

Balanço hídrico em canavial na Amazônia Central: Presidente Figueiredo – AM

Water balance in sugar cane plantations in central Amazon: Presidente Figueiredo - AM.

Aline Mari Huf dos Reis⁽¹⁾; Leticia Guimarães Pimentel⁽¹⁾; Alexandre Ortega Gonçalves⁽²⁾; Gilvan Coimbra Martins⁽³⁾; Fabrcio Resende Fregonezi⁽⁴⁾; Wenceslau Geraldes Teixeira⁽⁵⁾

(1) Bolsista ZARC - Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, aline.huf@colaborador.embrapa.br; (2) Pesquisador Embrapa Solos/Meio ambiente, alexandre.ortega@embrapa.br; (3) Pesquisador Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, gilvan.martins@embrapa.br; (4) Gerência Agrícola - Jayoro, Presidente Figueiredo, AM; fabricio@jayoro.com.br; (5) Pesquisador Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, wenceslau.teixeira@embrapa.br

RESUMO: A cana-de-açúcar é uma planta cultivada em todas as regiões do Brasil em razão de sua boa adaptabilidade quanto ao clima e tipo de solo. Para entender a dinâmica e disponibilidade de água e particionar o balanço hídrico do canavial nos seus diferentes componentes (evaporação, transpiração e transmissão da água no solo). Com o objetivo de estimar os volumes de água nos componentes do balanço se utilizou de técnicas de modelagem de fluxos em sistemas agrícolas. O estudo foi realizado num canavial crescendo num Latossolo Amarelo muito argiloso, pertence à Fazenda Jayoro, no município de Presidente Figueiredo. A simulação do balanço hídrico foi realizada com o software HYDRUS-1D, que utiliza dados de precipitação, retenção de água, evaporação e transpiração e parâmetros fisiológicos da cana de açúcar quanto à absorção de água e distribuição do sistema radicular. Para validação e ajuste dos dados foram utilizados dados da umidade volumétrica média diária provenientes de dois sensores capacitivos instalados a 20 cm de profundidade. O ciclo de cultivo da cana-de-açúcar durou 347 dias, iniciado de 1 de setembro de 2017 a 13 de agosto de 2018. A precipitação totalizou 2427 mm durante esse período. A evapotranspiração real estimada totalizou 485 mm e o total de água percolada no solo foi de 2020 mm. A diferença de água armazenada no solo entre o início e o final do ciclo foi de 37 mm foi somada ao valor de água percolada (2020 mm) e evapotranspiração (485 mm), resultando em 2542 mm. Contudo, esse valor ultrapassou o valor de precipitação (2427 mm), apresentando 115 mm excedente, ou seja, 4,7% de erro no balanço de massa simulado.

Palavras-chave: Solo argiloso; precipitação; dinâmica da água.

ABSTRACT: Sugarcane is mainly presented as an alternative in the biofuels sector. It is a cultivated plant in all regions of Brazilian territory due to its good adaptability to climate and soil conditions. Flow modeling techniques were used in order to understand the dynamics and availability of water, as well as partition the water balance of the sugarcane plantation into its different components (evaporation, transpiration, and soil water transmission). The study was carried out in a sugarcane plantation growing on a very clayey Ferralsol, belonging to the Jayoro Farm, present in the county of Presidente Figueiredo (Amazonas State - Brazil). The water balance simulation was performed with the HYDRUS-1D software, which uses precipitation, water retention, evaporation, and transpiration data. Volumetric water content from two capacitive sensors was used to validate and adjust data. The sugarcane growing cycle lasted 347 days. Total precipitation was 2427 mm during this period. The total estimated evapotranspiration and cumulative bottom flux were equal to 295 mm and 2256 mm respectively.

Keywords: clayey soil, precipitation, water dynamics.

INTRODUÇÃO

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021), a cana-de-açúcar possui alto potencial na produção de etanol e demais subprodutos, sendo considerada excelente alternativa no setor de biocombustíveis e de produção sustentável no país.

É inegável a boa adaptabilidade da cana-de-açúcar nas diversas regiões do país, o que faz surgir usinas por todo o território nacional, bem como a geração de empregos e renda. As regiões norte e nordeste são responsáveis pela maior parte da colheita nacional entre agosto e março, apresentando uma estimativa de

produção de 47.547 toneladas de cana-de-açúcar para a safra 21/22 (CONAB, 2021).

