



ESTIMATIVA DA NECESSIDADE DE IRRIGAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

G. A. V. Fernandez¹, B. T. Rudorff², C. Homann³, D. A. Aguiar⁴, T. H. Fontenelle⁵,
W. M. C. Vilella⁶

RESUMO: A irrigação é responsável por 70% da demanda hídrica média no Brasil. Esta cultura representa em torno de 20% do total de outorgas da União para irrigação, sem contabilizar outorgas estaduais. Estimou-se a Deficiência Hídrica (DEF) para apoiar o mapeamento da cultura irrigada com base em imagens MODIS. A DEF é a quantidade de água que a cultura necessita para suprir plenamente sua demanda a fim de expressar plenamente o potencial produtivo na ausência de outros fatores limitantes ao crescimento. A DEF é o parâmetro que melhor representa o impacto da falta de água na boa formação da produtividade agrícola da cultura da cana e é obtida a partir da diferença entre a Evapotranspiração Máxima (ET_m) e a Evapotranspiração Real (ET_r). Usaram-se séries temporais globais de temperatura mínima e máxima, evapotranspiração potencial (ET_o) e precipitação, associados à Capacidade de Água Disponível no solo (CAD). As variáveis meteorológicas vieram dos modelos Weather Research and Forecasting (WRF) e Climate Prediction Center (CPC) para a safra de 2015/2016 e do modelo global de Xavier et al. (2015) para um referencial de longo prazo. Quanto menor essa diferença melhor o suprimento da cultura pela água disponível no solo. O cálculo foi realizado com base no balanço hídrico proposto por Thornthwaite-Mather (1955). Também consideraram-se frequência de ocorrência de geadas (>20%) e temperatura média anual (>19°C). A deficiência hídrica observada na safra 2015/16 foi bem mais intensa do que a média histórica do período (1997-2012) em decorrência da intensa seca atípica observada em 2014. Dado que o consumo de água na irrigação está diretamente relacionado com a demanda hídrica em períodos críticos do crescimento e desenvolvimento da cana a estimativa da DEF deve ser atualizada anualmente devido à variabilidade climática.

PALAVRAS-CHAVE: Cana-de-açúcar, deficiência hídrica, Capacidade de Água Disponível.

¹ MSc. Sensoriamento Remoto, Especialista em Geoprocessamento ANA, Brasil. E-mail: gonzalo.fernandez@ana.gov.br

² PhD. Agronomia/Sensoriamento Remoto, Diretor Executivo da Agrosatélite Geotecnologia Aplicada. E-mail: bernardo@agrosatelite.com.br

³ MSc. Meteorologia, bolsista CNPq. E-mail: camila.homann@gmail.com

⁴ Dr. Sensoriamento Remoto, sócio-diretor da Agrosatélite Geotecnologia Aplicada. E-mail: daniel@agrosatelite.com.br

⁵ MSc. Biogeoquímica, Especialista em Recursos Hídricos ANA, Brasil. E-mail: thiago.fontenelle@ana.gov.br

⁶ MSc. Eng. Agrícola, Especialista em Recursos Hídricos ANA, Brasil. E-mail: wagner.vilella@ana.gov.br

SUGARCANE IRRIGATION NEED ESTIMATION IN BRAZIL

ABSTRACT: Irrigation is responsible for nearly 70% of the water demand in Brazil. This culture represents around 20% of all irrigation permits by the Union, which does not take account on State's permits. Water Deficiency (DEF) was estimated as to support irrigation assessment for sugarcane based on MODIS imagery. DEF is the amount of water the culture needs to totally supply its demand so it can fully express its yield potential in absence of other growth limitations. This parameter best represents water impact in the good formation of sugarcane productivity and it is derived from the difference between Maximum Evapotranspiration (ET_m) and Real Evapotranspiration (ET_r). Global time series of maximum and minimum temperature, potential evapotranspiration (ET_o) and rain, associated to Water Availability Capacity in soil (CAD). Meteorological variables came from the Weather Research and Forecasting (WRF) and Climate Prediction Center (CPC) for the 2015/2016 harvest and the global model of long term meteorological variables by Xavier et al. (2015) as reference. Thornwaite and Mather (1955) model was used to estimate evapotranspiration. Frost occurrence (>20%) and average annual temperature (>19°C) were also considered. Water deficiency observed on the 2015/2016 harvest was much stronger than historic average for the same period since an intense drought was observed in 2014. Given the consumption of water is directly related to water demand in critical periods of sugarcane growth and development DEF estimate shall be updated in a yearly basis to overcome climate variability in the region.

