



SIMULAÇÃO DOS EFEITOS DA MUDANÇA CLIMÁTICA SOBRE A PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

Letícia Martins Lupino¹, João Henrique Chiara Silvério², Rodolfo Augusto Gonçalves², Glauber Jose de Castro Gava³, Raúl Andres Martinez Uribe⁴.

RESUMO

A poluição em geral é muito alta atualmente, mas a emissão de gases poluentes provenientes principalmente dos automóveis e indústrias tornou-se preocupante, pois devido a isto a Terra vem sofrendo alterações climáticas que atingem não só a natureza, mas a humanidade, desestabilizando o balanço energético do planeta. Em decorrência disso, “energias limpas” vêm sendo a solução para o controle da poluição e do aquecimento global, pois causam baixos impactos ambientais. Hoje a principal energia no mercado brasileiro é o etanol, derivado essencialmente da cana-de-açúcar, que vem substituindo os combustíveis fósseis de forma muito eficiente. Devido ao papel de alta influência e destaque que a cana-de-açúcar exerce nacionalmente, em relação à questão econômica e ambiental, é de vital importância pensar como será seu sistema produtivo daqui alguns anos, se a mudança climática continuar nesse mesmo ritmo. Para analisar esse sistema é preciso obter dados, nem sempre facilmente obtidos em pesquisa de campo, por isto, a modelagem agrícola através da simulação de cenários pode contribuir prevendo situações e auxiliando a tomada de decisões futuras. Diante disto, pretende-se estudar os efeitos da mudança climática na produtividade da cana-de-açúcar mediante modelagem agrícola utilizando assim a inovação tecnológica que propicia um software de simulação agrícola normalmente utilizado para representar cenários com variáveis como adubação, irrigação, cultivar, entre outros, mas pouco utilizado na previsão de condições climáticas em decorrência do cambio climático.

Palavras-chave: modelagem agrícola, simulação de cenários, Apsim, inovação tecnológica.

ABSTRACT

The pollution in general is very high today, but the emission of gaseous pollutants coming mainly from cars and industries became worrisome because due to this the Earth is experiencing climate change affect not only nature, but humanity, destabilizing the balance energy of the planet . As a result, "clean energy" have been the solution for the control of pollution and global warming, as they cause low environmental impacts. Today the primary energy in the Brazilian market is ethanol, derived mainly from sugar cane, which is replacing fossil fuel very efficiently. Due to the role of high influence and prominence that cane sugar performs nationally in relation to economic and environmental issue, it is vitally important thinking how will his production system in a few years if climate change continues on the same pace.

¹Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade do Sagrado Coração, Bauru-SP. Bolsista de Iniciação Científica PIBIT - CNPq. ²Graduando em Engenharia Agrônoma na Universidade do Sagrado Coração, Bauru-SP. ³Pesquisador Científico da APTA- Jaú. ⁴Professor e pesquisador, Pro Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação Universidade Sagrado Coração, Bauru-SP. raul.uribe@usc.br

To analyze this system we need to get data, not always easily obtained in field research, therefore, agricultural modeling by simulating scenarios can contribute by providing situations and aiding future decision making. Given this, we intend to study the effects of climate change on the productivity of cane sugar by agricultural modeling thus using technological innovation that provides a software simulation of agricultural usually used to represent scenarios with variables such as fertilization, irrigation, farming, among others, but little used in forecasting weather conditions due to climate exchange.

Keywords: agricultural modeling, simulation scenarios, APSIM, technological innovation.

INTRODUÇÃO

A emissão de gases poluentes decorrentes de atividades humanas vem sendo uma das possíveis causas das alterações climáticas nos últimos anos (BRUCE, 1990; BERLATO et al., 1995 apud BACK 2001). Com o crescente desenvolvimento tecnológico e o adensamento populacional, os impactos ao meio ambiente foram aumentando paralelamente, principalmente após o início da revolução industrial. A partir do final do século passado, certificou-se um aumento de 0,3 a 0,6 C° na temperatura média da terra (HOUGHTON et al., 1996 apud BACK 2001).

A produção agrícola é uma área muito afetada, pois a alteração do clima interfere na quantidade de energia (radiação solar), na temperatura, no consumo de água (evapotranspiração), entre outros. O aumento da temperatura terrestre afeta diretamente a constância e ordenamento das chuvas, tornando maior a existência de cheias e secas (KARL et al., 1996 apud BACK 2001).