Algumas condições edafoclimáticas são essenciais para o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar. A temperatura deve estar entre 18 e 31°C, e água disponível no solo no período vegetativo são características primordiais para a boa produtividade. A profundidade efetiva e a textura do solo são propriedades físicas importantes a serem consideradas em uma área em que se deseja cultivar a cana-de-açúcar (Barreto et al., 2006).

O objetivo do trabalho foi particionar o volume de precipitação durante o período estudado na evaporação, transpiração, recarga do aquífero, alteração e variação do volume de água armazenado no perfil de solo considerado. A dinâmica da umidade volumétrica estimada e avaliada na profundidade de 0-20 cm foi utilizada para avaliação dos ajustes do modelo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no talhão denominado Usina da Fazenda Jayoro localizada em Presidente Figueiredo (AM). O clima do município é do tipo Am segundo a classificação de Köppen, apresentando temperatura média anual igual a 25,5°C. As chuvas são distribuídas de forma irregular durante os meses do ano, variando entre 2000 e 2500 mm por ano, apresentando um curto período seco. A umidade relativa média do ar é cerca de 85%. O solo do local é Latossolo Amarelo de textura muito argilosa (Rodrigues et al, 2001).

Instalou-se um sistema automático de coleta de dados composto de um coletor de dados Campbell CR1000 (Campbell, Inglaterra). Sensores capacitivos (FDR, modelo CS-650, com haste de 30 cm, Campbell, Inglaterra) avaliavam, na profundidade de 0-20 cm, a umidade volumétrica do solo, com registros em médias horárias transformados em médias diárias. A mesma estação coletava os dados de precipitação pluvial (TR525 – Texas, EUA). Para o cômputo da evapotranspiração de referência diária (ET_o - mm dia⁻¹) utilizou-se dados oficiais de estação meteorológica padrão do Instituto Nacional de Meteorologia instalada no município de Presidente Figueiredo – Praças das Torres (INMET, 2021), em que os dados de radiação solar foram obtidos pelo *NasaPower Project* (Stackhouse, 2021).

Os valores de umidade volumétrica foram calibrados para o Latossolo Amarelo muito argiloso pela equação proposta por Teixeira et al. (2010).

Simulação no Hydrus-1D

Inicialmente, no menu *Main process* selecionaram-se as opções de simulação de fluxo de água (*Water flux*), absorção de água pelas raízes (*root*

water uptake) e crescimento das raízes (*Root growth*). Realizou-se tanto a simulação direta quanto a inversa. Para a discretização dos dados de entrada no modelo Hydrus, todas as informações foram padronizadas para a unidade em centímetros (cm).

Para a simulação foi considerado um perfil de 200 cm de profundidade sendo considerado a camada de 0 a 20 cm com propriedades hidráulicas distintas da camada de 21 a 200 cm. A discretização do tempo foi diária (*days*), sendo o dia inicial igual a um e o final 347. Na seção dos critérios de iteração do modelo utilizou-se 10 como número máximo de iterações e não se alterou mais nenhuma informação do quadro.

As propriedades hidráulicas destas duas camadas (Tabela 1) foram descritas pelo modelo bimodal (Equação 1) de Durner (1994).

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + (\alpha|h|)^n\right]^m}, m = 1 - 1/n \quad (1)$$

Em que θ_r e θ_s são, respectivamente, as umidades volumétricas residuais e na saturação; α e n são parâmetros empíricos; w_2 é um fator de peso para cada moda. Dessa forma, foi possível descrever a função da curva de retenção de água (CRA). Os valores utilizados para a equação de Durner na simulação direta estão descritos na Tabela 1 e foram obtidos por Pimentel et al. (2022).

