



## **EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA CANA-DE-AÇÚCAR COM BASE NO MODELO APSIM-SUGARCANE**

HELENA MARIA S. **PINTO**<sup>1</sup>; LEANDRO G. **COSTA**<sup>2</sup>; DESIREE **DAMAME**<sup>3</sup>; FABIO R.  
**MARIN**<sup>4</sup>

**Nº 12614**

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi simular os efeitos das alterações climáticas no crescimento e produtividade da cana-de-açúcar. O modelo APSIM-Sugarcane foi utilizado para a simulação, e para tanto, foi necessária a calibração para cultivar SP 80-1842, utilizando dados experimentais. A sensibilidade do modelo foi testada para os elementos climáticos [CO<sub>2</sub>], precipitação e temperatura do ar, com dados climáticos de Piracicaba-SP. Quatro cenários climáticos futuros foram simulados, além do atual. Com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> e precipitação, a produção de colmos aumentou em relação ao cenário atual. No entanto, mudanças de temperatura e diminuição da precipitação não beneficiaram a cultura. Apenas os cenários de mudanças climáticas CSIRO A2 e B2 mostraram um aumento na produtividade, enquanto PRECIS A2 e B2 indicaram uma diminuição em relação ao atual.

---

<sup>1</sup> Estagiária CNPTIA/EMBRAPA: Graduação em Eng. Ambiental, PUC, Campinas-SP, helena\_ft@hotmail.com.

<sup>2</sup> Bolsista: Mestrando, CNPTIA/EMBRAPA, Campinas-SP.

<sup>3</sup> Estagiária CNPTIA/EMBRAPA: Graduação em Eng. Ambiental, PUC.

<sup>4</sup> Orientador: Pesquisador, CNPTIA/EMBRAPA, Campinas-SP



## ABSTRACT

The objective of this paper is to simulate the climate change effects on growth and yield of sugarcane. The Apsim-Sugarcane model was necessary calibrated for cultivar SP 80-1842, using experimental data. Model sensitivity was done for climatic elements [CO<sub>2</sub>], rainfall and air temperature, using climate data from Piracicaba-SP. Four future climate scenarios were simulated, besides the baseline. With the increase of CO<sub>2</sub> concentration and precipitation increased stalk yield in relation to the baseline. However, changes in temperature and the rainfall decrease not benefited the crop. Only CSIRO A2 and B2 climate change scenarios showed an increase in productivity, while PRECIS A2 and B2 indicated a decrease in relation to the baseline.

## INTRODUÇÃO

A preocupação com a vulnerabilidade dos sistemas agrícolas, após os últimos relatórios sobre mudanças climáticas do IPCC (IPCC, 2007) tornou-se tema de diversas pesquisas no mundo. No caso do Brasil, o impacto poderá ser sentido pelos produtores até o final dessa década, ameaçando a produção de alimentos e biocombustíveis (PINTO et al., 2008). A cana-de-açúcar é uma das mais importantes commodities nacionais, movimentando cerca de 80 bilhões de dólares por ano e com papel relevante para a economia brasileira (NEVES et al., 2009).

O crescimento desse setor ocorreu devido ao aumento da demanda nacional pelo etanol, crescimento da frota nacional de automóveis que utilizam biocombustíveis, aumento da demanda mundial de açúcar, necessidade de novas fontes de energia renováveis e pelo reconhecimento do etanol como combustível renovável, pois reabsorve os gases emitidos durante o crescimento da planta (GOLDEMBERG, COELHO, GUARDABASSI, 2008). Nesse cenário, o uso de modelos de simulação de crescimento e produtividade atrelados a projeções de clima formam uma importante ferramenta para simulação de cenários agrícolas futuros, auxiliando na otimização da produção, segurança e recurso financeiro e contribuindo também para o gerenciamento de expansão de áreas com potencial produtivo e mitigação de culturas. Considerando a importância da agricultura para produção de alimentos e bioenergia, estudos sobre vulnerabilidade do setor agrícola às mudanças do clima podem auxiliar na tomada de decisão para a criação de planos de adaptação e mitigação, e auxiliar no monitoramento de culturas, na previsão de rendimento, e para o avanço da compreensão sobre os processos de crescimento e produção da cana-de-açúcar (MARIN et al., 2011). O objetivo deste trabalho foi avaliar a sensibilidade do modelo