Com a problemática da alteração global da temperatura, a humanidade vem buscando formas de minimizar os impactos causados ao meio ambiente. Uma alternativa possível é a geração de energia renovável, pois libera menos gases prejudiciais à atmosfera, além de ser uma energia proveniente de recursos naturais inesgotáveis. Um exemplo destas energias é o etanol produzido a partir da cana-de-açúcar ou cana bioenergética.

De acordo com o mecanismo de fotossínteses a cana-de-açúcar é uma planta C-4 apresentando uma grande taxa de fotossínteses, possuindo uma maior capacidade para a produção de bioenergia (etanol), alta absorção de água pelas suas folhas, maior eficiência sob baixas concentrações de CO₂ e eminente adaptação a elevadas temperaturas (BNDES, 2008; URIBE, 2010; GOUVÊA, 2008).

Analisando num primeiro momento, aparentemente a cana-de-açúcar não teria muitas dificuldades em adaptar-se às maiores temperaturas, provenientes do possível aquecimento global, porém ultrapassando 38°C praticamente não ocorre o crescimento da planta, assim como em temperaturas abaixo de 25°C, onde ela cresce vagarosamente (FAUCONIER e BASSEREAU, 1975 apud GOUVÊA). Portanto é de extrema relevância analisar e compreender como a qualidade e a quantidade de cana-de-açúcar produzida podem ser afetadas pela alteração do clima (URIBE, 2010).

A cana é, para as condições edafoclimáticas do país, a matéria-prima mais vantajosa para a produção de etanol, uma vez que quando comparada às outras culturas, possui uma elevada produtividade e alto balanço energético (BNDES E CGEE, 2008). "A área atualmente ocupada por essa cultura é de apenas 2% a 3%

da terra arável do Brasil, sendo 1,5 % desta terra arável do Brasil destinada à produção de etanol” (NEVES e CONEJERO, 2010).

Devido ao papel de alta influência e destaque que a cana-de-açúcar exerce nacionalmente, em relação à questão econômica e ambiental, é de vital importância pensar como será seu sistema produtivo daqui alguns anos, se a mudança climática continuar nesse mesmo ritmo. Para analisar esse sistema é preciso obter dados, nem sempre facilmente obtidos em pesquisa de campo, por isto, a modelagem agrícola através da simulação de cenários pode contribuir prevendo situações e auxiliando a tomada de decisões futuras.

O APSIM® (Agricultural Production Systems Simulator) é um software que permite realizar simulações de modelos de produção agrícola. A principal inovação é a mudança de um conceito central de que uma cultura responde às fontes de recursos para o conceito de que um solo como base do processo responde ao clima, ao manejo e às culturas (MCCWON et al., 1999).

O APSIM® surgiu devido a necessidade de se prever os efeitos, a longo prazo, do clima, genótipo, solo e manejo sobre a produção de certa cultura. O software é composto por diversos módulos interdependentes, sendo eles: módulos que simulam os procedimentos físicos e químicos, módulos de gerenciamento, que controlam e qualificam todo o sistema agrícola simulado, e módulos que auxiliam a movimentação (entrada e saída) de todos os dados; interagindo através do motor de simulação. Por meio da modelagem é possível escolher o tipo de cultura, os processos do solo, como: pH, erosão, balanço de água, entre outros (CHEEROO-NAYAth et al., 2000).

MATERIAL E MÉTODOS

O programa (APSIM®) foi utilizado com dados climatológicos, edafológicos, de manejo da cana-de-açúcar e de manejo da adubação. Tais dados foram obtidos do Instituto de Pesquisas Meteorológicas da Unesp (IPMET), de dados prévios das condições edafológicas (químicas e físicas), e do sistema produtivo (manejo da cultura e adubação) da Fazenda Experimental da USC “Recanto do Sagrado Coração”, localizada no município de Agudos no Estado de São Paulo.

Foram gerados quatro (4) cenários de simulação: 1 (C1) sem mudança climática (atual), 2 (C2) (ano de 2020) com mudança de +0,24°C e aumento +26 ppm de CO₂, 3 (C3) (ano de 2040) com mudança de +0,84°C e aumento de +114 ppm de CO₂ e 4 (C4) (ano de 2080) com mudança de +1,14°C e aumento de +201 ppm de CO₂ (BERLATO et al., 1995 e GOUVÊA, 2008).

