

ESTIMATIVA DA MELHOR ÉPOCA DE PLANTIO E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR COM O MODELO AGROMETEOROLÓGICO AQUACROP

*ESTIMATION OF THE BEST TIME OF PLANTING AND PRODUCTIVITY OF
SUGAR CANE WITH THE AQUACROP AGROMETEOROLOGICAL MODEL*

Natália Gramelisch Silvestre^{1*}
Gustavo Haddad Souza Vieira¹
Demétrius Pinto Nascimento¹

¹ Instituto Federal do Espírito Santo, Ifes Campus Santa Teresa, Santa Teresa-ES.

* Autor para correspondência: natygramelisch@gmail.com

Artigo submetido em 05/06/2018, aceito em 20/05/2019 e publicado em 15/08/2019.

Resumo: Objetivou-se, com esse trabalho, obter previsões de produtividade de cana-de-açúcar, em diferentes épocas de plantio, no município de São Roque do Canaã-ES. As simulações foram realizadas por meio do aplicativo AquaCrop, que teve como variáveis de entrada o clima, o solo, a cultura e a irrigação. Foram efetuadas cinco simulações para plantios nos meses de março, abril, maio, outubro e novembro. Os arquivos de entrada para clima foram: temperatura do ar máxima e mínima diárias, precipitação, velocidade do vento e umidade relativa do ar. A concentração média anual de CO₂ atmosférico de referência e a ETo foram ajustadas pelo modelo. O Arquivo de entrada para solo foram a textura, espessura do perfil, saturação e ponto de murcha permanente. Os arquivos de saída avaliados foram: produtividade (t ha⁻¹), requerimento de irrigação líquida (mm) e eficiência no uso da água expressa em produção por volume de água evapotranspirada (kg m⁻³). O plantio simulado no mês de abril foi satisfatório, necessitando de menor lâmina de irrigação (895,6 mm) devido à maior incidência de chuvas (626,6 mm) para se obter boa produtividade (89,472 t ha⁻¹), além de apresentar melhor produção em relação à água evapotranspirada (2,6 kg m⁻³). O plantio no mês de maio pode ser de risco, devido às condições ambientais no início do desenvolvimento da cultura não serem favoráveis.

Palavras-chave: irrigação; produção; plantio; *Saccharum officinarum*; estresse hídrico.

Abstract: This study aimed to obtain estimates of sugarcane productivity in different times of planting in of São Roque do Canaã, Espírito Santo state, Brazil. The simulations were carried out using the AquaCrop software, which had as variables climate, soil, crop and irrigation. Five planting simulations were carried out in March, April, May, October and November. The input files for climate were: maximum and minimum daily air temperature, rainfall, wind speed and relative humidity. The average annual atmospheric CO₂ reference concentration and ETo were adjusted by the model. The input file for soil were the texture, profile thickness, saturation and permanent wilting point. The output files evaluated were: productivity (t ha⁻¹), net irrigation requirement (mm) and efficiency in water use expressed in production per volume of evapotranspired water (kg m⁻³). Simulated planting in April was satisfactory, requiring a lower irrigation depth (895.6 mm), due to higher rainfall depth (626.6 mm) to obtain good yield (89,5 t ha⁻¹). Besides presenting better productivity in relation to the

evapotranspirated water, 2.6 kg m⁻³. Planting in May can be risky, because the environmental conditions at the beginning of the crop development are not favorable.

Keywords: irrigation; production; planting; *Saccharum officinarum*; hydric stress.

1 INTRODUÇÃO

O município de São Roque do Canaã é destaque regional e nacional na produção de cachaça, sendo que no ano de 2011 existiam 21 alambiques (PROATER, 2011) realizando o trabalho de produção e envasamento no município. Estas fábricas se constituem em importantes geradoras de emprego e renda para o município.

Logo, a produção de cana-de-açúcar possui grande importância, sendo a segunda cultura com maior área de plantio, apresentando aproximadamente 750 ha cultivados em sua maioria em regime de sequeiro (PROATER, 2011).

Os principais fatores ambientais que influenciam a produtividade de cana-de-açúcar são a temperatura do ar e a disponibilidade hídrica (VIANNA e SENTELHAS, 2014). Quando levada em consideração a desuniformidade do regime de chuvas, fatores como a época de ocorrência do déficit hídrico e a intensidade deste déficit, podem afetar diretamente a resposta da cana-de-açúcar à irrigação (RESENDE, 2013).

As necessidades hídricas da cana-de-açúcar vão de 1.500 a 2.500 milímetros por ciclo (DOORENBOS E KASSAM, 1979). Entretanto, estudos mostram que a quantidade de água necessária para a cultura atingir seu máximo potencial é em torno de 1.200 a 1.300 milímetros (MARIN, 2005; VIEIRA et al., 2014).