APSIM-Sugarcane quanto aos parâmetros climáticos [ $\text{CO}_2$ ], temperatura e precipitação, e analisar cenários futuros de mudança climática para a cultura de cana-de-açúcar.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **APSIM-Sugarcane:**

O Simulador de Sistemas de Produção Agrícola (APSIM - Agricultural Production Systems Simulator) é um programa utilizado para modelagem de processos. Possui a finalidade de simular processos biofísicos em sistemas agrícolas, principalmente para os que têm interesse econômico e ecológico nas práticas de gestão, tomadas de decisão, diante dos riscos envolvidos na agricultura, como clima, solo e manejo. (KEATING et al., 1999; KEATING et al., 2003).

### **Configurações do modelo de simulação para cenários futuros de mudanças climáticas:**

A calibração e avaliação do modelo APSIM-Sugarcane para a variedade brasileira SP80-1842 utilizou dados coletados em experimentos de campo em Piracicaba-SP e em Salinas-MG. Para calibração do modelo, utilizou-se o análise visual para minimização do erro médio quadrado, seguindo dos procedimentos descritos por Marin et al. (2011) e Nassif (2010) para avaliação das predições.

### **Sensibilidade do modelo à temperatura do ar, concentração de $\text{CO}_2$ e precipitação:**

O modelo APSIM-Sugarcane foi avaliado para os elementos climáticos [ $\text{CO}_2$ ], chuva e temperatura. Algumas variáveis de cada elemento foram simuladas utilizando os dados reais como referência.

Para a análise de sensibilidade e de cenários de mudanças climáticas, foram utilizados os dados somente do município de Piracicaba-SP. Para às simulações de mudanças no clima, foi utilizada a série histórica de 1977 a 2006, com incrementos de dados de concentração de  $\text{CO}_2$ , chuva e temperatura, obtendo-se respostas através da análise de média e desvio padrão.

### **Cenários de mudanças climáticas e banco de dados:**

Dois dos cenários futuros regionalizados foram derivados do modelo PRECIS, do UK Met Office como descrito em (2010-2100) (Marengo et al. De 2009, Alves e Marengo, 2010), considerando dois cenários de emissões de  $\text{CO}_2$  contrastantes (A2 e B2). Para os mesmos cenários de emissões de  $\text{CO}_2$ , utilizou-se, também, o modelo

climático global do CSIRO (Gordon et al 2002), cuja regionalização foi feita para a grade 0,5 x 0,5 grau aplicando o OACRES (Cressman, 1959), seguindo abordagem descrita em (Justino et al., 2010).

O cenário A2 tem a maior concentração de CO<sub>2</sub> atmosférica e aumento da temperatura, enquanto B2 é menos extremo. Para simular os impactos de CO<sub>2</sub> na produção de cana, [CO<sub>2</sub>] foi fixada em 750 ppm para o cenário A2 e a 550 ppm para o B2 (Arnell, 2004). Estes valores foram próximos a condições sob as quais a cana foi testada para efeitos de CO<sub>2</sub> (VU e Allen, 2009; Souza et al, 2008), enquanto que o cenário atual foi simulado usando [CO<sub>2</sub>] = 350ppm.

