

# EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE A APTIDÃO CLIMÁTICA PARA CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO

FÁBIO R. MARIN<sup>1</sup>, EDUARDO D. ASSAD<sup>3</sup>, BERNARD F. BARBARISI<sup>2</sup>, FELIPE G. PILAU<sup>4</sup>, LUDMILA R. F. PACHECO<sup>2</sup>; JURANDIR ZULLO JÚNIOR<sup>5</sup>; HILTON S. PINTO<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr. Pesquisador Embrapa Informática Agropecuária, Campinas – SP, Fone: (0XX19) 37895789, marin@cnptia.embrapa.br;

<sup>2</sup> Graduando em Eng. Ambiental PUCAMP, estagiário Embrapa Informática Agropecuária;

<sup>3</sup> Engenheiro Agrícola, Dr. Pesquisador Embrapa Informática Agropecuária.

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr. Bolsista CNPq, Embrapa Informática Agropecuária;

<sup>5</sup> Engenheiro Agrícola, Dr., Cepagri/UNICAMP;

<sup>6</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr., Cepagri/UNICAMP.

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - 02 a 05 de julho de 2007  
– Aracaju – SE

**RESUMO:** O Estado de São Paulo é o maior produtor nacional de cana-de-açúcar, responsável por 59,5% da produção. Atualmente, observa-se uma tendência de expansão para o oeste do Estado, avançando principalmente em áreas de pastos, resultado da crescente demanda por álcool no Brasil e no mundo, associado à divulgação de novas projeções informando sobre a forte possibilidade de mudanças climáticas globais até o final do século. Atualmente, a maior parte do Estado apresenta condição climática apta à instalação da cultura, mas esta condição pode alterar-se com a mudança no clima. Neste artigo, avaliou-se os impactos do aumento da temperatura no zoneamento de aptidão climática para a cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, baseando-se no quarto relatório do IPCC no que se refere as previsões de temperatura do ar e admitindo que o regime de chuvas fosse mantido. Atualmente, o Estado não apresenta restrição hídrica ao cultivo e em poucas regiões há certa limitação devida à temperatura. Com aumento de 1,8°C e 2,9°C, áreas do norte e noroeste passariam a apresentar alguma restrição hídrica, indicando a possibilidade de migração da cultura para o sul do Estado, região que teria condições favoráveis. Com elevação de 4,0°C, cerca de 80% da área do Estado passaria a ter algum tipo de restrição por causa da deficiência hídrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** saccharum officinarum, aquecimento global, deficiência hídrica.

## CLIMATE CHANGE EFFECTS ON SUGARCANE PRODUCTION IN THE STATE OF SÃO PAULO

**ABSTRACT:** São Paulo State is the main national sugarcane producer, responsible for 59.5% of total production. Currently, has been a tendency of it expansion to west of State, advancing mainly in areas of pastures, resulting as an increase demand of alcohol in Brazil and in the World, linked to new projections about climate change possibility upon the end of this century. Nowadays, the State presents apt conditions to culture, but it can be change through climate change. This study evaluated the global warming impact on apt and restrict

areas limits to sugarcane at São Paulo State, based on the 4<sup>th</sup> Assessment Report of Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) which releases three climate forecast regarding to different scenarios of greenhouse gases emissions reduction. In this paper, one considers that rainfall regime will not be changed. Currently, sugarcane crop does not found water restriction to reach good yields, but an increase of 1.8°C and 2.9°C would mainly affect the north and northwest regions, indicating a strong possibility to south region, where it would be found the best conditions to sugarcane. Considering the worst global environmental scenario – a temperature rise of 4.0°C, more than 80% of total area of São Paulo would be exposed to water restriction to reach good sugarcane yields.