Diante do estresse hídrico Pincelli (2010), diz que há quatro formas de as plantas expressarem sua tolerância, sendo elas: limitação do crescimento, adaptações morfológicas, adaptações fisiológicas e alterações metabólicas.

A classificação climática do município é do tipo Aw, segundo classificação de Köppen, com chuvas distribuídas de maneira desuniforme, chovendo muito mais no verão que no inverno, sendo 1.083 mm anuais de

precipitação na média histórica (NIMER, 1977).

Nos anos de 2015 a 2017 as médias de precipitação não foram atingidas, e com isso o Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), empregou o índice de precipitação normalizada para medir o grau e intensidade da seca sofrida pelo Estado do ES. O município de São Roque do Canaã no ano de 2015 estava em uma área classificada como extremamente seca, em 2016 a área era moderadamente seca assim como em 2017 (INCAPER, 2019).

Para evitar estes possíveis problemas hídricos, modelos de simulação tem sido amplamente utilizados como ferramentas no planejamento agrícola, tornando-se cruciais para tomada de decisão a fim de driblar adversidades climáticas e estimar a produtividade.

O modelo AquaCrop, que foi desenvolvido por Raes et al. (2009) e Steduto et al. (2009), tem como proposta ser um software simples para estimar a respostas das culturas quanto as suas necessidades hídricas, mantendo sua precisão e robustez. O AquaCrop prediz a produtividade das culturas, a necessidade de água e a eficiência do uso da água, sob condições limitantes de déficit hídrico (RAES et al., 2009).

Alencar em 2014, estudando a parametrização e validação do modelo AquaCrop para a cultura da cana-de-açúcar, observou que tanto na validação quanto na parametrização do modelo AquaCrop os índices estatísticos utilizados proporcionaram valores semelhantes aos resultados de outros modelos que foram utilizados por outros autores. Além disso, segundo Alencar, o modelo pode ser uma ferramenta para estudar a Eficiência do Uso da Água, já que o mesmo foi capaz de prever as respostas de

rendimento da cana-de-açúcar quando ocorreu restrição hídrica.

Desta forma, busca-se com a simulação agrometeorológica, utilizando o aplicativo AquaCrop, identificar quais as

melhores épocas para novos plantios de cana-de-açúcar, correlacionando o regime hídrico com a produtividade da cultura sujeita ao déficit hídrico.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As simulações realizadas foram para o município de São Roque do Canaã, que se encontra na região Noroeste do Estado do Espírito Santo, 40° 39' 24" W 19° 44' 23" S, a

120 m de altitude. Para realizar as simulações, foi utilizado o modelo agrometeorológico AquaCrop versão 6.0 (Figura 1).

