



Umidade do solo e estresse hídrico simulado com Hydrus-1D em área com sorgo forrageiro irrigado

Giovanna da Cunha Aires^{(*)1}, Abelardo Antônio de Assunção Montenegro¹, Ailton Alves de Carvalho², Adriano Luiz Normandia Monteiro³ e Giselle da Cruz de Almeida¹

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco – Departamento de Engenharia Agrícola, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, CEP52171-900 Recife, PE. E-mails: giovanna-aires@hotmail.com, montenegro.ufrpe@gmail.com e giselly_@hotmail.com

²Instituto Nacional do Semiárido (INSA). Av. Francisco Lopes de Almeida, s/n - Serroão, CEP 58434-700 Campina Grande, PB. E-mail: ailton.carvalho@insa.gov.br

³Faculdade Santa Helena. Av. Caxangá, 990, Madalena, CEP 50610-120 Recife, PE. E-mail: ad_normandia@hotmail.com

(*)Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 8 de outubro de 2021

Aceito em 30 de junho de 2022

Termos para indexação:

Reúso hidroagrícola

Hydrus

Sorgo Sudanês

umidade do solo

simulação hidrológica

RESUMO

A avaliação e monitoramento da umidade do solo são essenciais para o sucesso da agricultura irrigada. No aspecto hidrológico, os modelos numéricos possibilitam avaliações detalhadas da dinâmica de umidade e do potencial da água no solo, possibilitando o uso racional dos recursos hídricos. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a dinâmica da umidade e o estresse hídrico do solo simulados pelo modelo Hydrus-1D, em cultivo de sorgo forrageiro irrigado, na presença e ausência da cobertura morta. O experimento ocorreu na estação de tratamento de efluentes do Distrito de Mutuca, Pesqueira – PE. O cultivo do sorgo sudanense procedeu-se entre maio e novembro de 2019, tendo dois ciclos, sendo a umidade do solo monitorada com sonda de Nêutrons durante esse período. Informações agroclimáticas e de solo foram coletadas e adicionados no Hydrus para calibração e simulação da dinâmica de umidade e estresse hídrico durante o cultivo. O modelo mostrou-se eficiente através do erro quadrático médio (RMSE) e erro médio absoluto (MAE). Com base nas simulações numéricas, constatou-se que o cultivo de sorgo esteve submetido a baixo estresse hídrico, com uma média diária de potencial matricial do solo de -161,8 a -148,4 cm, para as camadas de 20 e 40 cm, respectivamente. O Hydrus simulou de forma adequada a dinâmica de umidade do solo, principalmente durante o período chuvoso e fornecendo o estresse hídrico ao longo do cultivo, representando uma importante ferramenta para monitoramento de cultivos irrigados.

© 2022 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

A escassez hídrica no semiárido brasileiro e as incertezas no regime pluviométrico vem comprometendo as ati-

vidades agropecuárias (Carvalho et al., 2021a). Por outro lado, destaca-se que o reúso de efluente doméstico tratado é uma alternativa viável para produção de forragem, necessitando ser incentivado como uma forma de minimizar

o problema associado à limitada disponibilidade de recursos hídricos no semiárido (Carvalho et al., 2021b).

Dentre as culturas de maior potencial para irrigar com efluente doméstico tratado, destaca-se o sorgo sudanense, uma forrageira estratégica para o semiárido, pois apresenta uma elevada tolerância à seca, alta eficiência no uso da água, elevado potencial de matéria seca, proteína bruta e forragem, além disso, apresenta alta tolerância à salinidade (Carvalho et al., 2020; Tabosa, 2020). Adicionalmente, apresenta elevado desempenho produtivo quando irrigado com efluente doméstico tratado e na presença de cobertura morta (Carvalho et al., 2020), prática conservacionista que proporciona maior eficiência do uso da água, redução da evaporação e amplitude térmica, aumento da infiltração da água no solo e conservação da umidade (Montenegro et al., 2013).

