

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SIMULADOR GENÉRICO DE CULTURAS PARA A CANA-DE-AÇÚCAR

JONATAN TATSCH¹; MARCO MORIONDO², OSVALDO CABRAL³, HUMBERTO DA ROCHA⁴, MARCO BINDI², HELBER FREITAS⁵, MARCO LIGO⁶, EDUARDO GOMES⁷

¹ Meteorologista, Doutorando, Depto. de Ciências Atmosféricas, USP/ São Paulo – SP. Fone: (0 xx 11) 3091 4772.e-mail: jonatan@model.iag.usp.br

² Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Doutor, Depto. de Ciências Agrônômicas e de gestão do Território Agro-Florestas, Università di Firenze, UNIFI/ Florence, Toscana, Itália.

³ Meteorologista, Pesquisador Doutor, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP

⁴ Engenheiro Aeronáutico, Prof. Doutor, Depto. de Ciências Atmosféricas, USP/ São Paulo – SP.

⁵ Meteorologista, Doutorando, Ecologia Aplicada - Programa de Pós Graduação Interunidades ESALQ/CENA, USP, Piracicaba – SP.

⁶ Ecólogo, Pesquisador Doutor, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP

⁷ Engenheiro Mecatrônico, Especialista de Laboratório, Depto. de Ciências Atmosféricas, USP/ São Paulo – SP.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 - Grandarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG.

RESUMO: O etanol brasileiro tem atraído considerável atenção do mercado internacional devido a seus benefícios ambientais quando usado como combustível e energia. Dada a atual expansão das áreas de cultivo de cana-de-açúcar o emprego de modelos de simulação do crescimento de culturas pode fornecer suporte técnico para maximização da produtividade considerando os efeitos do clima e das condições de manejo. Neste estudo é feita avaliação do desempenho de um simulador genérico de culturas (modelo CropSyst) na simulação da biomassa aérea da cana-de-açúcar, para uma área localizada no norte do estado de São Paulo, Brasil.

PALAVRAS-CHAVES: cana-de-açúcar, modelagem do crescimento de culturas, Cropsyst, biomassa aérea.

RESUMO: Brazilian ethanol is attracting considerable interest on the international market due to its environmental benefits when used as a fuel and energy. Given the current expansion of sugarcane fields, the application of a cropping simulation model could provide the technical support for analyzing the system, for better planning, management and monitoring. This study evaluated the performance of CropSyst in simulating the above-ground biomass of a sugarcane crop located in the northern region of the São Paulo state, Brazil.

KEYWORDS: sugarcane, crop growth modelling, Cropsyst, above ground biomass.

INTRODUÇÃO: O etanol brasileiro está atraindo grande interesse do mercado internacional devido a seus benefícios ambientais quando usado como combustível e energia. O Brasil é hoje o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo maior parte da área de cultivo concentrada na centro-sul do país com uma área de ~ 7 milhões de ha (safra de 2008/2009; UNICA, 2009). Entre os estados, São Paulo é o maior produtor do país com 68% da área total disponível para colheita na região Centro-Sul na safra 2008/09 (CANASAT, 2009) e uma

produtividade média de 82 t ha⁻¹ (Macedo et al. 2004). Dada a atual expansão de áreas de cana-de-açúcar, o emprego de modelos de simulação de produtividade agrícola pode fornecer suporte técnico para a maximização da produtividade considerando os efeitos do clima e as condições de manejo. A implementação de um modelo genérico de culturas para simulação do crescimento da cana-de-açúcar pode fornecer uma ferramenta analítica alternativa para o estudo da viabilidade econômica e ambiental da rotação da cana-de-açúcar com outras culturas (p.ex. amendoim e soja). Este trabalho apresenta a calibração preliminar do modelo CropSyst (*Cropping Systems Simulator*, Stockle et al., 2003) para uma plantação de cana-de-açúcar situada no norte do estado de SP. O desempenho do modelo na simulação da biomassa aérea da cana-de-açúcar foi avaliado com base nos dados experimentais obtidos em duas socas consecutivas (2005/2006 e 2005/2007).