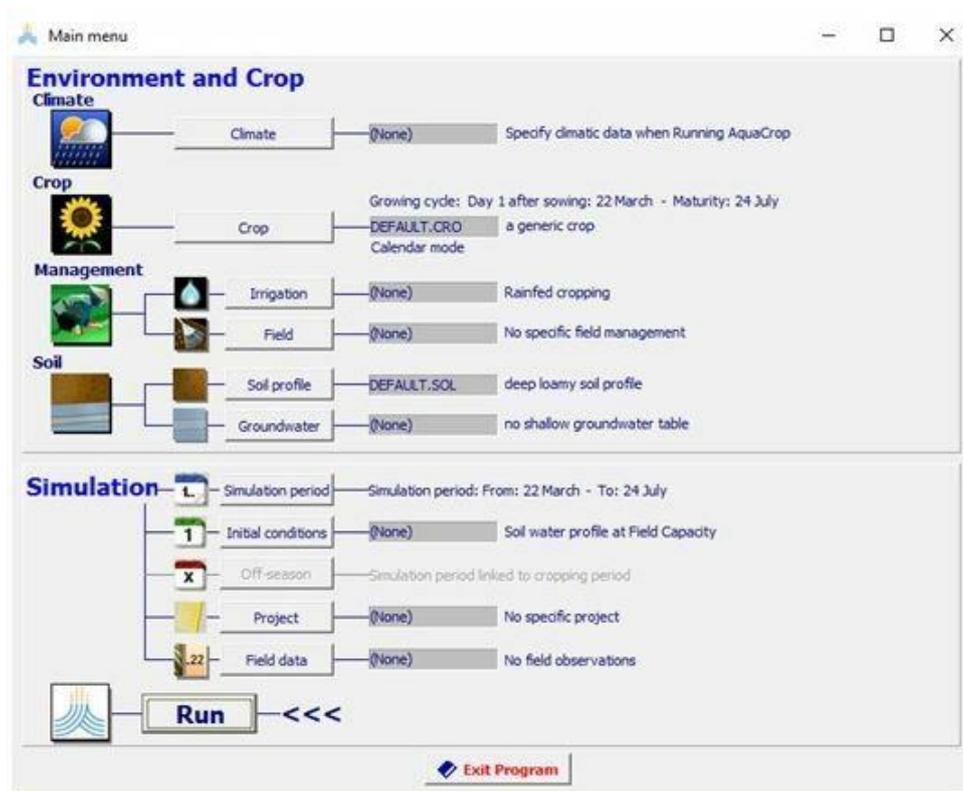


Figura 1 - Interface inicial do AquaCrop 6.0

Quando ao período de plantio, foi escolhido simular os plantios nos meses de março, abril, maio, outubro e novembro, todos no ano de 2016. A duração de um ciclo completo da cultura dura cerca de 12 meses (cana de ano), porém devido a série histórica

de dados climáticos coletados ser somente do período de 01/03/2016 a 30/04/2017, os meses de maio, outubro e novembro não tiveram o ciclo completo simulado (Tabela 1).

Tabela 1 – Período de plantio e a duração dos ciclos simulados pelo modelo AquaCrop.

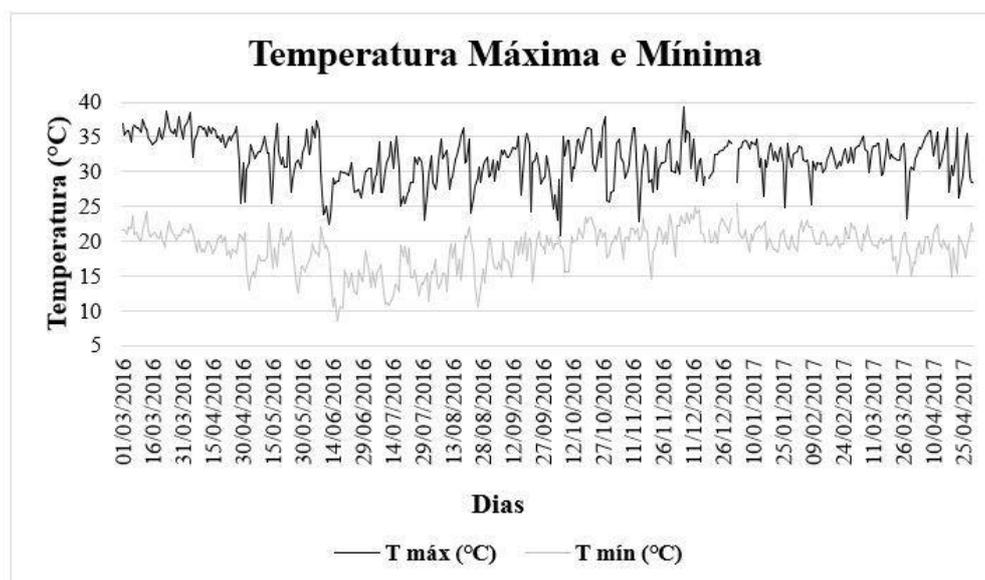
| Mês de Plantio | Duração do Ciclo Simulado |
|----------------|---------------------------|
| Março | 12 meses |
| Abril | 12 meses |
| Mai | 11 meses |
| Outubro | 6 meses |
| Novembro | 5 meses |

Fonte: Autor (2017)

Para teste do modelo AquaCrop foram utilizadas variáveis de entrada de clima, solo e cultura. As variáveis de entrada de clima necessárias para executar o modelo foram: temperatura do ar máxima e mínima diárias e precipitação. Estes dados meteorológicos locais foram obtidos através de estação meteorológica instalada no Instituto Federal de Educação Ciência e

Os valores de Kc basal utilizados nas simulações foi de 0,56 inicial, 1,43 médio e 1,32 final assim como Silva et al. (2014).

Tecnologia do Espírito Santo – *Campus Santa Teresa*, do período de 01/03/2016 a 30/04/2017 (Figura 2 e Figura 3). Estas variáveis foram salvas em arquivo de texto, sendo recuperadas pelo modelo através da interface do usuário. A ET_0 foi calculada pelo próprio AquaCrop conforme a metodologia do boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998).