KEYWORDS: Sugarcane, Water Deficiency, Water Availability Capacity.

INTRODUÇÃO

Condições climáticas favoráveis em grande parte do território nacional, boa disponibilidade de terras com solos aptos para o cultivo e custos de produção relativamente baixos são os principais fatores que colocam o Brasil na liderança mundial da produção de cana. A CONAB (2017) estimou para a safra 2016/17 uma produção de 695 milhões de toneladas de cana, utilizada para produzir 39,8 milhões de toneladas de açúcar e 27,9 bilhões de litros de etanol. Além disso, a cana também é responsável por 18% da matriz energética brasileira.

O cultivo da cana-de-açúcar ocupa uma área de cerca de 10,2 milhões de hectares e está basicamente distribuído em duas grandes regiões do país: a Centro-Sul – composta pelos estados do Sudeste, Centro-Oeste e Sul – e a Norte-Nordeste. Os principais produtores do

Centro-Sul – São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraná, Mato Grosso, Rio de Janeiro e Espírito Santo – abrangem 88,8% da área cultivada e respondem por 91,0% da produção.

A cana-de-açúcar apresenta elevada resiliência ao déficit hídrico. Assim, a prática da irrigação pode mitigar os impactos negativos decorrentes de estiagens prolongadas e aumentar a longevidade do canavial. O tempo de reforma clássico de 5 ou 6 anos pode até dobrar. Por outro lado, uma das maiores restrições climáticas à sua expansão são as baixas temperaturas, que em algumas regiões é representada pela ocorrência de geadas.

O presente estudo teve por objetivo apresentar uma análise detalhada das condições edafoclimáticas para a cultivo da cana no Brasil tendo por base um conjunto de variáveis meteorológicas de uma série temporal de 16 anos (1997 a 2012) e a característica dos solos em termos da sua Capacidade de Água Disponível (CAD). Esta análise resultou em um mapa da necessidade de irrigação da cana-de-açúcar no Brasil que indica as regiões com maior e menor aptidão edafoclimática para produção de cana.

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A base metodológica adotada para a estimativa da necessidade de irrigação de cana-de-açúcar no Brasil se baseou no Índice de Satisfação da Necessidade de Água (ISNA), a deficiência hídrica (DEF), a temperatura média anual e o risco de geadas. Baixo risco climático é definido quando os valores de ISNA são superiores a 0,6 e os valores de DEF sejam superiores a zero e inferiores a 200 mm. Ainda em condições de $ISNA > 0,6$ o cultivo da cana é indicado com irrigação de salvamento em regiões onde a DEF está entre 200 e 400 mm. Já em regiões onde o ISNA é menor do que 0,6 e a DEF é superior a 400 mm o cultivo só se viabiliza mediante irrigação plena ou semi-plena. Ainda segundo o ZAE-cana as regiões sujeitas à ocorrência de geadas e aquelas onde a temperatura média anual é igual ou inferior a 19°C apresentam condições climáticas desfavoráveis para a produção de cana.

Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos de Xavier et al. (2015; <https://utexas.app.box.com/Xavier-et-al-IJOC-DATA>) e disponíveis em escala temporal diária e mensal para o período de 1 de janeiro de 1997 a 31 de dezembro de 2012 para as variáveis evapotranspiração potencial (ET_p), precipitação e temperaturas máxima e temperatura mínima.

