

# **AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ZONEAMENTO AGRÍCOLA UTILIZANDO ANOMALIAS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO DOS MODELOS HADCM3 E IPCM4**

Jurandir Zullo Junior<sup>1</sup>, Celso Macedo Junior<sup>2</sup>, Hilton S. Pinto<sup>3</sup>, Eduardo D. Assad<sup>4</sup>,  
Giampaolo Q. Pellegrino<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Eng.Agrícola, Matemático, Pesquisador, Cepagri/Unicamp, Campinas – SP, Fone: (19)35212461, E-mail: jurandir@cpa.unicamp.br, Bolsista CNPq

<sup>2</sup>Mestrando, Unicamp, Campinas – SP, Bolsista FAPESP

<sup>3</sup>Professor Associado, IB e Cepagri/Unicamp, Campinas – SP, Bolsista CNPq

<sup>4</sup>Pesquisador, Embrapa Informática Agropecuária, Campinas – SP, Bolsista CNPq

<sup>5</sup>Pesquisador, Embrapa Informática Agropecuária, Campinas – SP

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011  
– SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

**RESUMO:** O trabalho teve o objetivo principal de aprimorar a metodologia utilizada para gerar cenários de impactos de mudanças climáticas no zoneamento agrícola do Brasil. A área de estudo foi o Estado de São Paulo e os modelos escolhidos foram o HADCM3 e o IPCM4. Foram empregadas anomalias de temperatura e/ou precipitação e as culturas anuais escolhidas foram arroz, feijão, milho, soja, sorgo, trigo e cevada. Foi desenvolvido um sistema de simulação que permitiu a geração de 25.488 mapas de risco colocados à disposição na internet. O desempenho das simulações foi distinto para os dois modelos climáticos utilizados, ressaltando a importância da escolha deles nos estudos de impactos das mudanças climáticas. As anomalias de temperatura do IPCM4 e as de precipitação do HADCM3 foram as que produziram as maiores reduções das áreas de baixo risco climático. A forma de incorporação das anomalias de precipitação nas simulações é uma contribuição do trabalho que pode ser útil em trabalhos futuros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Zoneamento agrícola, Riscos climáticos, Simulação matemática

**ABSTRACT:** This paper had the main objective of improving the methodology that has been used to generate scenarios of climate change impacts in the agricultural zoning of Brazil. The study area was the State of Sao Paulo and the models chosen were HADCM3 and IPCM4. Anomalies of temperature and/or precipitation were used and the annual crops selected were rice, beans, corn, soybeans, sorghum, wheat and barley. A simulation system was developed and produced 25,488 risk maps available in the internet. The simulations were different for the two climate models and anomalies used, emphasizing the importance of their choice (models and anomalies) in studies of climate change impacts. Temperature anomalies of IPCM4 and precipitation anomalies of HADCM3 gave the greatest reductions in areas of low climate risk. The method used to incorporate the anomalies of precipitation is a contribution of this paper that can be useful in future works.

**KEYWORDS:** Agricultural zoning, Climate Risks, Mathematical simulation

**INTRODUÇÃO:** Este trabalho teve o objetivo principal de aprimorar a metodologia que é utilizada desde 2001 para gerar cenários de impactos que as possíveis mudanças climáticas, disponíveis na literatura, poderão provocar nos calendários de plantio de algumas das principais culturas do país, elaborados anualmente pelo Programa de Zoneamento Agrícola do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), como parte da política agrícola nacional, desde 1995.

A área de estudo foi o Estado de São Paulo devido à sua importância para o agronegócio nacional, à boa disponibilidade de dados climáticos e agronômicos necessários para a definição dos riscos climáticos e pela sua localização em uma região de transição climática, com possibilidade de ocorrência de eventos distintos que podem causar impactos na agricultura, tais como geada, onda de calor, veranico e excesso de chuvas. Ou seja, trata-se de uma região adequada para o desenvolvimento e teste de metodologias a serem utilizadas posteriormente em áreas mais amplas e que são normalmente de maior interesse nas análises de impactos das mudanças climáticas, como é o caso das macro-regiões (norte, nordeste, centro-oeste, sudeste e sul), os agrupamentos de estados e o território total do país.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Foram escolhidos dois cenários de mudanças climáticas dentre as várias opções disponíveis na página do IPCC (em [http://www.ipcc-data.org/cgi-bin/ddc\\_nav/dataset=ar4\\_gcm](http://www.ipcc-data.org/cgi-bin/ddc_nav/dataset=ar4_gcm)): o HADCM3 e o IPCM4. O modelo HADCM3 foi escolhido por ser um dos mais utilizados em estudos climáticos no mundo, sendo praticamente uma referência no assunto. O IPCM4 é de origem francesa, país com larga tradição na área de modelagem matemática. Foram obtidos dados mensais de anomalia de precipitação (em mm/dia) e temperatura (em °C), para os dois modelos escolhidos (HADCM3 e IPCM4), três períodos (2010 a 2039, 2040 a 2069 e 2070 a 2099) e dois cenários (A2 e B1), em formato CSV. Os dados obtidos formavam uma matriz de cinco linhas por cinco colunas, sendo que a longitude variava de -56,25° até -41,25°, nos dois modelos. A latitude variava de -27,50° até -17,50°, no modelo HADCM3, e de -26,62° até -16,48°, no modelo IPCM4.