**Figura 2** – Histórico das temperaturas máxima e mínima coletadas no período de 01/03/2016 a 30/04/2017.

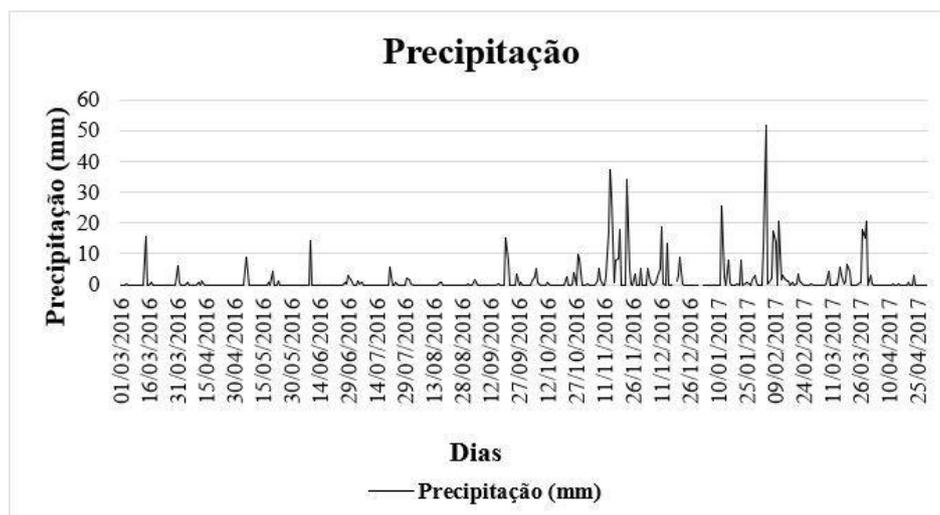


Figura 3 – Histórico da precipitação no período de 01/03/2016 a 30/04/2017.

As características do perfil do solo (arquivo de entrada), necessários ao AquaCrop, foram: espessura do perfil (0,3 m), textura argilo arenosa, conteúdo volumétrico de água na saturação de 203 mm m^{-1} (na umidade de 45%), capacidade de campo (37,3%), ponto de murcha permanente (17%) e condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) de 2.200 mm dia^{-1} . Os dados de solo de áreas cultivadas do IFES

O AquaCrop é representado por uma função linear simples, como apresentado na Equação 1.

Em que:

Y - rendimento da cultura ($kg\ ha^{-1}$);

A produção diária de biomassa ($g\ m^{-2}$ ou $t\ ha^{-1}$) acima do solo é dada pela Equação 2.

$$m_i = K_{sb} WP_i^* \left(\frac{Tr_i}{ET_{o_i}} \right) \quad (2)$$

Em que:

m_i - produção diária de biomassa acima do solo ($t\ ha^{-1}$);

K_{sb} - fator de ajuste para temperatura do ar em função dos graus-dia (a depender do número de graus-dia gerados em um dia, podendo variar entre 0 e 1);

WP_i^* - produtividade de biomassa diária padronizada em relação ao uso da água para a cultura;

Tr_i - transpiração diária da cultura no dia i ($mm\ dia^{-1}$) calculada pelo AquaCrop;

– *Campus* Santa Teresa foram utilizados para realização de simulações.

Os parâmetros avaliados, referentes ao desempenho agrônomico durante o ciclo da cana-de-açúcar, foram (arquivos de saída): produtividade ($kg\ ha^{-1}$), duração do ciclo (dias), requerimento de irrigação líquida (mm) e eficiência no uso da água, expressa em produção por volume de água evapotranspirada ($kg\ m^{-3}$).

$$Y = B\ IC \quad (1)$$

B - biomassa total seca ($kg\ ha^{-1}$);

IC - índice de colheita (%).

ET_{o_i} – evapotranspiração de referência diária ($mm\ dia^{-1}$).

A produção total de biomassa ($t\ ha^{-1}$) acima do solo é representada pela Equação 3.

$$B = K_{sb} WP^* \sum \left(\frac{Tr}{ET_o} \right) \quad (3)$$

Em que:

B - produção total de biomassa seca acima do solo ($t\ ha^{-1}$);

K_{sb} - fator de ajuste para temperatura do ar em função dos graus-dia (a depender do número de graus-dia gerados em um dia, podendo variar entre 0 e 1);

WP^* - produtividade de biomassa padronizada em relação ao uso da água para a cultura;

Tr- transpiração total da cultura no dia (mm dia⁻¹) calculada pelo AquaCrop;

Os ajustes da WP* para concentração de CO₂ atmosférico, produtos sintetizados e fertilidade do solo são descritos por Raes et al. (2011). O manual do modelo traz de forma

ET_o – evapotranspiração de referência do ciclo (mm ciclo⁻¹).

detalhada as equações utilizadas no cálculo de ajustes da WP e IC, como também as sub-rotinas de obtenção da evapotranspiração através do balanço hídrico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme as figuras 4A, 4B, 4C, 4D e 4E, o modelo AquaCrop apresentou um gráfico para transpiração da cultura (Tr) e cobertura do dossel (CC) para cada mês de plantio.