O método Delta (Gleick, 1986) foi usado para criar quatro cenários climáticos além do cenário atual. Isto foi obtido através de uma mudança de fator para precipitação, máxima e mínima temperatura mensal dentro da mesma RCM variabilidade espacial. Finalmente, estes fatores de mudança foram aplicados à série histórica do cenário atual adicionando as mudanças de temperatura para os valores observados diariamente, para cada estação mensalmente. Valores diários em cada mês foram alterados, mantendo assim estruturas temporais e espaciais reais de dados climáticos e evitando a introdução de incerteza para a análise devido à sua grande variabilidade espacial e fortes variações temporais (Bachner e Simmer , 2009).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Calibração e Análise de sensibilidade do modelo à temperatura do ar, concentração de CO<sub>2</sub> e precipitação

A calibração do modelo APSIM-Sugarcane, foi realizada para os municípios Piracicaba-SP e Salinas-MG e a análise dos resultados médios para a produtividade de colmos, quanto ao R<sup>2</sup>, RMSE, índice D e eficiência da modelagem (E) é mostrada na Tabela 1.

**Tabela 1:** Avaliação da calibração do modelo APSIM-Sugarcane para cana-de-açúcar no Brasil Matéria Fresca e Matéria Seca em (Mg.ha<sup>-1</sup>).

Índices	Matéria Fresca	Matéria Seca
RMSE	19.25	2.91
NRMSE	0.20	0.14
R <sup>2</sup>	0.96	0.97
E	0.99	0.99
D	0.94	0.97

A produtividade em massa fresca de colmos ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), para todos os níveis simulados, 3, 6 e  $9^{\circ}\text{C}$ , respondeu negativamente ao aumento da temperatura do ar, quando comparada aos valores cenário atual e para o nível mais crítico, com elevação da temperatura em  $9^{\circ}\text{C}$ , a diminuição na produtividade foi de 35,23%, assim como a diminuição da temperatura em  $3^{\circ}\text{C}$ , que provocou decréscimo de 4,58%, como observados na Figura 2b.

O acréscimo da temperatura proporcionou aumento da evapotranspiração potencial, para a cana-de-açúcar na cidade de Piracicaba – SP. Entretanto, a demanda hídrica da atmosfera e o rápido crescimento do dossel, não foram supridos pela precipitação. Com isso, o déficit hídrico inviabilizou a produção de biomassa, devido à diminuição da taxa fotossintética. A evapotranspiração real da cultura não atingiu o máximo, evidenciado pelos períodos de estresse hídrico (Figura 1). No APSIM, o estresse hídrico é quantificado utilizando-se um fator de déficit hídrico do solo, que varia de 1 (sem estresse) a 0 (totalmente estressado).