Este conjunto de dados é uma compilação de dados observados de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE). Estes

dados passaram por um processo de análise qualitativa em relação aos próprios dados e quanto aos diferentes métodos de interpolação conhecidos. A apresentação final é um conjunto de dados meteorológicos observados para todo o Brasil em uma grade regular com resolução de $0,25^\circ$.

Foi realizada uma avaliação da temperatura mínima diária por célula de $0,25^\circ$ para todos os anos do período de análise e, quando ocorreu ao menos um episódio de geada ($T_{\min} \leq 2^\circ\text{C}$), atribuiu-se o valor 1 àquela célula para cada ano de ocorrência. Células com ao menos 20% dos anos com uma ocorrência de valor 1 (episódio de geada) no ano, foram consideradas inaptas para o cultivo de cana.

O ISNA e a DEF são parâmetros que expressam a quantidade de água utilizada em função da disponibilidade da mesma no solo para a cultura. Contrariamente, eles também expressam a falta de água sofrida pela cultura e que poderia ser suprida pela prática da irrigação visando aumentar a produtividade da cana e a longevidade das soqueiras. O ISNA e a DEF são calculados a partir da Evapotranspiração Máxima (ET_m) e da Evapotranspiração Real (ET_r) que estão diretamente relacionadas com a produtividade da cultura. O ISNA varia entre 0 e 1 e é dado pela razão entre ET_r e ET_m sendo que os valores mais próximos de 1 indicam que a cultura está sendo adequadamente suprida pela água disponível no solo, podendo expressar plenamente seu potencial produtivo, desde que superadas outras limitantes. Já a deficiência hídrica (DEF) é dada pela diferença entre ET_m e ET_r, sendo que valores menores indicam que a cultura está sendo adequadamente suprida pela água disponível no solo.

A ET_m define o limite máximo de consumo de água. Em condições plenas de fornecimento de água, ao final do ciclo de crescimento e desenvolvimento da cultura espera-se obter o máximo de produtividade sendo que a ET_m será igual à ET_r e o valor de ISNA será máximo (1); enquanto a DEF será mínima (0). Na medida em que a quantidade de água demandada pela cultura não é plenamente satisfeita ($ISNA < 1$) os valores de ET_r serão menores do que ET_m e, conseqüentemente, haverá uma redução na produtividade. Cabe mencionar que a ocorrência de uma DEF no período que antecede a colheita da cana é desejável, pois embora comprometa o crescimento vegetativo da cana ela irá favorecer o acúmulo de açúcares e assim melhorar a qualidade da cana.

Neste estudo utilizou-se como base o balanço hídrico proposto por Thornthwaite-Mather (1955), tal como em diversos outros estudos (Monteiro e Sentelhas, 2014; Marin et al., 2006; Mota, 1979; Doorembos e Kassam, 1979). As variáveis meteorológicas necessárias para o cálculo do balanço hídrico foram obtidas da base de dados meteorológicos disponibilizada por Xavier et al. (2015).

Inicialmente foi calculada a evapotranspiração máxima (ET_m) a partir da evapotranspiração de referência (ET_o) que por sua vez foi obtida pelo método de Penman-Monteith da FAO e se encontra disponível na base de dados meteorológicos de Xavier et al. (2015). A evapotranspiração máxima é a multiplicação da ET_o pelo coeficiente de cultura (K_c), obtido para cada fase do ciclo de crescimento, desenvolvimento da cana e profundidade do sistema radicular.

A evapotranspiração real (ET_r) é resultado do cálculo do balanço hídrico no solo de acordo com os valores de (P – ET_m), em que P é a precipitação. Assim tem-se dois casos:

- a. Caso 1: Para (P – ET_m) ≥ 0; neste caso ET_r = ET_m
- b. Caso 2: Para (P – ET_m) < 0; neste caso ET_r < ET_m

O segundo caso indicaria oferta potencial de irrigação.

