

# **SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE POTENCIAL DA CANA DE AÇUCAR PARA A CIDADE DE RIBEIRÃO PRETO EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

NATÁLIA S. RENATO<sup>1</sup>, JOÃO B. L. SILVA<sup>2</sup>, LUIZ CLÁUDIO COSTA<sup>3</sup>, GILBERTO C. SEDIYAMA<sup>4</sup>, JOSÉ MARIA N. DA COSTA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Meteorologia Agrícola, Doutoranda em Meteorologia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa MG, Fone: (031) 3899-1890, natalia.renato@ufv.br

<sup>2</sup>M.Sc. Engenharia Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa-MG.

<sup>3</sup>D.Sc. Agrometeorologia, Prof. Titular, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa-MG.

<sup>4</sup>D.Sc. Engenharia Agrícola, Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa-MG.

<sup>5</sup>D.Sc. Agrometeorologia, Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa-MG.

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

**RESUMO:** Objetivou-se neste trabalho desenvolver um modelo para simular a produtividade potencial da cana-de-açúcar em condições de mudanças climáticas para a cidade de Ribeirão Preto. O modelo foi desenvolvido com base nas reações bioquímicas, incluindo a carboxilase e o transporte de elétrons. Apresenta como variáveis de entrada temperatura média do ar e a concentração de CO<sub>2</sub> obtidas a partir do modelo ECHAM5/MPI-OM (cenário A1B), em simulações para o período 2005-2020. Para simular o estágio de desenvolvimento da cultura foram propostas duas metodologias. A primeira considerou a soma térmica dos graus dias e a segunda fixou-se o ciclo da cana-de-açúcar em 350 dias. Os resultados demonstram que o aumento da temperatura encurtou o ciclo da cultura e conseqüentemente a produtividade diminuiu para a primeira metodologia, com maiores variações na queda na produtividade para o ano de 2012 de 49%, em comparação a 2005. Já a segunda metodologia o aumento da temperatura e do CO<sub>2</sub> causará acréscimos na produtividade da referida cultura, tendo as maiores produtividades no ano de 2011 e 2012.

**PALAVRAS-CHAVE:** simulação, produtividade, cana-de-açúcar.

## **SIMULATION OF POTENTIAL PRODUCTIVITY OF SUGAR CANE IN THE CITY OF BLACK RIBEIRÃO IN SCENARIOS OF CLIMATE CHANGE**

**ABSTRACT:** This work aimed to develop a model to simulate the potential yield of sugar cane in terms of climate change. The model was developed based in biochemical reactions, such as carboxylase and transport of electrons. The as input variables were the average temperature and ambient CO<sub>2</sub> concentration obtained from the model ECHAM5/MPI-OM (scenario A1B) in simulations for the period 2005-2020. To simulate the stage of cultural development were proposed two methods. The first view of the thermal degree-days and the second set up the cycle of sugar cane in 350 days. The results show that increased temperature shortened the crop cycle and hence the productivity declined for the first approach, with greater variations in the drop in productivity for the year 2012 of 49%, compared to 2005. The second methodology increased temperature and CO<sub>2</sub> cause increases in the productivity of the culture and the highest yield in the year of 2011 and 2012.

**KEYWORDS:** simulation, productivity, cane-sugar.

**INTRODUÇÃO:** A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma cultura bastante difundida no Brasil, sendo principalmente utilizada para produção de açúcar e álcool. Segundo a COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB (2008), o Brasil é o maior