A conservação da umidade do solo em cultivos agrícolas irrigados é essencial, e deve ser monitorada, porém sua medida em escala temporal longa se torna onerosa e a modelagem representa uma alternativa essencial para suprir essa necessidade e garantir uma gestão adequada das áreas produtivas (Silva et al., 2015).

Dentre os modelos hidrológicos, o Hydrus se destaca por se mostrar eficiente para simulação de dinâmica de umidade, adequando-se para fluxo saturado/insaturado da água no solo (Er-Raki et al., 2021), demonstrando adequado desempenho para simular a umidade em diferentes condições de cobertura vegetal do solo, com uso de diversas práticas agrícolas, em escala de cultivo (Silva et al., 2015).

Diante disso, o presente trabalho visou modelar a dinâmica de umidade do solo em cultivo de sorgo sudanense irrigado com efluente doméstico tratado, na presença e ausência de cobertura morta, em ambiente semiárido.

Material e Métodos

Área de Estudo

O estudo foi realizado na estação de tratamento de efluentes (ETE) de Mutuca, localizada no município de Pesqueira – PE. A área está situada nas coordenadas geográficas 8° 16' 50,75" Sul e 36° 34' 17,61" Oeste (Figura 1), na bacia hidrográfica do Rio Ipojuca.

Conforme a classificação de Köppen o clima da região é do tipo As, com o verão seco (Alvares et al., 2013), com pluviometria média anual de 607 mm (Carvalho et al., 2020).

O solo é classificado como Planossolo Háplico Sálco Sódico Hipereutrófico, com capacidade de campo de 0,3 e 0,33 cm³cm⁻³ e ponto de murcha permanente de 0,2 e 0,2 cm³cm⁻³, para as camadas 0-20 e 0-40 cm de solo (Miranda, 2010; Santos et al., 2017).

A ETE recebe efluente doméstico de 150 residências, uma média de 3000 L dia⁻¹ de efluente bruto, que passa por um tratamento preliminar contendo grades de barras, desarenador, calha Parshall reator Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), trabalhando em conjunto com um filtro anaeróbico de fluxo ascendente e lagoa de polimento, gerando assim o efluente tratado para irrigação (Miranda, 2010).

A água residuária tratada utilizada na irrigação apresenta as seguintes características (Tabela 1).

A variedade de sorgo utilizada no experimento foi a IPA SUDAN 4202, cultivada entre maio e novembro de 2019, durante dois ciclos, de maio a julho o quarto ciclo, e julho a novembro o quinto ciclo, em duas parcelas, uma com a presença de cobertura morta (PC), onde foi utilizada 80% de capim natural seco como cobertura (capim carapicho - *Cenchrus echinatus* L.; capim-corrente - *Urochloa*

Figura 1. Localização geográfica da área experimental, na estação de tratamento e reúso de esgoto doméstico, inserida na Bacia do Rio Ipojuca, Pesqueira, PE.