MATERIAIS E METODOS: Os dados experimentais utilizados foram coletados numa área de cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) de 351 ha, localizada na Fazenda São José do Pulador da Usina Santa Rita (21°38'S, 47°47'W, 552 m) no município de Luiz Antônio, SP. O sítio experimental é composto por uma torre micrometeorológica instalada no início de fevereiro de 2005 no talhão nº 20, contendo a soca de cana-de-açúcar, variedade SP83-2847, plantada com espaçamento entre linhas de 1,5 m e com altura média de 3 m na época de colheita, realizada em 10 de maio de 2006 e 28 de maio de 2007, correspondentes respectivamente ao 3º (ou 2ª soca) e 4º corte (ou 3ª soca). A produtividade (peso fresco dos colmos/hectare) estimada pela usina no ciclo de 2005/06 (2006/07) foi de 102,4 t ha⁻¹ (63 t ha⁻¹) e a produtividade medida pela amostragem de biomassa foi de 118 ± 23 t ha⁻¹ (85 ± 14 t ha⁻¹) (Cabral et al. 2007).

As variáveis meteorológicas de entrada para o modelo CropSyst foram obtidas da estação meteorológica automática que compõe o arranjo instrumental da torre. Os dados foram amostrados a cada 10 s e gravados como médias de 10 min em um datalogger (CR10X, Campbell Systems), a partir das quais foram calculados os valores diários. As variáveis meteorológicas para simulação foram: precipitação (mm dia⁻¹), temperatura máxima e mínima (°C), radiação solar global incidente (MJ m⁻² dia⁻¹). O solo da área do tipo latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa. A análise textural reportada por Cabral et al. (2007) até 2 m de profundidade indicou uma composição média de 22% de argila, 3% de silte e 74% de areia. Mais detalhes sobre a área experimental, a climatologia da região e das condições meteorológicas durante o período simulado (fev/2005 - mar/2006) são encontrados em Tatsch (2006).

Neste trabalho foi usada a versão 3.04.08 do modelo Cropsyst (<http://www.bsyse.wsu.edu/cropsyst/>). Este modelo é designado como um simulador genérico que usa a mesma abordagem para simular o crescimento e desenvolvimento de uma ampla variedade de culturas (milho, soja, trigo, centeio, sorgo, cevada, arroz irrigado, uva, espécies forrageiras) produzindo bons resultados (ver Stockle et al., 2003 e referências citadas) para diversas regiões do mundo (EUA, França, Itália, Síria, Alemanha, Espanha, Austrália, Rússia, Argentina e África). Para as condições brasileiras, ainda não há estudos publicados sobre a aplicação deste modelo, assim como, de seu uso para simular o crescimento da cana-de-açúcar (Tatsch, 2007). O CropSyst simula o balanço de água no solo, balanço de nitrogênio no sistema solo-planta, a fenologia da cultura, o crescimento do dossel e das raízes, a produção de biomassa, a produtividade, a produção e decomposição de resíduos, a erosão do solo pela água e salinidade. Esses processos são controlados pelo clima, características do solo, da cultura agrícola, sistema de manejo utilizado (inclui rotação de culturas que pode ser aplicada para múltiplos anos), seleção de cultivares, irrigação, fertilização nitrogenada, aplicação de pesticidas, operações agrícolas de preparo do solo e manejo de resíduos. O modelo simula um

simples bloco de terra representado como uma unidade de área biofisicamente homogênea e com regime de manejo uniforme. O passo de tempo do modelo é diário. Uma descrição detalhada do modelo é reportada em Stockle et al., 2003.

A simulação foi realizada com a evapotranspiração estimada pelo modelo de Priestley-Taylor. A redistribuição de água no solo foi simulada usando o método de diferenças finitas. Os módulos de nitrogênio e erosão não foram ativados. Selecionou-se o tipo de planta C4 e a opção perene (colheita conforme datas especificadas). Os valores de alguns dos parâmetros calibrados para cultura são descritos na tabela 1. Estes parâmetros foram prescritos com base em valores observados experimentalmente, valores sugeridos no próprio manual do CropSyst para plantas C4, referências da literatura ou experiência local. Para alguns parâmetros foi necessária a calibração com testes de sensibilidade. As observações disponíveis para calibração do modelo foram: biomassa aérea (aqui definida como a soma entre o peso seco dos colmos, peso seco das folhas verdes e peso seco das folhas senescentes). As medidas de cada componente da biomassa aérea da cana-de-açúcar foram feitas em intervalos de aproximadamente 30 dias durante o período de abril de 2005 a junho 2007 (Fig. 1). Observou-se uma notável redução (~40%) da biomassa aérea total da soca de 2006-2007 em comparação a soca de 2005-2006.