Com base nos valores de ET_m e ET_r pode-se calcular o Índice de Satisfação da Necessidade de Água (ISNA) e a deficiência hídrica (DEF) conforme as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$\text{ISNA} = \text{ET}_r / \text{ET}_m \quad \text{Eq. (1)}$$

$$\text{DEF} = \text{ET}_m - \text{ET}_r \quad \text{Eq. (2)}$$

Esse procedimento foi realizado para estimar um balanço hídrico com frequência diária e mensal. A frequência diária foi estimada para o período de seis meses anterior ao início do crescimento da cana a fim de obter a condição inicial de disponibilidade de água no solo para a cultura. Por exemplo, uma cana com início de crescimento no dia 1º de janeiro de 1998, teve como intervalo de simulação o período de 1º de julho de 1997 a 31 de dezembro de 1998. Esse processo foi feito para as três classes de CAD consideradas: 75, 100 e 125 mm. Em seguida, calculou-se a média do ISNA para cada mês de plantio ou rebrota da cana no período de 16 anos e a deficiência hídrica anual esperada para cada mês de plantio ou rebrota.

A partir dos valores de ISNA e DEF de cada mês de plantio/rebrota dos 16 anos considerados foram calculados valores médios dessas variáveis para todo o período, i.e., um valor de ISNA médio para o mês de janeiro considerando todos os meses de janeiro, todos os fevereiros, todos os marços e assim sucessivamente. Adicionalmente, foram gerados mapas de ISNA e DEF médios com o intuito de sintetizar a informação acerca da aptidão edafoclimática da cana.

Ficou claro que para a região canavieira do Centro-Sul o mês de abril apresenta valores de ISNA mais favoráveis para plantio e rebrota da cana. Para a região canavieira do Nordeste o

mês de setembro apresenta as condições mais favoráveis para plantio e rebrota da cana. Já os menores valores de ISNA para o Centro-Sul e Nordeste foram observados nos meses de novembro e abril, respectivamente. Num primeiro momento parece estranho que a condição mais favorável em termos de ISNA ocorre para as canas planta e rebrota com início do ciclo de crescimento no começo do período seco (p. ex. abril na região Centro-Sul). Contudo, as canas que iniciam o ciclo de crescimento no período seco (outono/inverno) se desenvolvem pouco em termos de formação de biomassa, mas se recuperam bem no início do período chuvoso (primavera/verão) alcançando boas produtividades. Contrariamente, as canas que iniciam o ciclo de crescimento no período chuvoso (primavera/verão) se desenvolvem bem nos primeiros meses de crescimento e, por conta disso, sofrem mais estresse no período seco (outono/inverno), justamente quando aumenta a demanda de água pela cultura ocasionando redução na produtividade.

A partir do mapa de deficiência hídrica dos valores médios mensais para cana foi gerado o mapa de necessidade de irrigação. O mapa de deficiência hídrica expressa a quantidade de água faltante para o desenvolvimento pleno da produtividade da cana-de-açúcar considerando as variáveis edafoclimáticas. Como a quantidade de Açúcar Total Recuperável (ATR) precisa de um déficit hídrico de aproximadamente 200 mm nos últimos meses antes da colheita para atingir níveis máximos, o mapa final de necessidade de irrigação teve seus valores de deficiência hídrica subtraídos em 200 mm.

A partir do risco de geada, de temperatura média anual menor que 19° C, de valores mensais de ISNA e de valores mensais de DEF foram definidas notas para definição de classes de aptidão edafoclimática da cana-de-açúcar.

As notas mensais da aptidão edafoclimática da cana indicam o melhor mês para o plantio ou rebrota da cana-de-açúcar em cada região de acordo com as condições edafoclimáticas no período considerado. Ou seja, eles indicam os melhores e piores períodos de plantio ou rebrota em termos de demanda de água pela cultura da cana. Na região Centro-Sul os meses mais indicados para o plantio e rebrota são os meses de abril a agosto (com deficiência entre 400 e 500 mm), quando a irrigação suplementar ou de salvamento é indicada para obtenção de melhores resultados de produtividade. Na região Nordeste os meses mais indicados para o plantio e rebrota são os meses de setembro a novembro.

