e soja no estado da Bahia que faz parte do MATOPIBA entre os anos de 1990 e 2016



Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE, vários anos

Gráfico 5 – Trajetórias das áreas colhidas com lavouras alimentares e soja no MATOPIBA entre os anos de 1990 e 2016



Fonte: Elaborado a partir dos dados do IBGE, vários anos

4.1 RESULTADOS ENCONTRADOS PARA A SIMULAÇÃO DO ISUS

Nesta seção exprimem-se as estimativas dos quatro índices parciais: Índice Parcial de Produtividade ($IREND_{it}$); o Índice Parcial da Área Corrigida ($IARCOR_{it}$); o Índice Parcial da relação do valor da produção da soja e o PIB da região analisada ($IVEPIB_{it}$).

Para a realização da análise fatorial (AF), foi necessário fazer alguns testes para verificar se ela se aplica à disponibilidade de dados da pesquisa. Os testes para verificar os pressupostos de normalidade, linearidade e análise da matriz de correlações denotam valores significativos, mostrando que a técnica é favorável para AF.

É importante ressaltar que a análise fatorial somente se aplica se os valores do teste de KMO que variam entre zero (0) e um (1), forem superiores a 0,5. Quando o KMO exprime valor menor do que 0,5 indica que os componentes encontrados na análise fatorial não conseguem descrever satisfatoriamente as variações nos dados originais. Nestes casos deve-se buscar outros métodos (FÁVERO *et al.*, 2009).

Conforme evidências mostradas na Tabela 4, os resultados dos testes KMO indicaram que a AF seria uma técnica adequada para descrever às variações dos dados originais, sendo os resultados obtidos para o MATOPIBA da ordem 0,521, portanto acima do valor crítico (0,50). A variância explicada pelo componente estimado foi de 72,9%, portanto um percentual bastante elevado. Finalmente a significância do teste de esfericidade de *Bartlett* ($p\text{-value} = 0,000$) completa resultados estatísticos satisfatórios associados às estimativas realizadas. O resultado do teste sugere a existência de correlação entre as variáveis, ou que a matriz de correlação não é uma identidade. Sendo assim a decomposição em componentes principais pode ser utilizada para estimar os pesos associados ao ISUS.

Tabela 4 – Comunalidades, Componentes Principais, Escores Fatoriais, Pesos estimados, teste KMO e Variância Explicada pelos componentes para os dados agregados do MATOPIBA

Indicadores	Comunalidades	Componentes	Escores	Pesos
IREND _{it}	0,644	0,803	0,275	0,24
IARCOR _{it}	0,511	0,715	0,245	0,21
IVEPIB _{it}	0,878	0,937	0,321	0,27
IRAREAS _{it}	0,885	0,940	0,322	0,28
Observação: KMO = 0,621; Variância Explicada = 72,926%				

Fonte: Elaboração própria, em suporte nos dados da pesquisa

4.2 SIMULAÇÃO PARA OS ISUS DOS ESTADOS DO MATOPIBA

Com base nas evidências mostradas na Tabela 4 a equação para simular o ISUS para o MATOPIBA, bem como daqueles utilizados para cada um dos quatro estados é a seguinte:

$$\text{ISUS}_{it} = 0,24. \text{IREND}_{it} + 0,21. \text{IARCOR}_{it} + 0,27. \text{IVEPIB}_{it} + 0,28. \text{IRAREAS}_{it}.$$

A síntese dos resultados encontrados para as simulações dos ISUS do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia está mostrada na Tabela 5, onde são apresentadas as respectivas médias, os desvios padrões (DP), os coeficientes de variação (CV) e as Taxas Geométricas de Crescimento (TGC).

Observa-se que a maior média dos ISUS simulados ficou com o estado da Bahia (53,6%), que também teve a sequência mais estável aferida pelo CV (16,4%). Maranhão teve a segunda maior ISUS simulado (49,46%). Tocantins (40,13%) e Piauí (36,41%) ficaram nas duas últimas posições. Observa-se que o ISUS simulado mais instável, aferido pelo CV foi o do Piauí (CV = 71,0%). Em sequência veio o ISUS simulado para Tocantins (CV = 66,8%) e, por último, o do Maranhão com CV = 52,7%. (Tabela 5)

Tabela 5 – Médias, coeficientes de variação (CV) e taxas geométricas de crescimento dos Índices de Sustentabilidade (ISUS) simulados para Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia entre 1990 e 2016