Como condições de fronteira para o limite superior (*upper boundary conditions*) adotou-se as condições atmosférica (médias diárias) e sem ocorrência de escurrimentos (*run offs*), (*Atmospheric BC with Surface Layer*) admitindo um empoçamento da água na superfície do solo até 10 cm. Para as condições de fronteira inferior (*Lower boundary conditions*) foi selecionado drenagem livre (*Free Drainage*), pela elevada profundidade do lençol freático na área. As condições iniciais de simulação foram baseadas no conteúdo de umidade volumétrica do solo, estimado com valores dos sensores FDR. O crescimento de raízes (*Root growth*) foi estimado ser uniforme (*Root depth*) atingindo 10 cm de profundidade até o trigésimo dia após o plantio, tendo sido assumido seu crescimento ter atingido 30 cm de profundidade a partir do trigésimo primeiro, 40 cm de profundidade a partir do nongentésimo primeiro, e 60 cm de profundidade a partir do centésimo nongentésimo primeiro dia até o final do ciclo. Para a simulação da absorção de água pelas raízes escolheu-se o modelo de Feddes (Feddes et al., 1978) e sem ocorrência de estresse salino. Os valores dos parâmetros de Feddes foram: P0=-10 cm; PO_{pt}=-15 cm; P2H=-150 cm; P2L=-500 cm; P3=-12000 cm; r2H=0,3 cm/dia; r2L=0,02 cm/dia, não sendo escolhido os parâmetros padrão internos ao programa HYDRUS para cana-de-açúcar. A utilização do modelo de Feddes para absorção de água pelas raízes permite penalizar a taxa

de absorção para valores próximos da saturação do solo.

Para o cálculo da evapotranspiração do canal (ETc - mm dia⁻¹) utilizaram-se os valores de ETo (calculada pela equação de Penman-Monteith segundo Allen et al., 1998) multiplicados pelos coeficientes de cultivo (*kc* - adimensional) para cada fase do ciclo. Assim, os valores de *kc* utilizados foram 0,4 (até 21° dia); 0,75 (do 22 ao 181° dia); 1,1 (do 182 ao 241° dia); 1,25 (do 242 ao 301° dia) e 0,70 (do 302 ao 347° dia), baseado nos resultados apresentados por Doorenbos e Pruitt (1977). A ETc foi particionada em transpiração e evaporação de todo o período, a fim de inseri-los na janela *Time variable boundary conditions*. Assumiu-se que até o décimo dia depois do plantio a transpiração foi zero, sendo que a evaporação correspondeu ao valor total calculado para a evapotranspiração. Do 11° até o 20° dia considerou-se que a evaporação correspondeu a 70% da evapotranspiração, sendo que, a transpiração corresponde a diferença entre o valor total da evapotranspiração e a evaporação. Do 21° ao 30° dia a evaporação foi de 60% da evapotranspiração. Do 31° o 60° dia a evaporação do canal foi cerca de 40% da evapotranspiração considerada. Do 61° ao 250° dia a evaporação foi de 30% do valor da evapotranspiração. Do 251° ao 310° dia a evaporação foi de 20% do valor da evapotranspiração. Do 311° ao 347° dia a evaporação retornou a ser 30% da evapotranspiração.

Na seção de editor gráfico (*graphical editor*) indicou-se a distribuição das duas camadas consideradas no perfil (*Material distribution*), sendo inserido um ponto de observação (*node*) a 20 cm da superfície. Esse ponto será utilizado para comparar os valores de umidade volumétrica simulados pelo programa e avaliados pelos sensores FDR CS650.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade média do solo registrada no dia do plantio foi de 0,396 cm³ cm⁻³. Contudo, o valor da umidade inicial simulada pelo Hydrus-1D no modo direto foi de 0,486 cm³ cm⁻³, e 0,414 cm³ cm⁻³ pela simulação inversa (Figura 1). Os demais resultados da simulação direta não foram apresentados, uma vez que os valores de umidade simulada ficaram muito distantes dos valores medidos pelos sensores, apresentando um RMSE = 0,080. Dessa forma, a simulação inversa apresentou resultados mais próximos dos valores medidos (RMSE = 0,022) e, portanto, foi a simulação adotada para finalizar o estudo. Os parâmetros hidráulicos do solo obtidos para a simulação inversa estão descritos na Tabela 1.

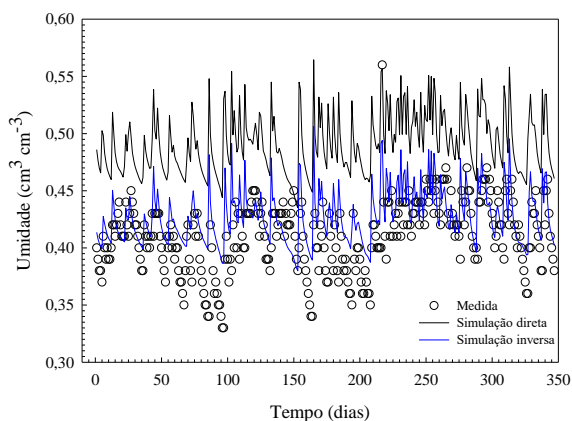


Figura 1 – Umidades medida e simuladas no Hydrus-1D

A precipitação total do período de cultivo foi de 2427 mm. Na Figura 2 apresenta-se a distribuição da chuva ao longo do ciclo da cana-de-açúcar. Nota-se que a maior precipitação pluvial (102 mm) ocorreu por volta da metade do ciclo (dia 165).