Para fins de verificação da validade dos resultados algumas análises foram realizadas sobre o conjunto de mapas finais. Em uma comparação com o ZAE-cana verificou-se haver alinhamento entre áreas com aptidão agrícola alta, média e baixa (ZAE-cana) e as maiores notas

deste estudo, à exceção de algumas dessas áreas que, no presente estudo, pertencem à região com risco de geada ou temperaturas médias anuais menores que 19°C.

Outra análise adicional realizada nesta etapa do estudo foi a comparação das áreas de expansão da cana-de-açúcar no período entre 2005 e 2015 sobre as diferentes classes de aptidão edafoclimática e de necessidade de irrigação da cana. Dos 5,70 Mha de expansão de cana entre 2005 e 2015, 70,3% expandiu sobre as áreas com nota 9 (mais favoráveis), 1,36 Mha (24,0%) expandiu em áreas com nota 8 (irrigação de salvamento recomendada, mas não necessariamente), apenas 3,7% (0,21 Mha) se expandiu em áreas com risco de geada onde a irrigação pode ser recomendada para evitar o dano causado pela geada e somente 1,1% (0,06 Mha) se expandiu em áreas com ISNA menor que 0,6, onde a irrigação plena ou semi-plena é necessária.

RESULTADOS

Praticamente toda a região sul foi considerada inapta por ter elevado risco de geada, exceto no leste de Santa Catarina e no leste e nordeste do Paraná. Além destas, a região da Serra da Mantiqueira (entre Minas Gerais e São Paulo) também foi considerada inapta por risco de geada. Essas regiões coincidem em grande parte com aquelas identificadas com temperatura média anual menor que 19°C.

Tabela 1. Área de cana-de-açúcar cultivada nas safras de 2005 a 2015 por notas de aptidão edafoclimática e de necessidade de irrigação da cana. A última linha da tabela apresenta os valores de expansão ocorridos entre 2005 e 2015.

Safr	NOTA														Total ha
	10		9		8		7		6		2		0		
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	
2005	61.342	1,5	3.569.859	85,4	434.642	10,4	3.986	0,1	0	0,0	1.351	0,0	110.204	2,6	4.181.384
2007	92.687	1,5	4.991.970	83,0	750.702	12,5	6.630	0,1	3.219	0,1	0	0,0	167.517	2,8	6.012.725
2009	110.084	1,4	6.283.449	80,1	1.186.183	15,1	10.500	0,1	0	0,0	5.011	0,1	247.871	3,2	7.843.098
2011	106.336	1,3	6.341.505	78,1	1.348.839	16,6	11.534	0,1	0	0,0	33.886	0,4	272.847	3,4	8.114.947
2013	107.527	1,1	7.313.310	77,3	1.663.348	17,6	16.141	0,2	0	0,0	51.982	0,5	303.344	3,2	9.455.652
2015	101.433	1,0	7.581.246	76,7	1.802.874	18,2	19.473	0,2	0	0,0	61.683	0,6	321.426	3,3	9.888.135
2005-2015	40.091	0,7	4.011.387	70,3	1.368.232	24,0	15.487	0,3	60.332	1,1	0	0,0	211.222	3,7	5.706.751