Foram utilizados dados pluviométricos diários fornecidos pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), de 390 pontos distribuídos pelo Estado, coletados de 1961 a 1990, considerado como período de referência para as avaliações realizadas. A evapotranspiração potencial foi calculada pelo método proposto por THORNTHWAITE & MATTER (1995), adaptado por CAMARGO & CAMARGO (1983), baseado em valores de temperatura média mensal, estimados pelas equações apresentadas por PINTO et al. (1972) a partir de coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude) de cada estação pluviométrica utilizada.

Foi desenvolvido um sistema computacional em linguagem Fortran, denominado MUDCLIMSP.F, destinado à geração automática dos zoneamentos de riscos climáticos para todas combinações possíveis de datas de plantio, ciclos de cada cultura, tipos de solos, anomalias climáticas e modelos de previsão. Esse sistema foi baseado no programa proposto por FOREST (1984), modificado por VAKSMANN (1990), para simulação de balanços hídricos sequenciais. As saídas desse sistema foram de dois tipos principais: a) Mapas de risco, em formato GIF, indicando as áreas de baixo risco climático para cada tipo de simulação realizada; e b) Tabelas sintéticas, contendo a quantidade de municípios e o número de datas de baixo risco climático, com e sem cada anomalia climática considerada. Foram considerados três tipos de anomalias diferentes: a) Apenas temperatura; b) Apenas precipitação; e c) Temperatura e precipitação, em conjunto.

O sistema de simulação é composto pelos seguintes módulos principais: a) Definição dos parâmetros de entrada para a simulação (cultura, ciclos, períodos de plantio, sequeiro ou irrigado, valor de corte do índice hídrico ISNA, testes térmicos, porcentagem mínima da área

do município para ser considerada de baixo risco climático, número de municípios contíguos para configurar uma “ilha” de aptidão ou inaptidão climática); b) Cálculo da evapotranspiração potencial; c) Simulação dos balanços hídricos sequenciais e cálculo do índice hídrico ISNA para cada um dos postos meteorológicos utilizados; d) Determinação de equações de regressão do índice hídrico ISNA em função de coordenadas geográficas (longitude, latitude e altitude); e) Cálculo do índice hídrico ISNA para cada ponto da grade que contém valores de altitude a cada 800m de distância linear entre um ponto e outro, aproximadamente; f) Definição do risco climático para cada município em função das restrições hídricas e térmicas existentes para cada cultura; g) Cálculo da quantidade e da porcentagem de municípios do Estado de São Paulo: i) Com baixo risco climático, sem e após anomalias; ii) Que tiveram redução de datas de baixo risco climático, após anomalias; iii) Que tiveram ampliação de datas de baixo risco climático, após anomalias; iv) Que não tiveram nem redução nem ampliação de datas de baixo risco climático, após anomalias; v) Que tiveram redução completa a zero de datas de baixo risco climático, após anomalias; vi) Que tiveram inclusão de datas de baixo risco climático, após anomalias, isto é, municípios que não tinham nenhuma data de baixo risco climático e começaram a ter algumas, após anomalias. Utilizou-se o valor da porcentagem de municípios como uma aproximação da área do Estado em determinada condição de risco climático, após anomalias; h) Cálculo do número médio de datas de baixo risco climático por município (que contém pelo menos uma data de baixo risco climático). Trata-se de parâmetro útil para avaliar a variação do risco climático associado às anomalias consideradas. A redução do número de datas de baixo risco climático diminui a flexibilidade de escolha do período de plantio e aumenta o risco da agricultura.