Para determinação da matéria seca da parte aérea foi realizada a colheita final manualmente em 1m de linha, separando-se amostras de folhas secas, ponteiros e colmos. Nessas amostras, foi determinada a biomassa. Todo o material foi triturado em picadora mecânica de forragem. Depois da moagem e homogeneização de cada amostra úmida, retiraram-se subamostras que posteriormente foram secadas em estufa de ventilação forçada, com temperatura de 62°C, até que a massa permanecesse constante.

Na colheita foi realizada a determinação da Pol selecionando 10 canas de cada parcela. As amostras de cada tratamento foram trituradas e homogeneizadas em betoneira. A extração do caldo foi feita por uma prensagem, a 250 kgf cm⁻² por 1 minuto de 500 g de amostra desfibrada e homogeneizada. Pesou-se o resíduo úmido (bolo úmido) resultante dessa prensagem e do caldo extraído analisou-se o Pol% (CONSECANA, 2003).

A produtividade de colmos, em tonelada de cana por hectare (TCH), foi obtida por meio da relação proporcional com a área de cada parcela, considerando 5.556

metros lineares ha⁻¹. A tonelada de pol por hectare (TPH) foi obtida pelo produto entre (TCH) e o Pol% da cana (PCC).

Nos procedimentos de simulação, para tornarem-se aprovados, foram aplicados indicadores estatísticos, sendo eles: o coeficiente de correlação de Pearson (r), o índice de concordância de Willmott (Id) e o coeficiente de determinação da regressão R², que avaliam a variação e precisão dos valores simulados em relação aos valores reais de cada processo (MORETTIN & BUSSAB, 2003 e WILLMOTT, 1981).

As variáveis de saída do modelo foram: produtividade de colmos por hectare (TCH) e produtividade de açúcar por hectare (TPH), todas em Mg ha⁻¹. Com os dados simulados validados com R² acima de 0,75 provenientes do modelo Apsim foram construídos gráficos de acúmulo de biomassa ao longo do ciclo da cultura, realizando regressões sigmóides segundo a função: $Y = Y_{max}/(1 + \exp(-(DAC-A)/B))$, em que: Y: acúmulo da variável simulada em Mg ha⁻¹, Y_{max}: valor máximo da variável simulada (assintota horizontal), A e B são as constantes da função.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nota-se que os valores de TCH e TPH obtiveram índices de validação satisfatórios (Tabela 1). Keating et al., (1999) reportaram coeficientes de determinação (R²) para as previsões do modelo Apsim em comparação com dados observados de 0,93 para a biomassa da cultura e 0,83 para sacarose do colmo, e definiram como satisfatórios valores acima de 0,75.

Tabela 1. Validação do modelo para as variáveis: biomassa da parte aérea (PA), produtividade de colmos por hectare (TCH) e toneladas de açúcar por hectare (TPH).

	TCH		TPH	
	Real	Apsim	Real	Apsim
	Mg ha ⁻¹			
	14,3 (±1,0)	15,8	41,4 (±4,2)	31,5
R ²	0,78		0,75	
Id	0,83		0,76	
R	0,71		0,86	

R² coeficiente de determinação, Id índice de concordância de Willmott, r coeficiente de correlação de Pearson, * desvio padrão da média.

Na Tabela 2 apresentam-se as equações da regressão sigmoidal para as variáveis TCH e TPH. Os valores de Y_{max} para as equações são coerentes com os máximos de produtividade reportados na literatura (Thorburn et al., 2003; Ng Kee Kwong & Deville, 1994). Observa-se uma tendência de aumento na produtividade de colmos e açúcar por hectare relacionada à mudança de cenário (maior oferta de radiação e maior concentração de CO₂).

Aumento de produtividade de cana-de-açúcar com mudanças climáticas também foram estudadas por Gouvêa, 2008 e Melo et al., 2007. Em ambas pesquisas, e com modelos de simulação diferentes, foi evidenciada a resposta positiva da cultura ao aumento da temperatura (aumento da eficiência fotossintética) e da concentração de CO₂ (entendida como aumento da fertilização). Entretanto

alerta-se para mudança do regime de precipitação e, portanto do balanço hídrico, corroborando-se a necessidade do suprimento via irrigação.

Tabela 2. Equações de regressão sigmoidal das variáveis: produtividade de colmos por hectare (TCH), toneladas de açúcar por hectare (TPH) e fitomassa seca da parte aérea (PA) em Mg ha⁻¹, nos cenários (C) estudados.