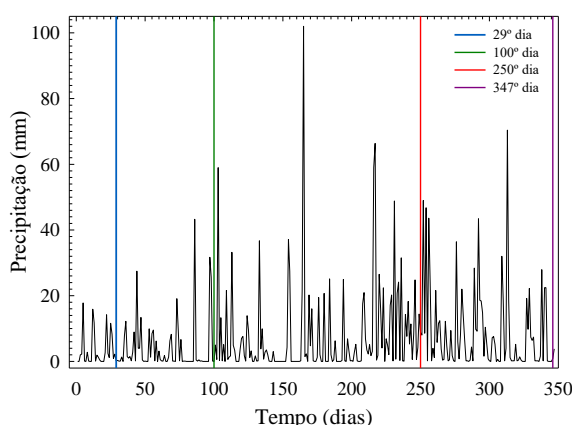
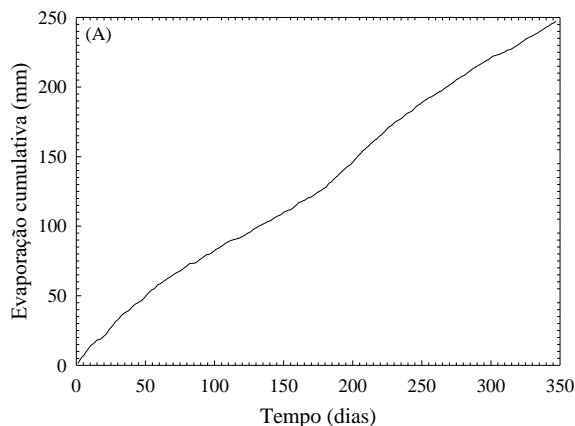


Figura 2 – Precipitação diária no período de 1 de setembro de 2017 a 13 de agosto de 2018.

A evaporação acumulada no período foi de 249 mm (Figura 3A). Sabendo-se que a transpiração ocorre através dos estômatos existentes nas folhas, que permitem a comunicação entre a parte interna da planta e a atmosfera, a transpiração real foi igual a 236 mm (Figura 3B), sendo próximo ao valor de evaporação do solo. A evapotranspiração potencial (ETo) totalizou 949 mm.



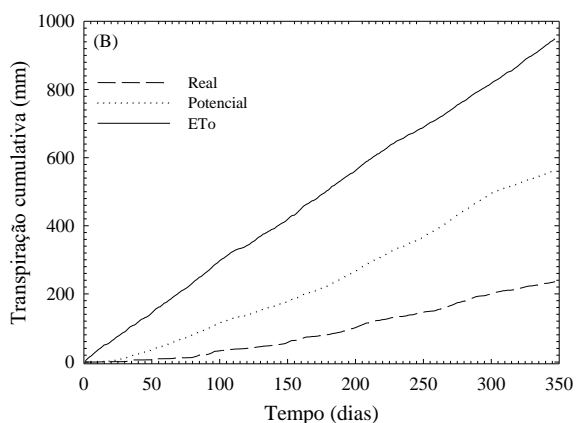


Figura 3 – A) Evaporação cumulativa simulada. ¹B) Evapotranspiração potencial cumulativa (ETo), transpiração cumulativa real e potencial simulada.

A simulação inversa apresentou uma percolação cumulativa da água no solo de 2020 mm (Figura 3A).

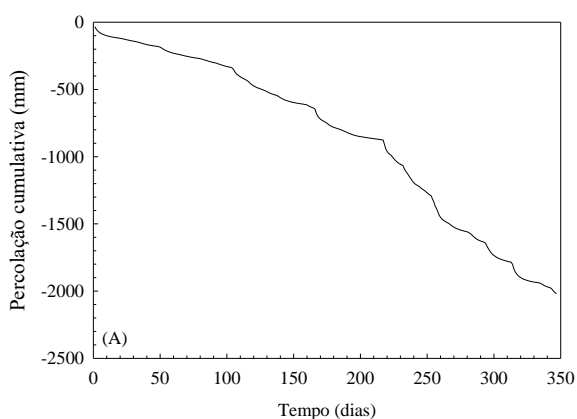


Figura 3 – (A) Percolação cumulativa obtida pela simulação inversa.