Os dados agroclimáticos de entrada no sistema de simulação dos balanços hídricos sequenciais são: a) Chuva diária (em mm); b) Coeficiente de Cultura ( $K_c$ ) para cada quinquídio (período de cinco dias) do ciclo fenológico da cultura; c) Evapotranspiração Potencial (ETP) para cada decêndio (período de dez dias) do ano. Observa-se que, enquanto a escala temporal dos dados pluviométricos é diária e a quantidade depende do tamanho das séries históricas de chuva, a da evapotranspiração é decendial e a quantidade é sempre fixada em 36 valores, ou seja, são dados médios para um determinado período de interesse. Como as anomalias de temperatura e precipitação provenientes dos cenários de mudanças climáticas são valores médios, a incorporação delas nas simulações realizadas foi feita através dos dados de evapotranspiração potencial.

As anomalias de temperatura foram incorporadas diretamente nos valores de temperatura calculados através das equações propostas por PINTO et al. (1972). Como a temperatura é utilizada para o cálculo da evapotranspiração potencial, pelo método de estimativa utilizado, a incorporação das anomalias de temperatura correspondeu à obtenção de novos valores para esse parâmetro. Ou seja, a incorporação das anomalias de temperatura foi feita de modo indireto, através da evapotranspiração potencial.

As anomalias de precipitação foram adicionadas diretamente aos valores da evapotranspiração potencial estimada, invertendo-se o sinal (positivo ou negativo) original delas. Desse modo, foi possível incorporar as duas anomalias climáticas (temperatura e precipitação), respeitando os fenômenos físicos envolvidos no balanço hídrico (evapotranspiração e chuva) e as escalas temporais dos dados originais dos cenários de mudanças climáticas e dos parâmetros utilizados na simulação dos balanços hídricos, que é de um valor médio por mês.

Os mapas com as áreas de baixo risco climático para cada simulação realizada foram gerados automaticamente através do programa SURFER da Golden Software, em formato GIF. Destaca-se que o sistema MUDCLIMSP.F pode ser adaptado para incluir novas culturas, cenários de mudanças climáticas e simular outras regiões além do Estado de São Paulo. Trata-se, portanto, de uma ferramenta que pode ser útil em trabalhos futuros de avaliação dos impactos das mudanças climáticas na agricultura.

Destaca-se que 87 municípios pertencentes à faixa litorânea, à grande São Paulo e aos pontos mais elevados do Estado (próximos a Campos do Jordão, inclusive) não foram considerados nas simulações, pois já são regiões de alto risco climático para as culturas agrícolas utilizadas. Foram avaliados os efeitos das possíveis mudanças climáticas previstas pelos dois modelos selecionados, no zoneamento de riscos climáticos das culturas de arroz, feijão, milho, soja, sorgo, trigo e cevada, considerando as condições e os períodos de plantio adotados, normalmente, no Estado de São Paulo. Sendo assim, foram consideradas condições de sequeiro para todas as culturas, excluindo a cevada, que é cultivada com irrigação. Foram utilizados três valores para a reserva máxima de água utilizável pelas plantas nos balanços hídricos, de acordo com a textura dos solos: 30mm para solos de textura arenosa, 50mm para solos de textura média e 70mm para solos de textura argilosa.

A Tabela 1 contém um resumo dos parâmetros específicos de cada uma das sete culturas consideradas, utilizados nas simulações, e a quantidade de mapas de risco gerados. No total, foram gerados 25.488 mapas de risco e 204 tabelas sintéticas. O tempo total de processamento foi de 408 horas de máquina (equivalendo a 17 dias corridos), utilizando um computador com quatro processadores.

Tabela 1. Síntese dos parâmetros referentes às simulações realizadas de cada cultura.