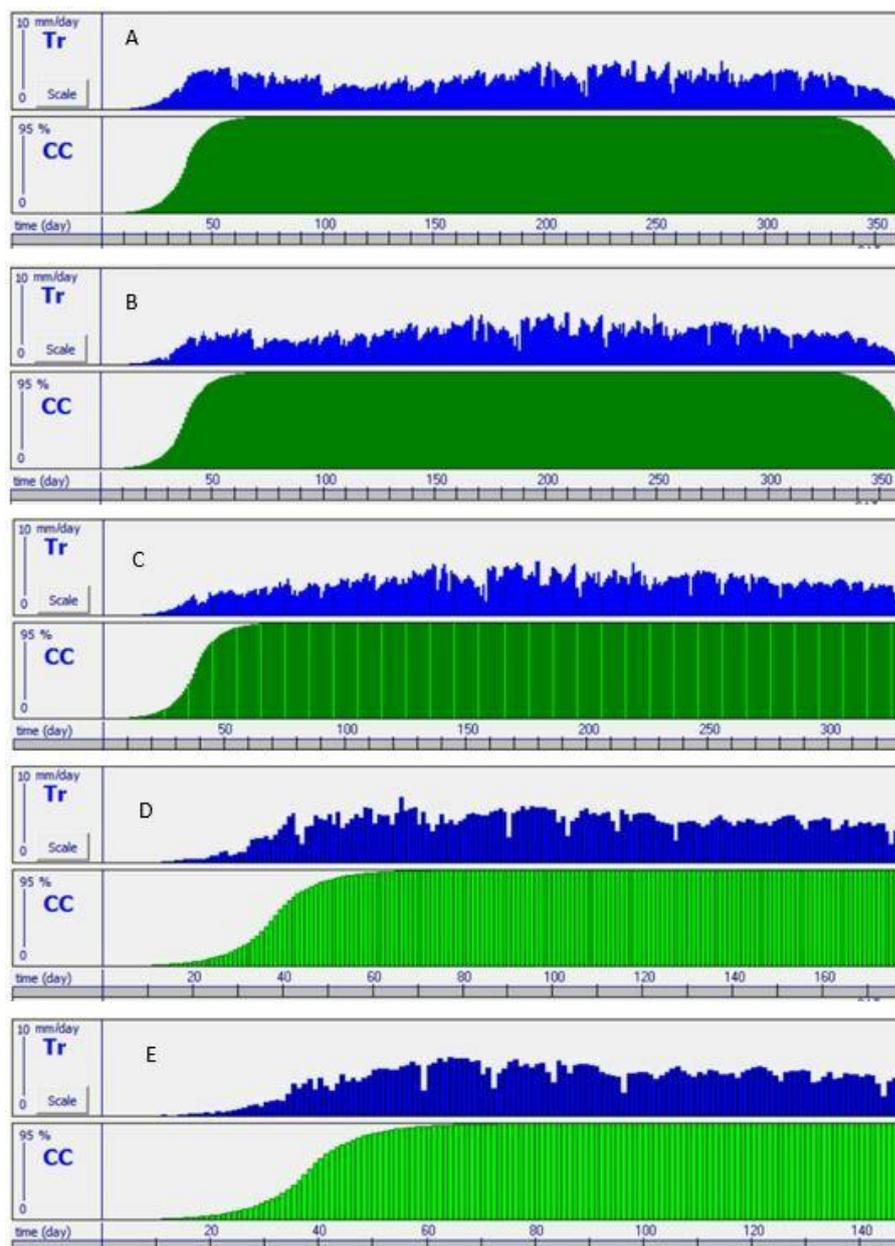


Figura 4 - Transpiração da Cultura Simulada (Tr) e Cobertura do Dossel (CC) referentes aos plantios simulados nos meses de Março (A), Abril (B), Maio (C), Outubro (D) e Novembro (E).

Os gráficos que representavam a CC não apresentaram diferença no seu comportamento. A taxa de crescimento relativa é constante e a cultura é predominantemente vegetativa ao longo do seu ciclo, caracterizando a fase exponencial.

Segundo Manhães et al. (2015), a faixa ótima de temperatura, para o crescimento dos colmos, está entre 25 °C e 35 °C, o que indica que o período de plantio no mês de abril seria mais propício ao crescimento, já que o período de crescimento dos colmos coincidiria com os meses mais quentes (Figura 2).

Com base nos dados climáticos importados, o modelo simulou os valores para irrigação quando o volume de chuvas da região não era suficiente, e calculou os valores de ETc, conforme a Figura 5. O plantio no mês de abril, conforme a Figura 5, apresentou menor transpiração reduzindo a necessidade de irrigação durante o ciclo, quando comparado ao mês de março. Isto porque a tendência da temperatura no início

do desenvolvimento da cultura era diminuir com a aproximação do inverno.

Os plantios nos meses de outubro e novembro, mesmo não possuindo seu ciclo completo simulado, apresentaram maior volume de chuvas (Figura 5), devido a aproximação do verão, que é mais chuvoso no município.