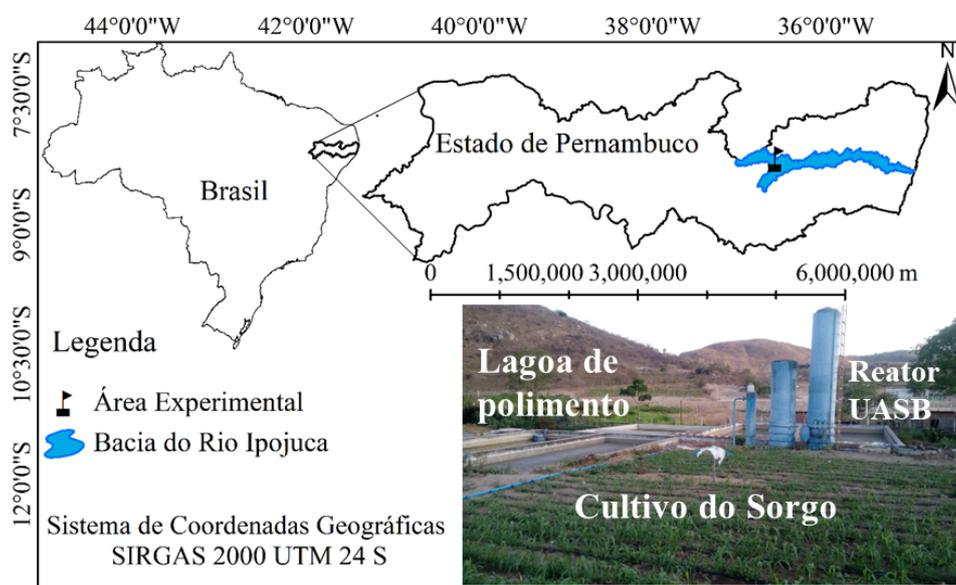


Tabela 1. Parâmetros químicos da água residuária tratada utilizada durante os cultivos.

Parâmetro (Unidade)	Concentração
pH	8,30
Sólidos totais dissolvidos (mg L ⁻¹)	2869
Ferro Total (mg L ⁻¹)	< 0,01
Manganês Total (mg L ⁻¹)	0,05
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	2,00
Nitrogênio Total (mg L ⁻¹)	23,60
Ca ²⁺ (mmol L ⁻¹)	1,72
Mg ²⁺ (mmol L ⁻¹)	4,19
Na ²⁺ (mmol L ⁻¹)	34,02
K ⁺ (mmol L ⁻¹)	2,19
Cl ⁻ (mmol L ⁻¹)	26,79
SO ₄ ⁻ (mmol L ⁻¹)	2,16
NO ₃ ⁻ (mmol L ⁻¹)	0,68
CO ₃ ²⁻ (mmol L ⁻¹)	2,00
HCO ₃ ⁻ (mmol L ⁻¹)	10,61
CE (dS m ⁻¹)	3,41

mosambicensis Hack. Dandy) e 20% por leguminosas (Bredo - *Amaranthus deflexus* L.; Pega-pinto - *Boerhavia diffusa* L.; Beldroega - *Portulaca oleracea* L.), e outra em condição de solo sem cobertura (SD), tendo cada parcela dimensões de 10 X 10 m².

A evapotranspiração de Referência (ET_o) foi determinada com base no método de Penman-Monteith (FAO-56), utilizando os parâmetros agrometeorológicos da estação Onset (Modelo - EAC-U30-900). A irrigação foi realizada por meio do Sistema Xique-Xique (gotejamento simplificado, no qual as mangueiras de polietileno são perfuradas manualmente), dois dias na semana, baseado na evapotranspiração aferida.

Os coeficientes de cultivo (K_c) utilizados para determinar a evapotranspiração da cultura (ET_c = ET_o * K_c) baseou-se na fase fenológica: fase I - Semeadura e estabelecimento (0,4); fase II - crescimento vegetativo (1,1); fase III - floração e formação da produção (1,0); e fase IV - maturação (0,7) (Costa et al., 2017). As irrigações foram realizadas adotando-se um turno de rega de 2 dias.

Monitoramento Hidrológico

O monitoramento da umidade do solo foi realizado através de uma sonda de nêutrons, modelo 503 DR HYDROPROBE®, em 40 Tubos de acesso em cada parcela experimental para monitorar a umidade do solo na profundidade de 20 e 40 cm, igualmente espaçados de 1 m x 2,5 m. Além disso, coletou-se amostras de solo em cada ponto para avaliação da umidade com base no método gravimétrico (Embrapa, 2011). Simultaneamente às coletas de solo, foram realizadas leituras com a sonda de nêutrons para a construção da equação de calibração após a obtenção da umidade na base de massa, conforme realizado por Souza et al. (2011), obtendo-se assim a equação calibrada:

$$\theta = 0,0086 + 0,361 * CN (20cm) \quad (1)$$

$$\theta = 0,0148 + 0,363 * CN (40 cm) \quad (2)$$

em que θ representa a umidade do solo (g g⁻¹) e CN é a contagem relativa de nêutrons. O coeficiente de determinação encontrado para a calibração foi de 0,91 e 0,88 para as profundidades de 20 e 40 cm, respectivamente.