Estado	Media (%)	CV (%)	TGC (% a.a.)
ISUS MA	49,9	52,7	3,1*
ISUS TO	40,5	66,8	3,3*
ISUS PI	36,8	71,0	2,9*
ISUS BA	53,1	16,4	1,0*

*Significativamente diferente de zero com até 1% de erro

Fonte: Valores estimados a partir dos dados do IBGE, vários anos

Todos as TGC foram significativamente diferentes de zero e positivas. Isso sugere que a produção de soja poderia ser sustentável sob as condições simuladas na pesquisa. Neste aspecto, a produção de soja em Tocantins seria a que se apresentava mais promissora, tendo em vistas que apresenta a maior TGC = 3,2% ao ano. Bahia teria a menor TGC de apenas 0,9% ao ano.

Os testes de contrastes entre as médias dos ISUS simulados estão mostrados na Tabela 6. Por meio dos resultados depreende-se que os ISUS da Bahia e do Maranhão não diferem estatisticamente. Contudo, os ISUS simulados desses dois estados são maiores, estatisticamente, ao nível de menos de 1% de significância estatística, do que os ISUS de Tocantins e Piauí. O ISUS simulado para Tocantins, por sua vez, é estatisticamente maior do que o simulado para o Piauí.

Com base nesses resultados pode-se estabelecer a seguinte hierarquia entre os ISUS médios simulados na pesquisa:

$$ISUS_{(BA)} = ISUS_{(MA)} > ISUS_{(TO)} > ISUS_{(PI)}.$$

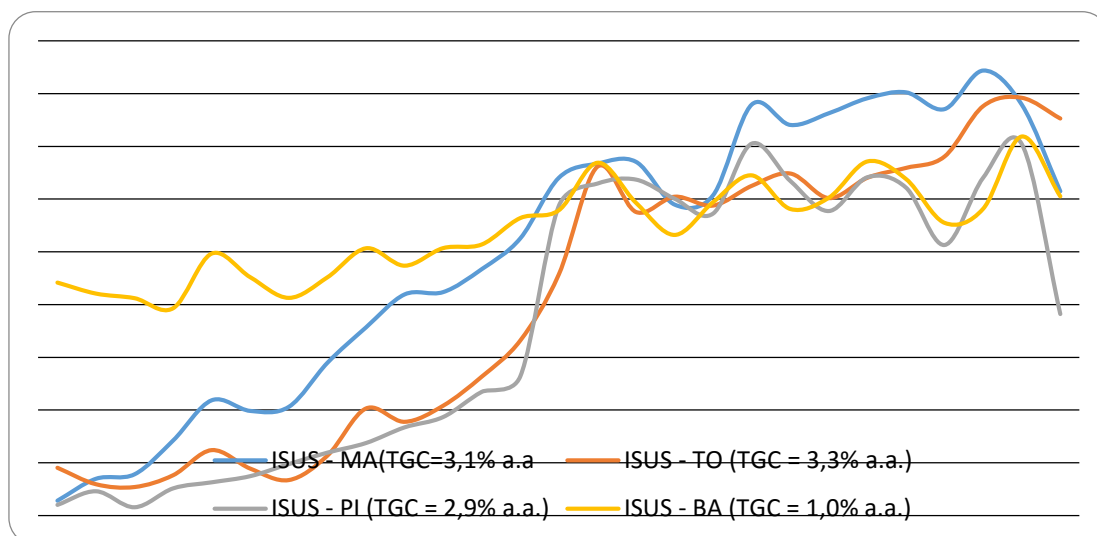
Tabela 6 - Resultados dos contrastes das diferenças entre as médias dos ISUS

Contraste	Diferença média	Desvio Padrão Diferença	Estatística t	Sign.
ISUS BA – ISUS MA	4,12	17,12	1,25	0,222
ISUS BA – ISUS TO	13,44	18,14	3,85	0,001
ISUSBA – ISUS PI	17,17	14,98	5,95	0,000
ISUS MA – ISUS TO	9,32	1,02	47,48	0,000
ISUS MA – ISUS PI	13,05	2,14	31,75	0,000
ISUS TO – ISUS PI	3,72	3,15	6,13	0,000

Fonte: Valores estimados a partir dos dados do IBGE, vários anos

No Gráfico 6 se mostram as trajetórias dos ISUS simulados para os estados que fazem parte do MATOPIBA entre os anos de 1990 e 2016. Observa-se que em todos os casos as TGC foram estatisticamente diferentes de zero e positivas. Isso significa que com as simulações feitas seria possível produzir soja naquela região de forma sustentável. Neste caso Tocantins (TGC = 3,3% a.a) e Maranhão (3,1% a.a) seriam os estados mais promissores. A Bahia teria uma situação menos confortável, no que se refere ao ISUS, mas também experimentação na ordem de 1,0% ao ano (Tabela 5 e Gráfico 6).