C	TCH	R ²	TPH	R ²
1	$Y = 61,83 / (1 + \exp(-x - 208,36) / 42,24))$	0,99*	$Y = 12,03 / (1 + \exp(-(x - 205,19) / 54,49))$	0,99*
2	$Y = 75,63 / (1 + \exp(-(x - 189,11) / 37,88))$	0,99*	$Y = 14,83 / (1 + \exp(-(x - 216,99) / 58,01))$	0,97*
3	$Y = 77,90 / (1 + \exp(-(x - 226,96) / 51,06))$	0,99*	$Y = 17,38 / (1 + \exp(-(x - 174,69) / 56,89))$	0,99*
4	$Y = 89,56 / (1 + \exp(-(x - 220,45) / 52,66))$	0,99*	$Y = 19,03 / (1 + \exp(-(x - 177,95) / 56,43))$	0,99*

* Significativo com (p<0,05). **X=DAP (dias após o plantio). R²= coeficiente de determinação.

CONCLUSÕES

As mudanças climáticas estudadas podem propiciar maiores produtividades de colmos e de açúcar por hectare devido a maiores taxas de fixação de CO₂ e aumento da temperatura.

LITERATURA CITADA

- BACK, A. J. **Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas.** Revista de Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726. 2001.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; BONO, L. **Tendência temporal da precipitação pluvial anual no Estado do Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 3, p. 111-113. 1995.
- BNDES, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social e CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (Org.). **Bioetanol de canca-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável.** Rio de Janeiro: BNDES, 2008. Disponível em: <http://www.cgEE.org.br/noticias/viewBoletim.php?in_news=718&boletim=19>. Acesso em: 20 de março de 2013.
- BRUCE, J. P. **The atmosphere of the living planet earth.** Genève : World Meteorological Organization. P. 42. 1990.
- CHEEROO-NAYAMUTH. F. C.; ROBERTSON, M. J. and WEGENER, M.K. **Using a simulation model to assess potential and attainable sugar cane yield in Mauritius.** Field Crops Research. v. 66, n. 3, p. 195-276, 2000.
- CONSECANA. Manual de Instruções. 4. ed. Piracicaba: Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar. Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, 2003. 115p.
- FAUCONIER, R.; BASSEREAU, A. H. **La caña de azúcar.** Barcelona: Blume, 1975. 433 p.
- GOUVÊA, J.R.F. **Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba.** 2008. 98f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Júlia Ribeiro Ferreira Gouvêa, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, L. C.; CALLANDER, B. A.; HARRIS, N.; KATTERBERG, A.; MASKELL, K. **Climate change 1995: the science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. P. 584 .Cambridge (Inglaterra) : Cambridge University Press. 1996.

KARL, T. R.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; QUAYLE, R. G. **Indices of climate change for the United States**. American Meteorological Society Bulletin, Boston, v. 77, n. 2, p. 279-292. 1996.

KEATING. B. A.; M. J.; ROBERTSON, R. C.; MUCHOW. N. I. Huth modelling sugarcane production systems development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, v. 61, p. 253 – 271, 1999.

MELO, S. B.; GALON, L.; SOUZA, E. F. M.; REZENDE, M. L.; RENATO, N. S. Aquecimento global e um estudo da produtividade potencial da cana-de-açúcar para a região de São Paulo. **Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 4, p. 10-17, out./dez., 2007.

MCCOWN. R. L.; HAMMER, G. L.; HARGREAVES, J. N. G.; HOLZWORTH, D. P. and FREEBAIRN, D. M. APSIM: a novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. **Agricultural Systems**, v. 50, p. 255-271, p. 1996.

MORETTIN, P.A.; BUSSAB, W.O. **Estatística básica**. 5.ed. São Paulo: Saraiva, p.526. 2003.

NEVES, M. F.; CONEJERO, M. A.; **Estratégias para a Cana no Brasil**. P. 16,19,20,91. 1 ed. São Paulo. 2010.

NG KEE KWONG K. F. & DEVILLE J. Application of ⁵N-labelled urea to sugar cane through a drip-irrigation system in Mauritius. **Fertilizer Research**, v. 39, p. 223, 1994.

THORBURN, P. J.; DART, I. K.; BIGGS, I. M.; BAILLIE, C. P.; SMITH, M. A.; KEATING, B. A. The fate of nitrogen applied to sugarcane by trickle irrigation. **Irrigation Science**, v. 22, p. 201-209, 2003.

URIBE, R. A. M. **Produtividade e estimativa de acúmulo da biomassa em soqueira de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial com diferentes doses de n-fertilizante**. 2010. 67 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2010.

WILLMOTT, C. J. **On the validation of models**. Physical Geography, v. 2, p. 184-194. 1981.