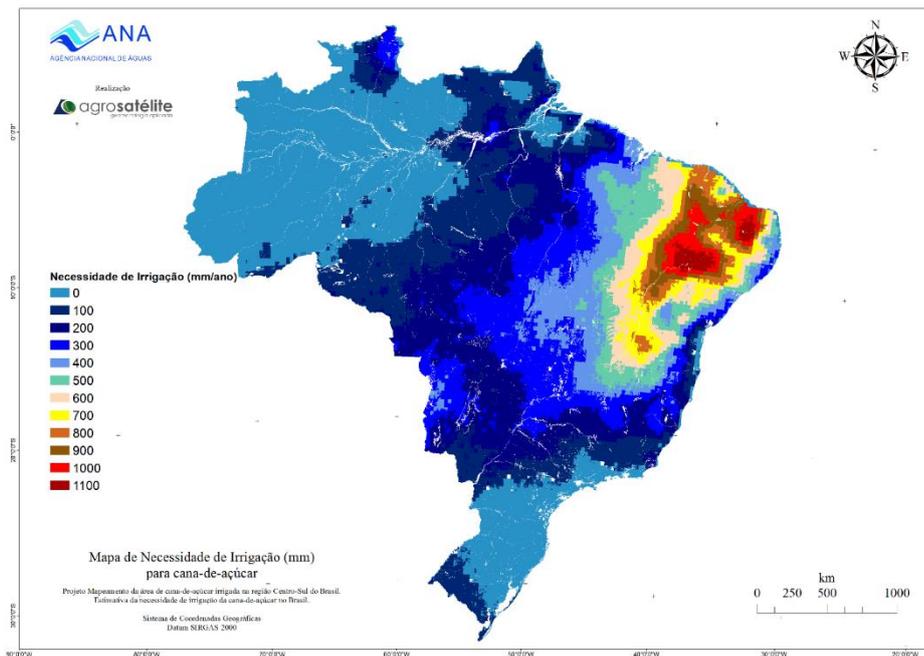


Figura 1. Mapas de Necessidade de irrigação dos valores médios mensais para cana.

No caso da temperatura, como o ciclo considerado é anual, a temperatura média não apresentou diferença significativa entre os meses, entretanto verificou-se uma elevada amplitude térmica no país, com temperaturas médias anuais menores que 15°C em algumas partes da região Sul e no sul de Minas Gerais e outras com temperaturas médias de até 28°C, como as regiões norte e nordeste do Brasil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Obteve-se uma série de mapas sobre a demanda de água pela cultura da cana em função das diferentes datas de plantio ou rebrota da cana ao longo do ano. Estes mapas também podem ser vistos sob a ótica da necessidade de irrigação da cana em função da região de cultivo e da época de plantio ou rebrota. Além da necessidade hídrica da cultura também foram observados aspectos climáticos relacionados com geada e temperatura média anual mínima adequada para o bom desenvolvimento da cultura. Entende-se que os mapas de aptidão edafoclimática gerados na presente etapa do estudo apresentam alta confiabilidade justificada em grande parte pela sólida base de dados meteorológicos utilizada e obtida de Xavier et al. (2015). Outras bases de dados como o tipo de solo em termos da capacidade de água disponível no solo obtidos da EMBRAPA/CNPTIA também foram altamente relevantes para a obtenção desses resultados.

REFERÊNCIAS

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira. Cana de Açúcar, v. 2 - Safra 2015/16, n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-76, abril 2016.

CPTEC-INPE, Acesso em fevereiro de 2016. (Obtido em <http://agricultura.cptec.inpe.br/geada.shtml>).

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H.; Yield response to water. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO-Plant Production and Protection, paper no 33. 1979.

MARIN, F. R. et al. Perda de produtividade potencial da cultura do sorgo no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v. 65, n. 1, p. 157-162, 2006.

MONTEIRO, L. A.; SENTELHAS, P. C. Calibration and testing of an agrometeorological model for the estimation of soybean yields in different Brazilian regions. *Acta Scientiarum. Agronomy*, vol. 36, 2014, pp. 265-272.

MONTEIRO, L. A.; Sugarcane yield gap in Brazil: a crop modelling approach. Tesis, 2015.

MOTA, F. S. *Meteorologia Agrícola*. São Paulo: Nobel, 1979. 376 p.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. *The water balance*. Centerton: Drexel Institute of Technology, 1955.

XAVIER, A. C.; CAREY, W. K.; BRIDGET, R. S. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980 - 2013). *International Journal of Climatology*. 2015. DOI: 10.1002/joc.4518.