**KEYWORDS:** *Saccharum officinarum*, global warming, water deficit.

**INTRODUÇÃO:** O Estado de São Paulo é o maior produtor nacional de cana-de-açúcar, responsável por 59,5% da produção, distribuída numa área de 3,28 milhões de hectares, totalizando 282.9 milhões de toneladas na safra 2006/07, destinadas 50,9% à produção de açúcar e 38,6% à produção de álcool (CONAB, 2006). Nas regiões de Piracicaba, Jaboticabal e Morro Agudo está concentrada a maior parte da área de produção Paulista, com franco avanço dos canaviais para o a região oeste – Paraguaçu Paulista, Guararapes, Maracáí, substituindo principalmente as áreas de pastos. Nessas regiões a cana-de-açúcar tem condições favoráveis de temperatura do ar: média anual entre os 22°C e 30°C é considerada ótima ao crescimento da cultura; temperaturas acima de 38°C paralisam o crescimento e valores próximos de 0°C provocam a morte das plantas (BARBIERI & VILLA NOVA, 1977; DOORENBOS & KASSAM, 1979; MAGALHÃES, 1987), e disponibilidade hídrica: durante a fase de desenvolvimento vegetativo são necessários de 1.500 a 2.500mm ano<sup>-1</sup> distribuídos de maneira uniforme (DOORENBOS & KASSAM, 1979). É fundamental, porém, durante a maturação da cana-de-açúcar, um período de tempo mais seco para induzir o acúmulo de sacarose, condição não observada na faixa sudeste do Estado – Registro, Itapeva, Iguape, que apresenta ainda restrição térmica ao cultivo devido às baixas temperatura e ocorrência de geada, a exemplo de Campos do Jordão, São Bento do Sapucaí, Santo Antônio do Pinhal. Estudos recentes indicam que o aquecimento global causado pela elevação na concentração de gases do efeito estufa, que tendem a causar a elevação da temperatura média do ar até o final deste século entre 1,8°C e 4°C em função dos diferentes cenários de controle ambiental traçados pelo IPCC, condição que deve modificar amplamente a aptidão a cultura no Estado de São Paulo. Considerando este contexto, este artigo simulou os efeitos das mudanças climáticas sobre a cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, considerando três cenários de elevação de temperatura e sem alterar o regime de chuvas atualmente observado no Estado.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Foram utilizados dados mensais normais de temperatura média do ar e chuva de estações meteorológicas distribuídas no Estado de São Paulo (BRASIL, 1992; DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica; INMET – Instituto Nacional de Meteorologia; IAC – Instituto Agrônomo de Campinas; ESALQ – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz). Para simulação do efeito do aquecimento global foram acrescentados os valores de aumento da temperatura média para os 12 meses do ano, para as estações, sem alteração no regime pluviométrico. Processou-se o balanço hídrico

climático segundo THORNTHWAITE & MATHER (1955) adotando-se uma capacidade de água disponível no solo (CAD) de 100mm, obtendo-se valores de deficiência hídrica anual, referentes aos três diferentes cenários de mudança climática (Tabela 1). Os modelos climáticos apontados pelo IPCC para a precipitação são muito divergentes, pois alguns indicam o aumento da precipitação, enquanto que outros apontam diminuição, impedindo desta forma propor cenários confiáveis de alteração no ciclo hidrológico, e por esta razão manteve-se o regime pluviométrico normal para os três cenários de mudanças climáticas avaliados.

Tabela 1. Cenários de aumento da temperatura do ar apontados pelo 4º relatório do IPCC.

Cenários (IPCC – 4AR)	Aumento na Temperatura Média Global (°C)
Otimista	1,8°C
Média dos Cenários	2,9°C
Pessimista	4,0°C

Para a geração dos mapas utilizou-se o modelo digital de elevação (MDE) com resolução espacial de 90 m. A interpolação da temperatura média anual (TMA), foi processada a partir das equações geradas por análise de regressão múltipla entre os dados de TMA e coordenadas geográficas e altitude das estações meteorológicas (Tabela 2). Os mapas de deficiência hídrica anual referentes aos quatro cenários avaliados foram gerados a partir das equações da Tabela 2.