Gráfico 6 - Trajetórias dos ISUS simulados para os Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia



Fonte: Valores estimados a partir dos dados do IBGE, vários anos

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No geral os três objetivos da pesquisa foram alcançados, tendo em vistas que foi construído o índice de sustentabilidade (ISUS); avaliou-se como a produção de soja se sustentaria a partir das simulações feitas no estudo; e foram feitas as comparações das médias dos níveis simulados de sustentabilidade nos quatro estados que fazem parte do MATOPIBA.

As simulações realizadas para a construção dos índices de sustentabilidade mostraram que é possível obter os atuais níveis de produção observados nos quatro estados pela elevação da produtividade da terra, a partir de um determinado nível de área máxima. E as produtividades simuladas para que isso aconteça, estão dentro dos patamares observados ao longo do período analisado nos estados que compõem o MATOPIBA. Portanto, as simulações feitas com base em níveis de produtividades observadas nas séries sugerem que os resultados simulados podem ser efetivamente conquistados.

A pesquisa conseguiu hierarquizar as posições dos quatro estados com base nos ISUS simulados. As evidências mostraram que Maranhão e Bahia não apresentaram diferenças significativas nas médias dos seus ISUS simulados. Ambos estados tiveram valores hierarquicamente superiores aos ISUS simulados para Tocantins e Piauí. Piauí foi o estado que apresentou a menor média no ISUS simulado.

Todos os ISUS apresentaram taxas geométricas de crescimento positivas e estatisticamente diferentes de zero, numa evidencia de que é possível ter expansão da produção de soja no MATOPIBA sob as restrições simuladas. Neste aspecto os estados que apresentaram maiores TGC foram Tocantins e Maranhão. A Bahia experimentou a menor TGC.

Os resultados desta pesquisa são todos simulados, por isso apenas se viabilizam parcial ou totalmente, caso fossem feitos zoneamentos agroecológicos nos estados que fazem parte do

MATOPIBA em que se estabelecessem limites para expansão da cultura da soja e outras lavouras intensivas em capital. Contudo, o estudo pode servir como sinalizador para mostrar que é possível cultivar soja naquela região sem avançar com mais desmatamentos de áreas ainda florestadas e sem retirar agricultores familiares. Assim, a produção poderia ser sustentável de um ponto de vista econômico (caso as tecnologias que viabilizem os níveis de produtividade que permitam as produções simuladas na pesquisa sejam economicamente factíveis), e teria importantes impactos ambientais (preservando áreas, fomentando reflorestamento, ou o plantio de árvores fruteiras) e sociais, na medida em que as famílias nativas continuariam produzindo as suas lavouras tradicionais e não precisariam emigrar.

Por fim, a pesquisa respondeu aos dois questionamentos formulados. Primeiro, é possível sim cultivar soja e ter resultados semelhantes aos atuais, sem que haja a necessidade de fazer mais desmatamento, avançar em áreas de fronteira agrícola e tão pouco de substituir as áreas voltadas para os agricultores familiares dos municípios que fazem parte do MATOPIBA continuarem cultivando arroz, feijão, mandioca e milho. O que precisa ser feito, nestes casos, é levar assistência técnica, extensão rural, crédito assistido para esses agricultores incrementarem as suas produções e conseguirem manter a segurança alimentar e fomentar renda pela venda de excedentes.

A segunda questão que foi respondida na pesquisa que indagava qual o estado mais promissor do MATOPIBA para a implantação de um projeto. Tocantins com o ISUS apresentando TGC de 3,3% ao ano e Maranhão, cujo ISUS teve TGC de 3% ao ano seriam os estados mais promissores para a implantação de zoneamentos agroecológicos que estabelecessem limites para a expansão de soja em relação às lavouras alimentares. A Bahia demonstrou ser o estado mais problemático, tendo em vista que apresentou a menor TGC para o ISUS (1,0% a.a.). Além disso, esse estado já no começo dos anos noventa apresentava as áreas colhidas com soja superando as colhidas com alimentos. No entanto, o esforço deve ser mantido no sentido de estabelecer limites para a expansão das áreas com essa lavoura nos quatro estados.