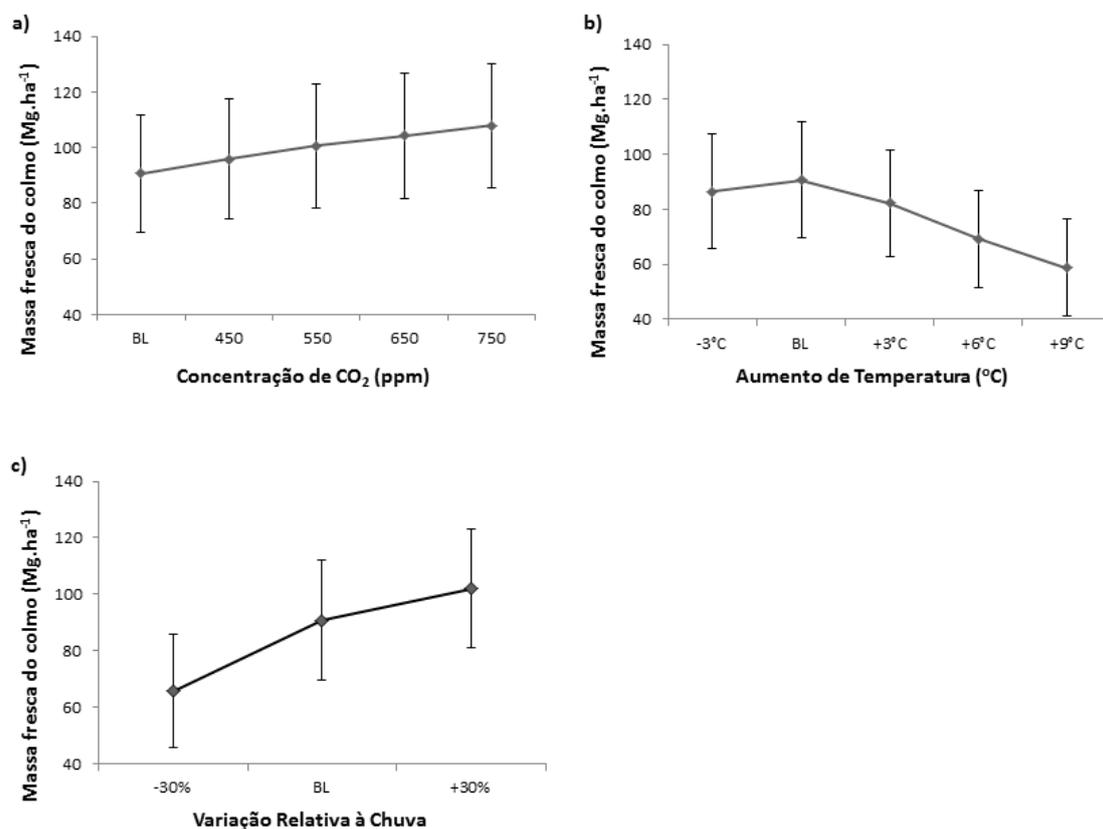


**FIGURA 1:** Variação média do fator estresse hídrico do modelo APSIM para a série histórica de 1977 a 2006 utilizando o cenário PRECIS B2, para o município de Piracicaba-SP.

A resposta da produtividade à variação na concentração de  $\text{CO}_2$ , como observado na Figura 2a, está relacionada ao efeito deste gás sobre a taxa de transpiração e fotossíntese, especificamente ao mecanismo que induz as plantas C4 a fecharem parcialmente os estômatos e aumentarem a resistência estomática. Quanto mais baixa a condutância estomática, menor o fluxo de seiva no xilema, elevando o potencial destes vasos, e, conseqüentemente, a situação dos vegetais quanto ao estresse hídrico melhora (OWENSBY et al., 1997). Resultados positivos para aumento

da produtividade da cana-de-açúcar em relação à elevação na concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera foram obtidos por Marin et al. (2012), com resultados superiores à 10%, com 750ppm de  $\text{CO}_2$  em Piracicaba, com o modelo DSSAT/CANEGRO. Na simulação com o APSIM, o acréscimo de produtividade, na mesma concentração de  $\text{CO}_2$  corresponde à 19,03%.

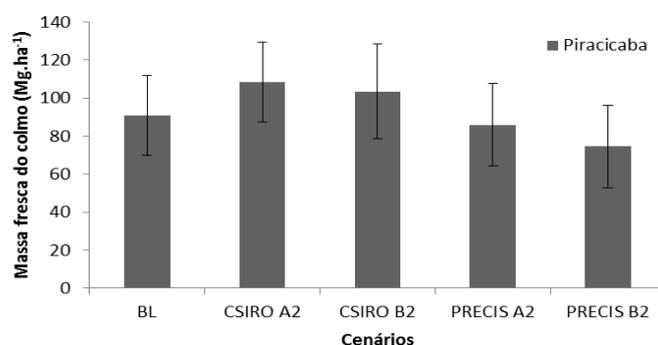
A alteração na quantidade de água no solo, devido ao aumento ou diminuição da precipitação local, proporcionou variações nas simulações do modelo APSIM – Sugarcane. O aumento de 30% na precipitação, proporcionou um incremento produtivo correspondente a 12,3% e a redução de 30% na chuva, diminuiu em aproximadamente 27,6% a produtividade da cana-de-açúcar, como mostrado na Figura 2c.