Tabela 2. Equações para estimativa da temperatura média anual (TMA) e deficiência hídrica anual (DEF) para os cenários climáticos analisados, para o Estado de São Paulo.

Deficiência Hídrica Anual (DEF)	Equações	R <sup>2</sup>
TMA	$37,4778 + 0,555096*\text{lat} - 0,00323*\text{long} - 0,00581*\text{alt}$	
DEF (Temp. normal)	$1162,52 + 41,29284*\text{lat} + 2,36565*\text{long} - 0,087281*\text{alt}$	0,47
DEF (Temp. +1,8°C)	$1,7592*\text{DEF} + 14,564$	0,91
DEF (Temp. +2,9°C)	$1,407*\text{DEF}_{1,8^\circ\text{C}} + 53,322$	0,78
DEF (Temp. +4,0°C)	$1,3167*\text{DEF}_{2,9^\circ\text{C}} + 117,63$	0,77

Para delimitação das zonas de aptidão à cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, adotaram-se como exigências térmicas a temperatura basal de 20°C (DOORENBOS & KASSAM, 1979), e hídrica da cultura, três classes de deficiência hídrica anual: de 0 a 40mm com ausência de período seco na maturação; de 40 a 300mm como amplitude ideal ao cultivo; superior a 300mm como limitante hídrica de produtividade, com máxima de 60 t.ha<sup>-1</sup>, sujeita a irrigação suplementar. Com base nessas exigências climáticas e na elaboração e intersecção dos mapas de temperatura média do ar e deficiência hídrica anual para a condição climática atual e os três cenários de aumento da temperatura global (Tabela 1), conforme expresso esquematicamente na Figura 1, delimitaram-se as áreas aptas e com restrição ao cultivo da cana de açúcar no Estado de São Paulo.