A simulação para o mês de maio, apesar de representar apenas 11 meses do ciclo, apresentou comportamento semelhante aos meses de março e abril, além disso o mês de maio apresentou volume de chuvas maior que o mês de março e, conseqüentemente, menor lâmina de irrigação e evapotranspiração, porém o plantio no mês de maio pode ser arriscado, já que a cana-de-açúcar na fase de perfilhamento (40 a 120 dias após o plantio) e crescimento inicial (120 a 270 dias após o plantio) é sensível ao déficit hídrico, coincidindo com o período seco na região de plantio.

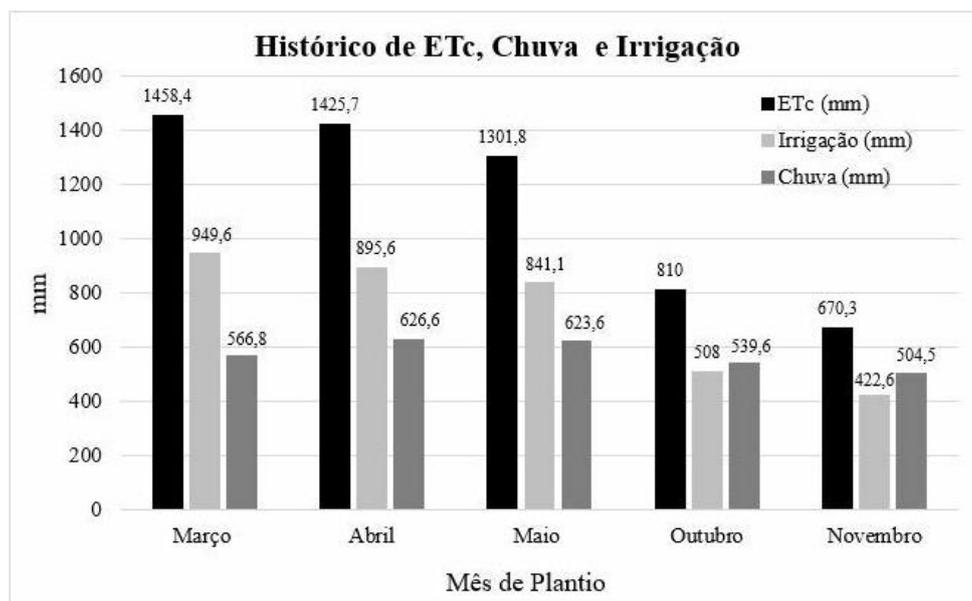


Figura 5- Histórico de evapotranspiração da cultura (ETc), chuva e irrigação para o ciclo da cana-de-açúcar de acordo com o mês de plantio.

Silva et al. (2014), estudando as necessidades hídricas da cana-de-açúcar cultivada em clima tropical, sendo a variedade utilizada RB 92 579, implantada no período de outubro de 2009 a setembro de 2010, observou uma lâmina de irrigação de 1.342,2

mm para todo o ciclo da cultura, valor este muito acima do simulado para os meses de março e abril no município de São Roque do Canaã.

Os valores médios e acumulados da ET com base no balanço hídrico encontrados

por Silva et al. (2014), foram, respectivamente, 4,30 mm dia⁻¹ e 1.686,75 mm para o ciclo, já Barbosa (2015), ao transplantar mudas de cana-de-açúcar no mês de março de 2013, observou uma somatória da ETo de 1152,8 mm para o período do experimento.

Os resultados encontrados no período de plantio de março, abril e maio para o município de São Roque do Canaã encontram-se entre os valores obtidos por estes autores.

Para que ocorra um bom perfilhamento, que contribuirá com o aumento da produção, é importante que os meses correspondentes a esta fase tenham boa intensidade luminosa. Jadoski et al. (2010) diz que, de março em diante, com menos condições de luminosidade e calor, a cana plantada tende a ter um menor índice de perfilhamento, quando comparada com a plantada nos demais meses, porém os dados climáticos utilizados na simulação mostram que neste período de março houve pouca chuva e temperaturas elevadas o que contribuiu para o bom desenvolvimento simulado da cultura.

Já no período de maturação, a cultura deve sofrer uma restrição hídrica, para que possa ocorrer o acúmulo adequado de sacarose nos colmos até o momento da

colheita. Vieira et al. (2012), estudando a produtividade de colmos e rendimento de açúcares da cana-de-açúcar em função de lâminas de água, irrigou todos os tratamentos até cinco dias antes da colheita, e notou que as plantas que receberam maiores quantidades de água apresentaram redução na concentração de açúcares.

Desta forma o plantio realizado no mês de abril teria sua colheita simulada no mesmo mês do próximo ano (abril/2017), período este que teve um baixo volume de chuvas conforme mostra a Figura 3.