As simulações feitas neste trabalho mostram que é perfeitamente possível produzir os atuais níveis estabelecendo-se limites superiores para a expansão dessas áreas. Piauí está numa posição intermediária, mas nesse estado também o requerido e necessário zoneamento agroecológico experimentará resistências políticas por parte, principalmente, dos produtores da oleaginosa. Mas os resultados de pesquisa científica serão os antídotos para neutralizar essas resistências. E, nesta direção, este trabalho tenta contribuir para que isso aconteça no MATOPIBA. Ele precisará ser complementado com pesquisas agrônômicas para a geração de cultivares mais produtivos, e com custos que permitam a produção em áreas menores (no máximo no tamanho das de referência) sem queda na produção e na renda dos agricultores.

A pesquisa não avaliou os custos associados a esses níveis de produção com maiores produtividades observados na pesquisa, porque os dados que se dispunha não permitiam chegar nessas evidências. Mas o trabalho mostra, através de simulações, que é possível poupar terra e obter patamares elevados de produção de soja via cultivares e tecnologia mais produtivas. Fica, portanto, esse vácuo (o dos custos de produção) a ser estudado em futuros trabalhos. Contudo, como se pretende poupar os avanços na fronteira agrícola via desmatamento e evitar a redução da produção agrícola familiar, os esforços de pesquisa neste sentido serão da maior relevância. Assim seria possível contornar uma dificuldade associada à modernização da agricultura nessa região sem proporcionar os seus indesejáveis efeitos como discutido na Seção 2.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, P. F. Cidade de Política de crédito rural: reflexões sobre a experiência brasileira. **Textos para Discussão CEPAL-IPEA**, 37. Brasília, DF: CEPAL, 2011. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs_Ipea_Cepal/tcepal_037.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2017.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. Rio de Janeiro: IBGE, v. 70, 2010.
- BEZERRA, M. C. L.; VEIGA, J. E. **Agricultura sustentável**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; Consórcio Museu Emílio Goeldi, 2000.
- BISQUEIRRA, R.; SARRIERA J. C.; MARTÍNEZ, F. **Introdução à estatística**. São Paulo: Penso, 2004.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Projeto de monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite (PMDBBS). **Relatório técnico monitoramento do bioma cerrado do período 2010-2011**. Brasília, 2015.
- BRAUN, D. M. R.; ROBL, R. S. O ICMS ecológico como instrumento auxiliar para o alcance da sustentabilidade. *In*: SOUZA, M. C. S. A.; ARMADA, C. A. (org.). **Sustentabilidade meio ambiente e sociedade: reflexões e perspectivas**. Umuarama: Universidade Paranaense, 2015. p. 76-97.
- BRIGUGLIO, L. **The vulnerability index and small island development states: a review of conceptual and methodological issues**. University of Malta, 2003.
- BUAINAIN, A. M.; ROMEIRO, A. R.; GUANZIROLI, C. Agricultura Familiar e o Novo Mundo Rural. **Sociologias**, Porto Alegre, n. 10, p. 312-347, jul/dez 2003.
- BUAINAIN, A. M.; GARCIA JÚNIOR, R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Dinâmica da economia e da agropecuária no MATOPIBA**. Texto para discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7574?mode=simple>>. Acesso em: 20 jan. 2018.
- CARVALHO, C. et al. **Anuário brasileiro da soja 2019**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2019. 96 p.
- DEAGRO. Safra Mundial de Soja. **Boletim Informativo**. Departamento do Agronegócio da FIESP, 2017. Disponível em: <https://sitedefiespstorage.blob.core.windows.net/uploads/2017/10/boletim_soja_novembro2017.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2018.
- DEAGRO. Safra Mundial de Soja. **Boletim Informativo**. Departamento do Agronegócio da FIESP, 2020. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-soja/attachment/file-20200312195652-boletimsojamarco2020/>>. Acesso em: 4 mar. 2020.

ESPÍNDOLA, C. J.; CUNHA, R. C. C. A dinâmica geoeconômica recente da cadeia produtiva da soja no Brasil e no mundo. **GeoTextos**, v. 11, n. 1, p. 217-238, 2015.