Tabela. 1. Conjunto de parâmetros prescritos para simular a cana-de-açúcar no modelo CropSyst (somente alguns parâmetros são aqui apresentados, a tabela completa do conjunto de parâmetros é reportada em Tatsch, 2007).

Parâmetro	Valor	Unidades
Profundidade máxima das raízes	1	M
Índice de área foliar máximo (IAF_{max})	3	$m^2 m^{-2}$
Coefficiente de partição entre folhas e caule	2	-
Sensibilidade da folha ao estresse hídrico	1	-
Fração do IAF_{max} na maturidade fisiológica	0.8	-
Coefficiente de extinção da radiação solar	0.4	-
Coefficiente da cultura para o dossel completamente desenvolvido	1	-
Coefficiente de transpiração-biomassa aérea	10 (9)*	$kPa kg m^{-3}$
Coefficiente de conversão da radiação em biomassa aérea	4 (3.5)*	$g MJ^{-1}$
Evapotranspiração máxima	5	$mm dia^{-1}$
Potencial de água na folha no ponto de murcha permanente	-500	$J kg^{-1}$
Potencial de água na folha crítico	-1300	$J kg^{-1}$
Temperatura base	18	$^{\circ}C$
Temperatura limite	38	$^{\circ}C$
Graus dia para a emergência	150	$^{\circ}C day$
Graus dia para o IAF_{max}	1020	$^{\circ}C day$
Graus dia para maturidade fisiológica	2000	$^{\circ}C day$

*únicos parâmetros que foram alterados para 3ª soca (valores entre parênteses)

RESULTADOS E DISCUSSÕES: A concordância entre os valores da biomassa aérea simulada e observada pode ser verificada na Fig. 1 e na Tab. 2. A biomassa aérea simulada situou-se dentro do desvio padrão das medidas de biomassa na maior parte do período simulado. Entretanto, observa-se uma pequena superestimativa (subestimativa) do modelo na fase inicial de crescimento no primeiro ciclo (segundo ciclo) e uma superestimativa na biomassa aérea final do segundo ciclo (Fig. 1). A regressão entre os valores simulados e

observados resultou em um coeficiente de determinação de ~ 0.98 e um coeficiente angular da reta de regressão não estatisticamente diferente da unidade (1.035, tabela 1), indicando um bom desempenho do modelo. Uma análise estatística dos resultados obtidos é mostrada na Tabela 1. A média da biomassa aérea simulada pelo modelo (18.14 ± 18.09 , considerando as mesmas datas das medidas de biomassa) foi muito comparável a magnitude da média observada (18.22 ± 17.60), com um erro quadrático médio representando 17% do valor médio de biomassa aérea observada (3.15 t ha^{-1}), enquanto d e EF foram próximos a 1. Estes valores confirmam que esta calibração preliminar do modelo CropSyst para cana-de-açúcar foi satisfatória.