Os valores simulados para massa seca (Figura 6) nos meses de março e abril foram semelhantes, com uma diferença muito pequena entre os mesmos. Já para o plantio no mês de maio, se comparado com o mês de março onde a simulação apresentou o maior valor de massa fresca e seca, a diferença atingiu 4,766 e 1,558 t ha⁻¹, respectivamente para biomassa seca total e rendimento da biomassa seca. Isto se deve ao fato de que no início do desenvolvimento da cultura, em maio de 2016, os dias são mais curtos e frios e as plantas recebem pouca intensidade luminosa, reduzindo o seu desenvolvimento.

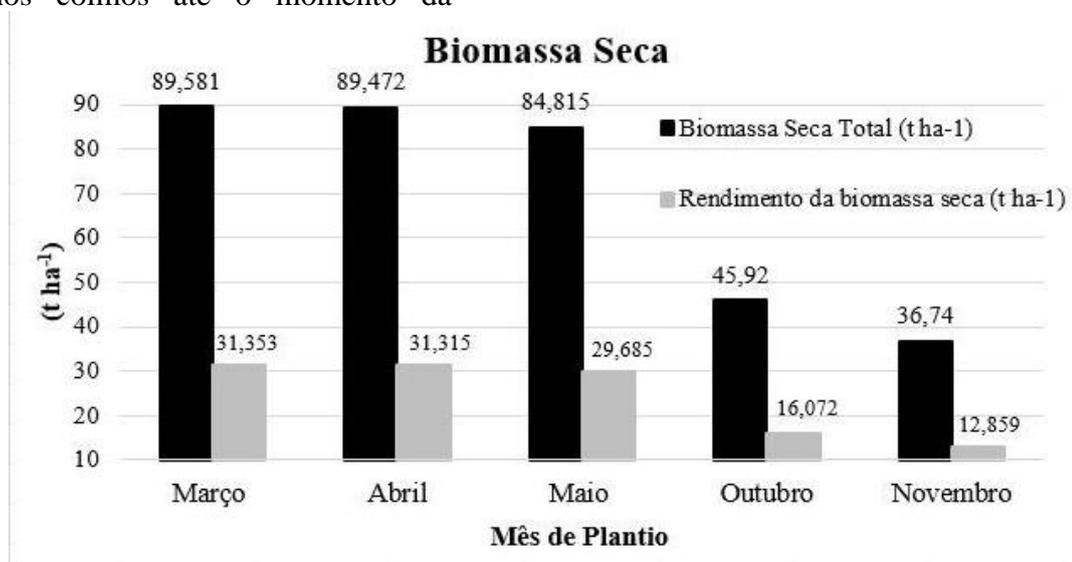


Figura 6 – Produção de biomassa seca total e rendimento da cana-de-açúcar de acordo com o mês de plantio.

Alencar (2014), realizando a parametrização e validação do modelo AquaCrop para a cultura da cana-de-açúcar, em Rio Largo no ciclo da cana planta com irrigação, a cultivar RB92579 apresentou biomassa seca de 66 t ha⁻¹ e a cultivar SP79-1011 apresentou um valor médio de 40 t ha⁻¹. Os valores simulados para os meses de março, abril e maio foram superiores aos resultados obtidos por este autor, possivelmente pelo

período atípico de temperaturas e precipitação sofrido pelo município.

O modelo também estimou a relação entre produção e a água evapotranspirada (Figura 7), onde o plantio no mês de abril apresentou a melhor relação com produtividade de 2,6 kg para cada m³ de água evapotranspirada. O mês de maio, mesmo com valores do ciclo incompleto, apresentou resultado semelhante ao mês de março.