produtor mundial de cana-de-açúcar: Dos estados brasileiros, São Paulo é o que representa quase 60% da safra nacional. Atualmente a cana-de-açúcar é vista com o potencial de amenizar o crescente problema do aquecimento global com o uso da energia limpa. Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 2007), a temperatura média mundial já aumentou 0,6°C nos últimos 100 anos e aumentará entre 1,4 e 5,8°C de 1990 a 2100, se as emissões de gases de efeito estufa permanecerem com as taxas atuais (IPCC, 2007). Na tentativa de relacionar produtividade agrícola e clima alguns modelos foram desenvolvidos para simular a produtividade das culturas em cenários futuros de mudanças climáticas (COSTA, 2009). Grande parte destes modelos é baseada na simulação da fotossíntese e na partição dos fotoassimilados para seu crescimento. Em vista de estimar melhor a produtividade potencial da cana-de-açúcar em cenários futuros de mudanças climáticas, este trabalho objetivou-se desenvolver um modelo para simular sua produtividade potencia na cidade de Ribeirão Preto comparando duas metodologias diferentes para o estudo do desenvolvimento da cultura, graus dias e ciclo fixo.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O modelo foi desenvolvido no aplicativo ModelMaker. O modelo de simulação é baseado em processos determinísticos e dinâmicos para estimar a produtividade potencial da cana-de-açúcar. Para o cálculo da fotossíntese bruta são utilizadas as equações propostas por YIN e VAN LAAR (2005). Essas equações simulam detalhadamente as reações bioquímicas da fotossíntese como, por exemplo, a carboxilase e o transporte de elétrons. Assim, estas equações simulam a fotossíntese em função da atividade da enzima Rubisco, temperatura e concentração de CO<sub>2</sub>. A respiração de manutenção, que constitui o consumo de energia necessária à organização estrutural da planta, é calculada no modelo a partir da função proposta por McCREE (1974), em razão do peso seco acumulado da cultura com a variação da temperatura. A respiração de crescimento, ou taxa de eficiência de conversão, foi considerada constante no modelo, de acordo com PEREIRA e MACHADO (1986). O cálculo da radiação é feito internamente no modelo no módulo referente à taxa de carboxilação limitada pelo transporte de elétrons. O ponto de compensação da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) é alcançado quando a assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub> é igualada à quantidade de CO<sub>2</sub> liberado na respiração. Assim, com o aumento da PAR acima do ponto de compensação, a fotossíntese é limitada pela capacidade de carboxilação da Rubisco ou pelo metabolismo da triosefosfato. A partição de matéria seca da cana-de-açúcar é feita de acordo com PEREIRA e MACHADO (1986). Nesta existe uma constante renovação das folhas, sendo as folhas mais velhas substituídas por folhas mais novas e mais eficientes. Para isto é introduzido uma taxa de senescência das folhas, a fim de evitar que a área foliar cresça continuamente. A área foliar é acumulada ao longo do crescimento da cultura. Já o índice de área foliar, que considera a área foliar específica e a partição de matéria seca para as folhas, varia ao longo dos estádios de desenvolvimento da planta. Para o cálculo do estágio vegetativo da cultura testaram-se duas metodologias. A primeira usa a soma térmica dos graus dias (VILLA NOVA et al., 1972) já a segunda mantém o ciclo da cana-de-açúcar fixo (DOORENBOS e KASSAN, 1979). Para a calibração do modelo foram utilizados dados climáticos da temperatura do ar coletados na Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (São Paulo), no ano de 2005. Também foram utilizados dados coletados em experimento com a cana-de-açúcar cultivada em câmaras de topo aberto, com duas concentrações de CO<sub>2</sub>, uma ambiente com 370 ppm e outra enriquecida com 720 ppm, em que as concentrações perfaziam dois tratamentos. A calibração dos parâmetros do modelo foi realizada por iteração. Nas simulações foram utilizadas as condições climáticas projetadas com o modelo de circulação geral da atmosfera

(GCM's) ECHAM5/MPI-OM, desenvolvido no Instituto Max Planck de Meteorologia em Hamburgo, Alemanha. Este modelo descreve os principais processos físicos e dinâmicos do sistema climático. Estas projeções climáticas foram de 2005 a 2020 do cenário climático A1B, proposto pelo IPCC (IPCC, 2007).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os primeiros resultados são referentes à metodologia de graus dias para o estudo do desenvolvimento da cana-de-açúcar. Com o modelo desenvolvido foi possível fazer as projeções da produtividade potencial da cana-de-açúcar, em resposta às condições climáticas futuras, na cidade de Ribeirão Preto. A Figura 1 mostra a produtividade potencial da cana-de-açúcar simulada com o método graus dias e a temperatura média anual para a cidade de Ribeirão Preto no período estudado.

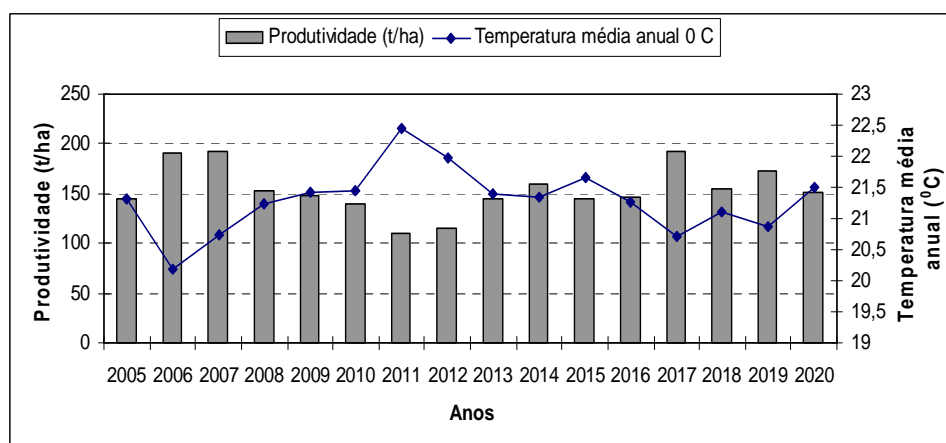


Figura 1 – Variação da produtividade potencial da cana-de-açúcar, utilizando o conceito de graus dias, e a temperatura média anual simulada na cidade de Ribeirão Preto.