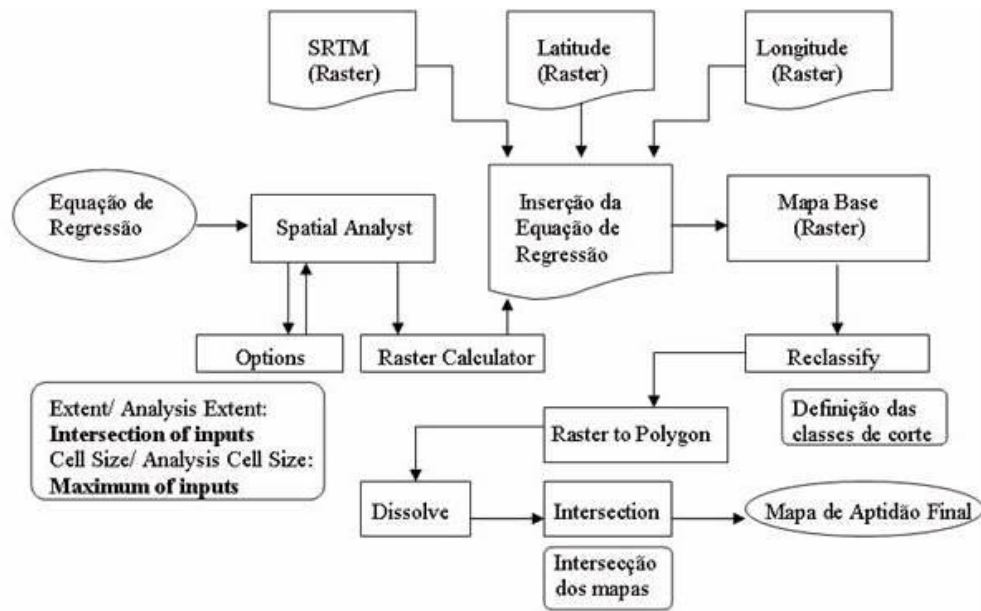


Figura. 1 Fluxograma da rotina de elaboração dos mapas de aptidão climática da cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo, frente aos quatro cenários climáticos avaliados.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Analisando a temperatura média do ar, mesmo com a concretização do cenário de aquecimento global mais pessimista (Tabela 1), não haveria restrição ao cultivo de cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo, já que as temperaturas máximas médias não ultrapassariam os 38°C, valor acima do qual o crescimento da planta seria nulo (BARBIERI & VILLA NOVA, 1977; DOORENBOS & KASSAM, 1979; MAGALHÃES, 1987), mas sim uma ampliação da área termicamente apta ao cultivo, já que na faixa leste do Estado, devido a carência térmica e ocorrência de geadas, atualmente não se recomenda o cultivo. Conforme IPCC (2007) os maiores aumentos são registrados na temperatura mínima, já que o incremento da concentração de gases do efeito estufa (GEE), principalmente do CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), tem influência direta no balanço de ondas longas, com efeito mais pronunciado sobre a temperatura noturna. Com relação a disponibilidade de água nos solos, é razoável inferir que a manutenção do regime de chuvas implicaria em elevação nos valores de deficiência hídrica, já que o aumento da temperatura implicaria numa elevação proporcional nas taxas de evapotranspiração máxima da cultura. Um aumento de 1,8°C na temperatura média do ar consolidaria uma deficiência hídrica anual superior a 300mm em 6,1% da área total do Estado. Entretanto, esse aquecimento tornaria 12,1% da área do Estado, hoje inviável termicamente ao cultivo, aptos a cana-de-açúcar (Figura 2b). Considerando um cenário intermediário de redução no padrão de emissão dos GEE's e aumento de 2,9°C da temperatura, as áreas com deficiência hídrica anual maior que 300m passariam a ocupar 42,6% do total, ao passo que o ganho (térmico) seria de 28,4% da área. A área apta à cultura representaria, nesse cenário, 56,8% do total do Estado, 20% menor com relação à área apta atual de São Paulo. Cabe destacar, principalmente, o efeito migratório da cultura, tradicionalmente cultivada no centro-norte, passando a ocupar áreas do centro-sul paulista (Figura 2c). Para o cenário mais pessimista, as projeções apontam uma grande restrição ao cultivo da cana-de-açúcar no Estado, já que

81,4% apresentariam deficiência hídrica anual superior a 300 mm, incluindo áreas que no cenário normal apresentam excedente hídrico (Figura 2d).