Cultura	Plantio		Ciclos (dias)	Mapas de Risco	ISNA	Testes Térmicos
	Período	Datas				
Arroz	01/10-31/12	9	100, 120 e 140	3.888	0,65	$T_{\min}^{\text{ciclo}} \geq 10^{\circ}\text{C}$ $T_{\min}^{\text{floração}} \geq 15^{\circ}\text{C}$
Feijão	01/08-31/12	15	80, 90 e 100	6.480	0,60	$T_{\min}^{\text{ciclo}} \geq 10^{\circ}\text{C}$ $T_{\max}^{\text{floração}} \leq 30^{\circ}\text{C}$
Milho	01/09-31/12	12	100, 120 e 140	6.184	0,55	$T_{\min}^{\text{ciclo}} \geq 14^{\circ}\text{C}$
Soja	01/10-31/12	9	115 e 135	2.492	0,60	$T_{\min}^{\text{ciclo}} \geq 14^{\circ}\text{C}$ $T_{\max}^{\text{floração}} \leq 40^{\circ}\text{C}$
Sorgo	01/01-30/04	12	100 e 120	3.456	0,45	$T_{\min}^{40-65\text{DAP}} \geq 13^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{med}}^{40-65\text{DAP}} \leq 18^{\circ}\text{C}$
Trigo	01/02-31/05	12	110 e 120	3.456	0,60	$T_{\min}^{\text{ciclo}} \geq 10^{\circ}\text{C}$ $T_{\max}^{\text{floração}} \leq 28^{\circ}\text{C}$
Cevada Irrigada	01/04-31/05	6	110, 120 e 130	432	-----	$T_{\min}^{\text{ciclo}} \geq 9^{\circ}\text{C}$ $T_{\max}^{\text{floração}} \leq 28^{\circ}\text{C}$

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Foram gerados 25.488 mapas de risco que estão disponíveis no endereço <http://www.cpa.unicamp.br/jurandir/navegador.html>. Os mapas de risco foram de grande utilidade na análise visual da coerência das simulações, assim que eram realizadas.

No caso da cultura do arroz, a utilização conjunta das duas anomalias (temperatura e precipitação) produziu reduções maiores na área de baixo risco climático para o modelo HADCM3 do que para o IPCM4. Individualmente, as anomalias que mais reduziram as áreas de baixo risco climático foram as de temperatura do IPCM4 (29,9%) e as de precipitação do HADCM3 (35,6%).

Para a cultura do feijão, as anomalias de temperatura do modelo IPCM4 foram as que provocaram a maior redução das áreas de baixo risco climático, em comparação ao período de referência (1961 a 1990). No caso do modelo HADCM3, a utilização conjunta das anomalias de temperatura e precipitação foram as mais importantes para reduzir as áreas de baixo risco

climático. Ressalta-se que os acréscimos de áreas de baixo risco climático foram nulos ou muito pequenos, mesmo quando 22,2% das simulações registraram aumento.

No caso da cultura do trigo, os valores iniciais das áreas de baixo risco climático são pequenos, o que dificultou uma avaliação mais detalhada de impactos das anomalias apresentadas pelos modelos climáticos. Com relação à cultura da cevada irrigada, as anomalias de temperatura provocaram redução de área com baixo risco climático em 100% das simulações, tendo sido maior para o modelo IPCM4.

**CONCLUSÕES:** O desempenho das simulações foi distinto conforme o modelo climático utilizado. No caso do IPCM4, as anomalias de temperatura produziram reduções maiores nas áreas de baixo risco climático em comparação com o HADCM3, em que as anomalias de precipitação foram, normalmente, responsáveis por decréscimos mais relevantes nessas áreas. Isso ressalta a importância da escolha do modelo a ser empregado nas simulações de impacto das possíveis mudanças climáticas, sendo recomendado utilizar vários e comparar os resultados obtidos por eles. A forma de incorporação das anomalias de precipitação é uma contribuição do trabalho que poderá ser empregada em estudos semelhantes. O sistema computacional desenvolvido poderá ser utilizado em outras simulações, com a incorporação de novas culturas e modelos climáticos.

#### REFERÊNCIAS

CAMARGO, A.P. & CAMARGO, M.B.P.de. Teste de Uma Equação Simples Para Estimativa da Evapotranspiração Potencial Baseada na Radiação Solar Extraterrestre e na Temperatura do Ar. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 3, Campinas, Anais ..., Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 229-244, 1983.

FOREST, F. Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales. Présentation et utilisation du logiciel BIP. Montpellier: IRAT-CIRAD, 63p, 1984.

PINTO, H.S.; ORTOLANI, A.A.; ALFONSI, R.R. Estimativa das temperaturas médias mensais do Estado de São Paulo em função de altitude e latitude. São Paulo: Instituto de Geografia, FFCL, USP, 20p. (Caderno Ciências da Terra, 23), 1972.

THORNTHWAITE, C.W. & MATTER, J.R. The Water Balance. *Publications in Climatology*, Vol.8, N.1, The Laboratory of Climatology, Centerton, NJ, USA, 104p, 1955.

VAKSMANN, M. Le Modèle BIPODE: Logiciel. *Bamako: IRAT*, 1990.