Observa-se pela Figura 1 que, quando a temperatura média anual simulada aumenta, a produtividade diminuiu, e quando a temperatura média anual diminuiu, a produtividade aumenta. Esta variação é, principalmente, devida à variação no ciclo da cultura Figura 2.

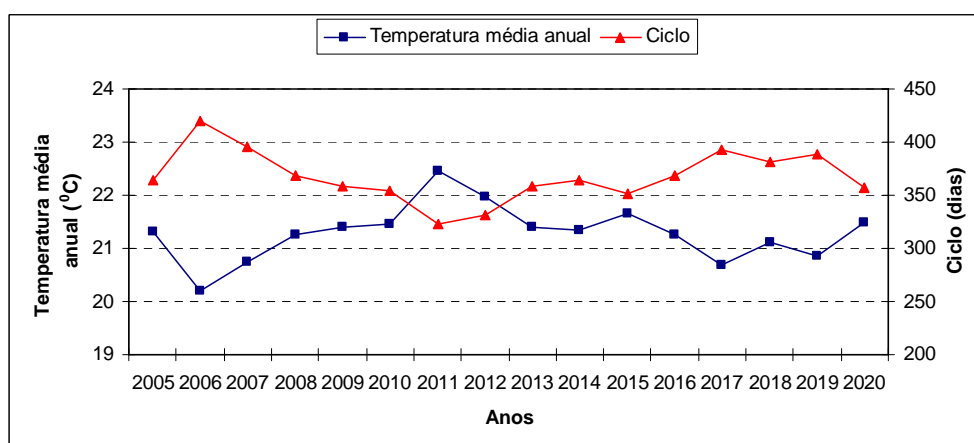


Figura 2 - Variação da temperatura média anual e da duração do ciclo da cultura da cana-de-açúcar na cidade de Ribeirão Preto, simulados a partir dos dados do modelo ECHAM5/MPI-OM.

A diminuição da produtividade potencial da cana-de-açúcar foi devido à grande redução no ciclo da cultura, resultante do aumento da temperatura nos anos de 2011 e 2012. O ciclo da cultura foi reduzido em 42 dias no ano de 2011, correspondendo a 12% no total do ciclo, quando comparando com o ano de 2005. Já nos anos com menores temperaturas médias o ciclo da cultura aumentou, acarretando maior tempo para o acúmulo de matéria seca e, conseqüentemente, maior produtividade. Um aumento de 1,3°C, na temperatura média anual em 2011, reduziu a produtividade em -24%. Já no ano de 2012, o aumento de 1,3°C na temperatura média, reduziu a produtividade em -49%, isto se deve às altas temperaturas simuladas no período de inverno deste mesmo ano. Estes resultados na redução na produção, com aumento de temperatura em cenários futuros, corroboram com os trabalhos de OLIVEIRA (2007) e COSTA et al. (2009). A análise desta metodologia, do desenvolvimento da cultura a partir dos graus dias, mostra que, acréscimos na temperatura média do dia resultam no encurtamento das fases fenológicas da planta e, conseqüentemente, na produtividade final. Estes encurtamentos das fases fenológicas da planta, anulam os efeitos positivos do aumento da temperatura na taxa de fotossíntese instantânea. A Figura 3 mostra a produtividade potencial da cana-de-açúcar simulada com o método do ciclo fixo e a temperatura média anual para a cidade de Ribeirão Preto no período estudado.