**FIGURA 2:** Variação nos parâmetros meteorológicos temperatura, concentração de  $\text{CO}_2$  e precipitação e os efeitos na produtividade de colmos ( $\text{Mg.ha}^{-1}$ ), para cana-de-açúcar em Piracicaba - SP.

### Impactos das mudanças climáticas na produção de cana-de-açúcar:

No PRECIS ocorreu aumento de temperatura média em 9% em A2 e 6% em B2. O aumento da temperatura aumentou o nível de evapotranspiração da cana, gerando estresse hídrico. Neste mesmo cenário, ocorreu a diminuição da precipitação de 21% em A2 e 30% em B2, fatores que associados ao aumento de temperatura média levaram a diminuição da produtividade da cana-de-açúcar (Figura 3, Tabela 2).



**FIGURA 3:** Diferenças entre os cenários CSIRO A2, CSIRO B2, PRECIS A2 e PRECIS B2, para a produtividade de colmos média, na da série 1977-2006, comparados ao cenário atual (BL).

**TABELA 1:** Variação percentual da produtividade de cana-de-açúcar, para os cenários CSIROA2, CSIROB2, PRECISA2 e PRECISB2, quanto a Radiação, Temperatura máxima, mínima, média e Precipitação, correlacionados ao cenário atual.

		Radiação	T máx	T min	T méd	Chuva	Produtividade
Variação percentual (%)	CSIRO A2	-10,29	-4,27	-2,95	-3,81	51,60	19,50
	CSIRO B2	-6,33	-2,91	-1,78	-2,51	31,48	13,97
	PRECIS A2	0,00	7,24	13,30	9,36	-20,93	-5,44
	PRECIS B2	0,00	4,31	9,58	6,15	-30,28	-17,82

\* O sinal de negativo (-) corresponde ao decréscimo na produtividade.

Nos cenários de mudanças climáticas, somente CSIRO A2 e B2 demonstraram aumento de produtividade, enquanto que PRECIS A2 e B2 indicaram redução em



relação ao cenário atual. Isto se deve ao fato de que no CSIRO houve aumento de precipitação de 51% e 31% em A2 e B2, respectivamente.

## CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que o modelo APSIM - Sugarcane é sensível à temperatura do ar, concentração de CO<sub>2</sub> e chuva. O aumento da concentração de CO<sub>2</sub> e da precipitação levaram ao aumento da produtividade de colmos, enquanto que variações na temperatura reduziram a produtividade, assim como a redução da precipitação. Dois dos cenários analisados (CSIRO A2 e B2) resultaram em aumento na produtividade da cana-de-açúcar, na ordem de 19,5 e 13,9% enquanto que os cenários PRECIS A2 e B2 mostraram possibilidade de redução na produtividade da cana-de-açúcar para o local analisado.

## AGRADECIMENTOS

Ao Pós-Doutorando Sérgio Ricardo R. de Medeiros e ao Doutorando Daniel Pinto Nassif pelas discussões e colaboração na elaboração do trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, L. & MARENGO, J., 2010. **Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional 22 climate modeling system over South America.** Theoretical and Applied Climatology, 100(3), pp.337-350
- ARNELL, N. W. 2004. **Climate Change and Global Water Resources: SRES Emissions and Socio-economic Scenarios.** Global Environmental Change 14 (1): 31–52.
- BACHNER, S.; C. SIMMER. 2009. **Aspects of Regional Climate Modelling with Focus on Precipitation.** Regional Aspects of Climate-Terrestrial-Hydrologic Interactions in Non-boreal Eastern Europe: 87–94.
- CRESSMAN GP. 1959. **An operational objective analysis system.** Monthly Weather Review 87: 367–374.
- GLEICK, P.H., 1986. **Methods for evaluating the regional hydrologic impacts of global climatic changes.** Journal of Hydrology, 88(1-2), pp.97–116.
- GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T.; GUARDABASSI, P. **The sustainability of ethanol production from sugarcane.** Energy Policy 36. 2008. p. 2086– 2097