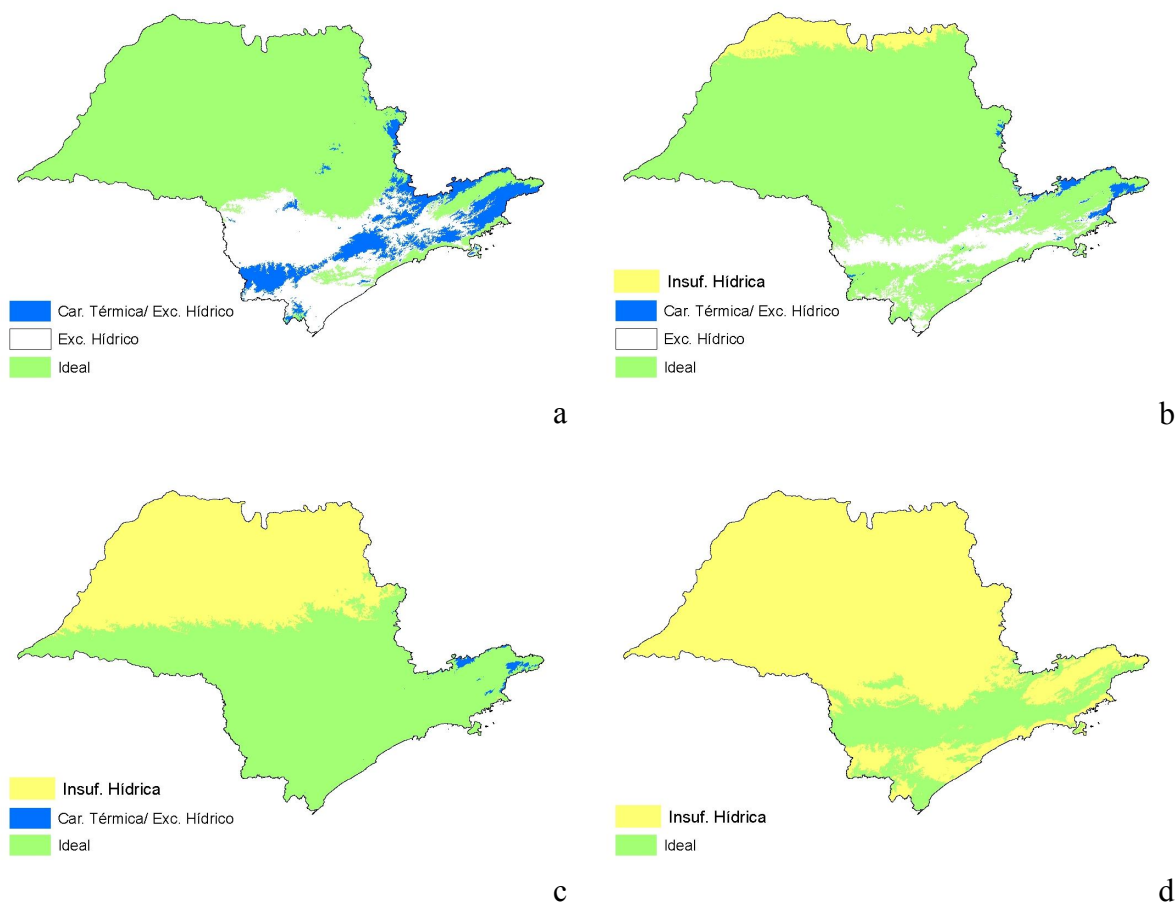


Figura 2. Cenário atual (a), com acréscimos na temperatura média em 1,8°C (b), 2,9°C (c) e 4,0°C (d).

**CONCLUSÕES:** Considerando os cenários de aquecimento global previsto pelo IPCC, o cultivo da cana de açúcar nas regiões centro e norte do Estado de São Paulo deve sofrer restrições por deficiência hídrica em fases importantes para a formação da produção. Já as áreas ao sul e leste do Estado poderiam tornar-se aptas sob o ponto de vista térmico e hídrico, frente aos aumentos de 1,8°C e 2,9°C. Admitindo o cenário mais pessimista traçado pelo IPCC, mais de 80% da área total do Estado viria apresentar restrição hídrica, inclusive área que atualmente apresentam ausência de estiagem para maturação da cultura.

## REFERÊNCIAS

- BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N.A.. Climatologia e a cana-de-açúcar. In: PLANALSUCAR – Coordenadoria Regional Sul, COSUL, Araras, 1997. p1-22.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Departamento Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas (1961-1990). Brasília: SPI/ EMBRAPA, 1992. 84p.

DELGADO ROJAS, J. S.. Modelo agrometeorológico para a estimativa dos efeitos de deficiência hídrica na produtividade agro-industrial da cana-de-açúcar. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ USP - Piracicaba, Brasil, agosto de 1998.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H.. Yield response to water. Rome: FAO, 1979, 193p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. Disponível em: [www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?z=p&o=20&i=P](http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?z=p&o=20&i=P). Acesso em: 02 de abril de 2007.

IPCC. WGI Fourth Assessment Report. Summary for Policymakers. Disponível em:

[www.mct.gov.br/indez.php/content/view/46909.html](http://www.mct.gov.br/indez.php/content/view/46909.html). Acesso em: 02 de abril de 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/BoletimCana-Novembro2006-07.pdf>