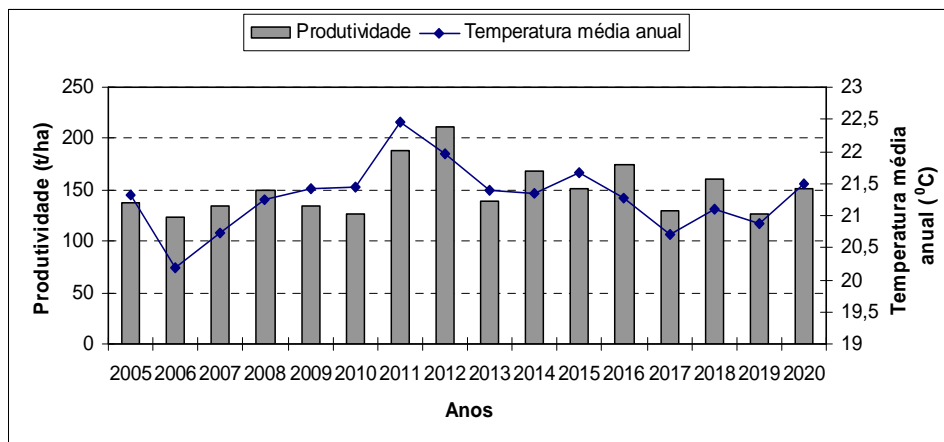


Figura 3 – Temperatura média anual e produtividade potencial da cana-de-açúcar, considerando ciclo fixo, na cidade de Ribeirão Preto.

Quando as projeções foram feitas considerando o ciclo fixo da cana-de-açúcar, que esta relacionado a uma adaptação desta, os anos de 2011 e 2012 apresentaram maiores aumentos na produtividade potencial em 36% e 53%. A maior redução na produtividade em Ribeirão Preto ocorreu em 2019, com queda de -7%. Aumentos na produtividade com o aumento de temperatura também foram encontrados por DOORENBOS e KASSAN (1979), TERRAMOTO (2003) e SILVA et al. (2008).

**CONCLUSÕES:** As simulações, com o cenário A1B do IPCC, na cidade de Ribeirão Preto, mostram resultados diferentes na produtividade potencial da cana-de-açúcar para ambos os métodos de desenvolvimento da cultura (graus dias e ciclo fixo). Na metodologia dos graus dias, em razão do modelo precisar fixar os graus dias totais em um valor constante, este deixa de ser apenas uma referencia térmica. Assim, variações em torno da temperatura média apresentada ao longo do ciclo são desconsideradas. Acarretando encurtamento do ciclo da cultura e menor produtividade potencial, com temperaturas maiores e maior ciclo e produtividade com temperaturas maiores. Também, não se considera neste método, possíveis adaptações da cultura com o passar dos anos. Por outro lado, quando o modelo simulou a

produtividade considerando o ciclo fixo, os valores de produtividade potencial foram maiores nos com temperaturas médias anuais maiores. Neste método, a cultura dispõe de tempo suficiente para seu desenvolvimento, pois aumentos nas temperaturas não acarretam mudanças nos estágios de desenvolvimentos e aumentam as taxas fotossintéticas, resultando em maiores produtividades.

**AGRADECIMENTOS:** Ao CNPq, à Universidade Federal de Viçosa e ao grupo de pesquisa do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV.

## **REFERÊNCIAS**

- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Cana-de-açúcar, levantamento de produção – safra 2008/2009.**
- COSTA, L.C.; JUSTINO, F.; OLIVEIRA, L.J.C.; SEDIYAMA, G.; FERREIRA, W.P.M.; DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water.** Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO Irrigation and Drainage, 33).
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2007: the physical science basis.** Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- LEMONS, C.F. Potential forcing of CO<sub>2</sub>, technology and climate changes in maize (*Zea mays*) and beans (*Phaseolus vulgaris*) yields in the southern part of Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 4, p. 14013-14023, 2009.
- McCREE, K.J. Equations for the rate of dark respiration of white clover and grain sorghum, as function of dry weight, photosynthesis rate and temperature. **Crop Science**, Madison, v. 14, p. 509-514, 1974.
- PEREIRA, R.A.; MACHADO, C.E. Um simulador dinâmico do crescimento de uma cultura de cana-de-açúcar. **Bragantina**, v. 45, p. 107-122, 1986.
- SILVA, F.C.; DÍAZ-AMBRONA, C.G.H.; BUCKERIDGE, M.S.; SOUZA, A.; SOUZA, A.P. **A cana-de-açúcar e as mudanças climáticas: efeitos de uma atmosfera enriquecida em CO<sub>2</sub> sobre o crescimento desenvolvimento e metabolismo de carboidratos de *Saccharum* ssp.** 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- VILLA NOVA, N.A.; PEDRO JUNIOR, M.J.; PEREIRA, A.R.; OMETTO, J.C. Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas: máximas e mínimas. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, v. 30, p. 8, 1972.
- YIN, X.; VAN LAAR. H.H. **Crop systems dynamics an ecophysiological simulation model for genotype-by-environment interactions.** The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2005.