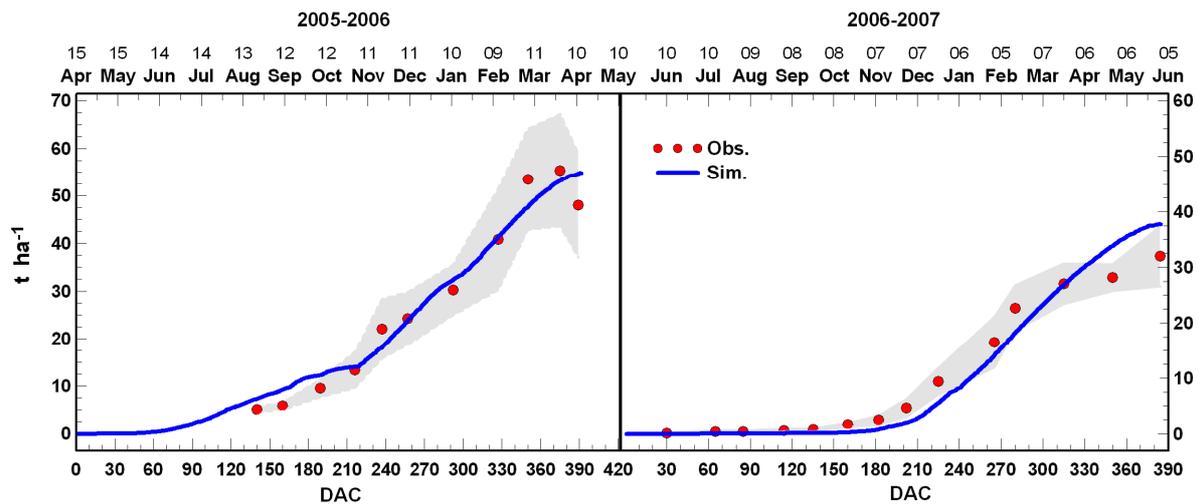


Figura 1. Biomassa aérea observada (pontos vermelhos) e simulada (linha azul) pelo modelo CropSyst. A área sombreada em cinza indica o desvio padrão das amostras de biomassa.

Tabela 2. Resumo estatístico da comparação entre os valores de biomassa aérea observados e simulados usando o modelo CropSyst. Os índices estatísticos são: b (coeficiente angular da reta de regressão), R^2 (coeficiente de determinação), RMSE (erro quadrático médio), RRMSE (RMSE/média observada), d (índice de concordância de Wilmott), EF (coeficiente de Nash-Sutcliffe; com valor ótimo igual a 1).

Média observada (t ha^{-1})	Média simulada (t ha^{-1})	b	R^2	RMSE (t ha^{-1})	RRMSE (%)	d (0-1)	EF ($-\infty < EF < 1$)
18.22 ± 17.60	18.14 ± 18.09	1.035	0.975	3.152	17.2	0.998	0.964

CONCLUSÃO: A simulação da biomassa aérea da cana-de-açúcar com o uso do modelo CropSyst produziu estimativas satisfatórias. O conjunto de parâmetros obtidos nesta avaliação preliminar é uma adaptação inicial do modelo para as condições brasileiras, onde somente o efeito do clima sobre o desenvolvimento da cultura foi considerado. A disponibilidade de dados mais detalhados permitiria testar os módulos do modelo não ativados neste trabalho (módulo de nitrogênio, erosão). Dados de outros experimentos de campo serão usados para validação do modelo futuramente. O fato de o CropSyst usar a mesma abordagem para simular o crescimento de diferentes culturas, revela seu grande potencial como ferramenta analítica para o estudo do efeito da rotação da cana com outras culturas (p.ex. amendoim e soja) sobre a produtividade e o ambiente.

AGRADECIMENTOS: O primeiro autor agradece a União Européia (grant n° 5 USP – FLO) pela bolsa de pesquisa concedida para realização do estágio de seis meses na Universidade de Firenze, vinculado ao projeto internacional ICONE (Impact of Climate change On agricultural and Natural Ecosystems) co-fundado pelo Programa Alfa-II (Programa de Cooperação Acadêmica entre a União Européia e América Latina).

REFERENCIAS:

Cabral, O.M.R., Ligo, M.A.V., Rocha, H.R., Freitas, H.C., Tatsch, J.D., Gomes, E., 2007. Observações micrometeorológicas em plantação de cana-de-açúcar na Usina Santa Rita - Fazenda São José do Pulador (27). Relatório de Pesquisa apresentado a Usina Santa Rita.

CANASAT – Mapeamento da cana via imagens de satélites de observação da terra. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/canasat/>>. Acesso em 01/07/2009.

Macedo I. C., Leal M. R. L. V. e Silva J. E. A. R. 2004. Assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil São Paulo State Environment Secretariat. Disponível em www.unica.com.br/i_pages/files/pdf_ingles.pdf.

Stöckle, C.O., Donatelli, M., Nelson, R., 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. European Journal of Agronomy 18, 289–307.

Tatsch, J.D. 2007. A preliminary evaluation of the CropSyst model for sugarcane in the Southeast of Brazil. Final Report of Impact of Climate Change on Natural and Agricultural Ecosystems Project (ICONE), Alfa-II Program. Disponível em <<http://www.unifi.it/ICONE/>>.

Tatsch, J. D. 2006. Uma análise dos Fluxos de Superfície e do Microclima sobre Cerrado, Cana-de-açúcar e Eucalipto, com Implicações para Mudanças Climáticas Regionais. Dissertação de Mestrado do Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. 112 p. Disponível em <http://www.dca.iag.usp.br/www/material/humberto/TESES/>.

União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA). Dados e Cotações – Estatísticas, Produção Brasil. 2008. Disponível em <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 03.jun.2009.