GORDON HB, ROTSTAYN LD, MCGREGOR JL, DIX MR, KOWALCZYK EA, O'FARRELL SP, WATERMAN LJ, HIRST CA, WILSON SG, COLLIER MA, WATTERSON IG, ELLIOTT TI. 2002. **The CSIRO Mk3 Climate System Model** [Electronic publication]. Aspendale: CSIRO Atmospheric Research. Technical Report 60, CSIRO Atmospheric Research.

IPCC 2007, AR4, WGI Report. Cambridge Univ. Press. 2007.

JUSTINO, F., A. SETZER, T. J. BRACEGIRDLE, D. MENDES, A. GRIMM, G. DECHICHE AND C. E. G. R. SCHAEFE, **Harmonic analysis of climatological temperature over Antarctica: present day and greenhouse warming perspectives**. International Journal of Climatology, Volume 31, Issue 4, 30 March 2011, Pages: 514–530, DOI:10.1002/joc.2090

KEATING, B.A.; CARBERRY, G.L.; HAMMER, G.L.; PROBERT, M.E.; ROBERTSON, M.J.; HOLZWORTH, D.; HUTH, N.I.; HARGREAVES, J.N.G.; MEINKE, H.; HOCHMAN, Z.; MCLEAN, G.; VERBURG, K.; SNOW, V.; DIMES, J.P.; SILBURN, M.; WANG, E.; BROWN, S.; BRISTOW, K.L.; ASSENG, S.; CHAPMAN, S.; MCCOWN, R.L.; FREEBAIRN, D.M.; SMITH, C.J. **An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation**. Europ. J. Agronomy, v. 18, pp. 267-288, 2003.

KEATING, B.A.; ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; HUTH, N.I. **Modelling sugarcane production systems I. Development and performance of the sugarcane module**. Field Crops Research. v. 61, pp. 253-271, 1999.

MARENGO, J. A., R. JONES, L. M. ALVES, AND M. C. VALVERDE. 2009. **Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system**. International Journal of Climatology 29 (15): 2241-2255. doi:10.1002/joc.1863.

MARIN, F. R.; JONES, J. W.; ROYCE, F.; SUGUITANI, C.; DONZELI, J. L.; PALLONE FILHO, W. J. P.; NASSIF, D. S. P. **Parameterization and Evaluation of Predictions of DSSAT/CANEGRO for Brazilian Sugarcane**. Agronomy Journal, Madison, v. 103, p. 100-110, 2011.

NASSIF, D. S. P. **Parametrização e avaliação do modelo DSSAT/CANEGRO para variedades brasileiras de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2010. 92 p.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.; CONSOLI, M.. **Mapeamento e quantificação do setor sucroenergético** 2008. Ribeirão Preto: MARKESTRAT/ FUNDACE/ UNICA, 2009.



OWENSBY C.E.; HAM J.M.; KNAPP A.; BREMER D.; AUEN L.M.; Water vapor fluxes and their impact under elevated CO<sub>2</sub> in a C<sub>4</sub>-tallgrass prairie. **Global Change Biology**, v.3, p.189–195, 1997.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; JUNIOR, J. Z.; EVANGELISTA, S. R. M.; OTAVIAN, A. F.; ÁVILA, A. M. H.; EVANGELISTA, B.; MARIN, F. R.; JUNIOR, C. M.; PELLEGRINO, G. Q.; COLTRI, P. P.; CORAL, G. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Embrapa, São Paulo, 2008.

VU, J. C.V, AND L. H ALLEN JR. 2009. **Stem juice production of the C<sub>4</sub> sugarcane (*Saccharum officinarum*) is enhanced by growth at double-ambient CO<sub>2</sub> and high temperature**. Journal of plant physiology 166, no. 30 11: 1141–1151.