FAO. **Food and Agriculture Organization**. Banco Mundial, 2016.

FÁVERO, L. P. L.; BELFIORE, P. P.; SILVA, F. L.; CHAN, B. L. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. São Paulo: Campus, 2009.

FGV. Índice geral de preços – IGP-DI, 2016.

FREITAS, R. E. Análise do potencial de crescimento das exportações agropecuárias brasileiras nos mercados dos Estados Unidos e da Índia. IPEA. **Texto para discussão 2109**, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/4731/1/td_2109.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2017.

GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1989.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. São Paulo: ESALQ/USP, 1985.

HAIR JR., J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

IAQUINTO, B. O. A sustentabilidade e suas dimensões. **Revista da ESMESC**, Florianópolis, v. 25, n. 31, p. 157-178, 2018.

IBGE. **Produção agrícola municipal (PAM)**. Rio de Janeiro. Vários anos.

IBGE. **Produto Interno Bruto**. Rio de Janeiro, 2015.

KAGEYMA, A. (Coord.). **O novo padrão agrícola brasileiro: do complexo rural aos complexos agroindustriais**. Campinas: Unicamp/IE, 1987.

KIST, B. B. et al. **Anuário brasileiro da soja 2016**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2016. 120 p.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

KUSZ, D. Modernization of agriculture vs sustainable agriculture. **Scientific papers series management, economic engineering in agriculture and rural development**, v. 14, n. 1, 2014.

LEMOS, J. J. S. **Mapa da exclusão social no Brasil: radiografia de um país assimetricamente pobre**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2012.

LEMOS, J. J. S. Efeitos da expansão da soja na resiliência da agricultura familiar no Maranhão. **Revista de Política Agrícola**, v. 24, n. 2, p. 26-37, 2015.

- LIMA, D. A. E.; NÓBREGA, M. L. C.; ALVES, V. L. L. Perspectivas do Plano de Desenvolvimento Agropecuário do MATOPIBA, avanço do cultivo da soja e ajuste espacial. In: SIMPÓSIO SOBRE REFORMA AGRÁRIA E QUESTÕES RURAIS, 70 anos de assentamentos na Nova República: qual agricultura e qual sociedade queremos?, 2016. São Paulo, **Anais** [...]. São Paulo, Universidade de Araraquara, 2016. p. 1-11.
- MARANGONI, G. **Anos 1980, década perdida ou ganha?**. São Paulo: IPEA, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=2759:catid=28&Itemid=23>. Acesso em: 22 abr. 2017.
- MAROCO, J. **Análise estatística com utilização do SPSS**. 2. ed. Lisboa: Sílabo, 2003.
- 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>. Acesso em: 20 jul. 2017.
- OLIVEIRA, A. J. P.; SOUSA, F. J. P.. A desconcentração industrial e o Nordeste: do estado desenvolvimentista a globalização. In: **A economia do Nordeste na fase contemporânea**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2006, p. 101-130.
- ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. São Paulo. **Estudos Avançados**, v.26, n.74, p. 65-92, 2012.
- SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. 3. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.
- SEIDLER, E. P.; ANDREATTA, T.; CIECHOWICZ, I. F. S.; SPANEVELLO, R. M. A temática da sustentabilidade no meio rural a partir de uma abordagem científica. Pombal. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.13, n. 5, p. 572-580, 2018.
- SILVA, O. F.; WANDER, A. E.; STÉFANO, J. G. DIDONET, A. D. Produção de arroz e feijão em municípios com menores Índices de Desenvolvimento Humano na região do MATOPIBA, Brasil. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, v. 4, n 1, p.181-205, 2016.
- SORENSEN, A. T. Equilibrium Price Dispersion in Retail Markets for Prescription Drugs. **Journal of Political Economy**, v. 108, n. 4, p. 833-850, 2000.
- SZMRECSÁNYI, T. Nota sobre o complexo agroindustrial e a industrialização da agricultura no Brasil. **Revista de Economia Política**, v. 3, n. 2, p. 141-144, 1983.
- USDA. Economic Research Service using data from USDA, 2014.

VIEIRA FILHO, J. E. R. Expansão da fronteira agrícola no Brasil: desafios e perspectivas. **Texto para discussão 2223**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6909/1/td_2223.PDF>. Acesso em: 20 jun 2017.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introdução à econometria**: uma abordagem moderna. São Paulo: Cengage Learning, 2011.