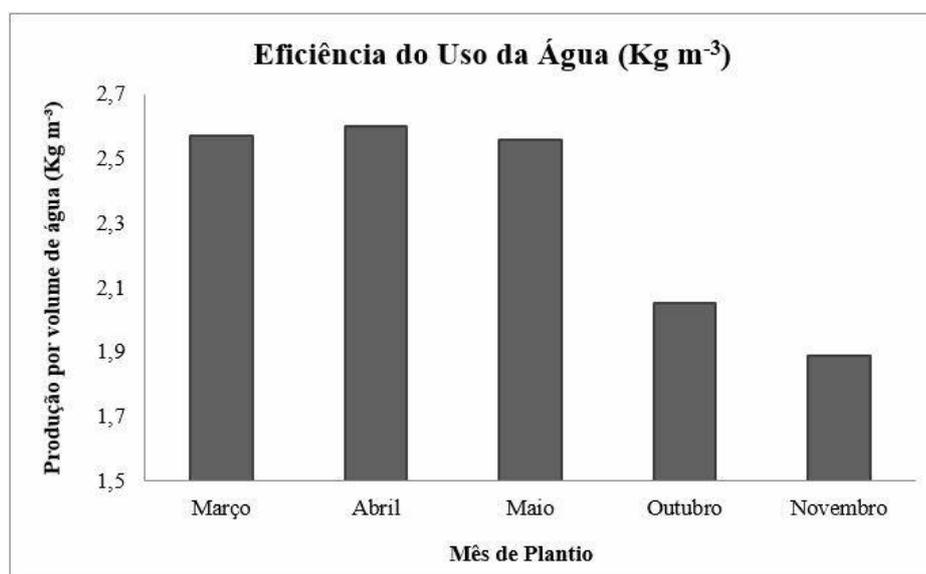


Figura 7 – Eficiência do uso da água (EUA) para o ciclo conforme seu respectivo mês de plantio.

Barbosa (2015), estudando a produtividade de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento, encontrou valor médio para o experimento de EUA 5,29 kg m⁻³. Alencar (2014), obteve para a cultivar RB92579 valores da EUA entre 5,06 - 7,59 kg m⁻³.

Diante dos resultados obtidos por estes autores, os valores simulados pelo AquaCrop ficaram muito aquém.

4 CONCLUSÕES

O plantio simulado no mês de abril apresentou resultados satisfatórios quando comparado com os demais períodos de plantio.

Já os plantios nos meses de maio, outubro e novembro podem ser de risco, devido os fatores como temperatura e

precipitação no início do desenvolvimento da cultura não serem favoráveis.

Para validação dos resultados do Aquacrop em nível de campo, recomenda-se, em trabalhos futuros, a avaliação do desenvolvimento da cultura cultivada fora da casa de vegetação

5 REFERÊNCIAS

- ALENCAR, L. P. **Parametrização e validação do modelo AquaCrop para a cultura da cana-de-açúcar**. 2014. 133 f. Tese de Doutorado – UFV, Viçosa, 2014.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).
- BARBOSA, F. S. Produtividade de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento: interações entre variedades, lâminas e intensidade do déficit hídrico na fase de maturação. 2015. 179 f. **Tese de Doutorado** – USP Esalq, Piracicaba, 2015.
- DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. Yield response to water. **Irrig. And Drainage Paper**. n. 33. FAO, Rome. 1979.
- INCAPER. **Índice de seca**. Disponível em: <<https://meteorologia.incaper.es.gov.br/SP>> Acesso em 25/05/19.
- JADOSKI, C.J.; TOPPA, B.E.V.; JULIANETTI, A.; HULSBOF, T.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D. Physiology development in the vegetative stage of sugarcane. **Pesquisa aplicada e agrotecnologia**, [S.l.], v. 3, n. 2, 2010.
- MANHÃES, C, M. C.; GARCIA, R. F.; FRANCELINO, F. M. A.; FRANCELINO, H. O. F.; COELHO, F. C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices**, Campos dos Goytacazes/RJ, v.17, n.1, p. 163-181, 2015.
- MARIN, F. R. **Árvore do conhecimento – Cana-de-açúcar**. **AGITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. 2005. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeaacucar/arvore/CONTAG01_10_711200516716.html>. Acesso em 09 de maio 2016.
- NIMER, E. **Clima**. In: Geografia do Brasil: Região Sudeste. Rio de Janeiro: IBGE. p. 51-89, 1977.
- PINCELLI, R. P. Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas. 2010. 65f. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- PROATER – Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural 2011 – 2013, São Roque do Canaã. **INCAPER**, 2011.
- RAES, D., STEDUTO, P., HSIAO, T.C., FERERES, E. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water. II. Main algorithms and software description. **Agronomy Journal**. 101, 438–447. 2009.
- RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E. **Reference Manual: AquaCrop**. Rome, Italy: FAO. 2011.
- RESENDE, R. S. Irrigação em cana-de-açúcar. **Revista Canavieiros**, ed. especial, p. 22-26, fev, Sertãozinho, SP, 2013.
- SILVA, V. P. R.; BORGES, C. J. R.; ALBUQUERQUE, W. G. Necessidades hídricas da cana-de-açúcar cultivada em clima tropical. **Ciências Agrárias**, v. 35, n. 2, p. 625-632, 2014.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; RAES, D.; FERERES, E. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. **Agronomy Journal**. 101:426–437 2009.
- VIANNA, M. S.; SENTELHAS, P. C. Simulação do risco de déficit hídrico em regiões de expansão do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.4, p.237-246, abr. 2014.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, E. L.; DELAZARI, F. T. Produtividade de colmos e rendimento de açúcares da cana-de-açúcar em função de lâminas de água. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 234 - 244, abril-junho, 2012.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; DELAZARI, F. T. Produtividade e rendimento industrial da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. **Bioscience Journal**, V.30, n.1, p. 55-64, 2014.