O HYDRUS também simulou a quantidade de água armazenada no solo durante todo o período avaliado, o qual continha 885 mm inicialmente e finalizou o ciclo da cana com 848 mm.

Realizando-se o balanço hídrico dos resultados obtidos tem-se um erro de 4,7% no balanço de massa, o que não é o ideal, mas aceitável.

CONCLUSÕES

A simulação do balanço hídrico climatológico para o canal demonstrou a variação da umidade do solo ao longo do período avaliado, bem como a simulação do crescimento das raízes através dos processos fisiológicos de transpiração da planta. A simulação inversa apresentou o menor RMSE para os valores de umidade obtidos em relação aos valores medidos em campo. Contudo, o erro obtido no

balanço de massa deveria ser menor, mesmo assim foi possível verificar a dinâmica da água e o crescimento das raízes ao longo do ciclo da cana-de-açúcar na Fazenda Jayoro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio e parceria no Projeto Jayoro S.A. WGT agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1998.

BARRETO, A. G. O. P. et al. Produção de Etanol: uma opção competitiva para o aproveitamento de áreas alteradas no leste do Pará. Piracicaba: Universidade de São Paulo (USP), 2006.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar, Brasília, DF, v. 8, n. 3, novembro de 2021.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage. Rome: FAO, paper 33, p. 197. 1977.

FEDDES, R. A.; KOWALIK, P. J., ZARADNY, H. Simulation of field water use and crop yield, John Wiley & Sons, New York, NY, p. 194-209, 1978.

INMET. Dados meteorológicos da estação automática Presidente Figueiredo – Praça das Torres (D0038). Disponível em <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A611>. Acesso em 01 de nov de 2021.

RODRIGUES, T. E. et al. Caracterização e classificação dos solos do município de Presidente Figueiredo, Estado do Amazonas. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, Documento 123, 2001. 50p.

ŠIMŮNEK, J. et al. Hydrus-1D Manual. The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media. Department of Environmental Science. University of California, Riverside, 2013.

STACKHOUSE, P. W. **The Power Project. Nasa Prediction of Worldwide Energy Resources, 2021.** Disponível em: <<https://power.larc.nasa.gov/>>. Acesso em: abril de 2022.

¹ Evapotranspiração potencial (ETo) calculada com dados do INMET e equação de Penman-Monteith; transpiração potencial estimada a partir da ETo multiplicada pelos coeficientes de cultivo K_c da cana-de-açúcar em diferentes fases e estimativas do índice de

área foliar; transpiração real estimada em função da evapotranspiração de referência e disponibilidade de água para absorção pelo sistema radicular.

TEIXEIRA, W. G. & BHERING, S. B. Retenção da água no solo pelos métodos da mesa de tensão e da câmara de Richards. In: Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TEIXEIRA, W. G. Land use systems effects on soil physical and hydraulic properties of a clayey

Ferralsol in the Central Amazon. 2001. Bayreuther Bodenkundliche Berichte. Bayreuth, v.72, 1-255 p.

TOPP, G. C. et. al. Electromagnetic determination of soil water content measurements in coaxial transmission lines. Water Resour. Res., Washington D.C., v.16, p. 574-582, 1980.

Tabela 1 – Parâmetros de fluxo de água para o Latossolo Amarelo obtidos a partir da curva de retenção apresentada por Pimentel et al. (2022), e os parâmetros obtidos pela simulação inversa.

Material	θ_r	θ_s	α	n	w_2	α_2	n_2	l	K_s
Simulação direta									
1	0,199	0,566	0,499	10,893	0,754	0,5	1,18	0,5	75
2	0,175	0,58	0,282	1,412	0,41	0,00008	8,094	0,5	75
Simulação inversa									
1	0,199	0,566	0,499	10,893	0,754	0,500	1,180	0,5	200
2	0,175	0,580	0,282	1,412	0,410	0,000	8,094	0,5	200

θ_r e θ_s são, respectivamente, as umidades residual e na saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); α e n são parâmetros empíricos; w_2 é um fator de peso para cada moda; K_s é a condutividade hidráulica do solo saturado (cm dia^{-1}); l é um fator de tortuosidade do meio poroso.