Modelo Hydrus-1D

Formulação matemática

O modelo Hydrus-1D soluciona uma versão modificada da equação de Richards:

$$\frac{\partial}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \cos \alpha \right) \right] - S \quad (3)$$

em que h é a carga hidráulica (L), θ é o conteúdo volumétrico de água no solo (L³ L⁻³), t é o tempo (T), K é a condutividade hidráulica (L T⁻¹), x é a coordenada espacial (L), α é o ângulo de direção do fluxo e S é o termo de extração de água (L³ L⁻³ T⁻¹) (Silva et al., 2015).

Para a determinação da relação entre condutividade não saturada, o teor de umidade volumétrica e o potencial mátrico do solo, o modelo utiliza a equação de van Genuchten-Mualem (van Genuchten, 1980).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |h|)^n]^m} \quad (4)$$

em que θ_r é a umidade residual (m³ m⁻³), θ_s a umidade na saturação (m³ m⁻³), e, n e m são os parâmetros de ajuste do modelo.

O parâmetro empírico de ajuste da curva m é obtido pela relação $m = 1 - (1/n)$, conforme Mualem (1976). A função de condutividade hidráulica é escrita como:

$$K = K_s S_e^x \left[1 - \left(1 - S_e^{1/m} \right)^m \right]^2 \quad (5)$$

em que x é o parâmetro da conectividade do poro, estimado por (Mualem, 1976), sendo adotado o valor de 0,5, para a maioria dos solos, e K_s é a condutividade hidráulica do solo saturado, S_e é a saturação relativa e m é o parâmetro empírico da curva (Shekhar et al., 2019).

A extração de água pela raiz da planta utiliza o método proposto por Feddes (1978), segundo Macêdo (2018), caracterizado pelo processo de extração de água em escala macroscópica, onde é baseado na hipótese de que a extra-

Tabela 2. Parâmetros hidráulicos do solo.

Camada	θ_r	θ_s	α	n	m	Ks
(cm)	(cm ³ cm ⁻³)	(cm ³ cm ⁻³)	KPa			cm d ⁻¹
0-20	0,040	0,300	0,0300	1,967	0,490	201,390
20-40	0,065	0,400	0,028	1,855	0,460	123,920

ção de água no solo diminui à medida que ocorre redução do conteúdo de água no solo. Esse método foi modificado por van Genuchten (1987), para que o estresse osmótico fosse incluído.

$$S(h, h_\varphi) = \alpha(h, h_\varphi) S_{m\acute{a}x} \quad (6)$$

onde $S_{m\acute{a}x}$ é a taxa máxima de extração de água (L³ L⁻³ T⁻¹), e $\alpha(h, h_\varphi)$ é a função de resposta da extração pela cultura ao potencial mátrico e osmótico.

Parâmetros de entrada e calibração do modelo

Utilizou-se como parâmetro de entrada do modelo, a granulometria do solo, para estimativa dos parâmetros hidráulicos e calibração (Tabela 2). Em relação à discretização espacial do perfil do solo, foram consideradas as camadas de 0-20 e 20-40 cm de solo.

Como condição de contorno superior, utilizaram-se os eventos diários de chuva, irrigação, evaporação e transpiração, e para inicialização do modelo, foi adotada a primeira leitura de umidade, medida com a sonda de nêutrons.

Para a condição de cobertura morta, utilizou-se a taxa de redução da evaporação do solo que a cobertura promove. Utilizou-se uma redução de 20%, conforme a densidade de cobertura morta adotada, como destacado por Freitas et al. (2004).

Para extração da água pela planta utilizou-se:

Tabela 3. Parâmetros de Feddes.

Parâmetros de Feddes		
h_φ	-15	cm
$S_{m\acute{a}x}$	-30	cm
h2	-325	cm
h3	-600	cm
h4	-8000	cm
T1	0,5	cm dia ⁻¹
T2	0,1	cm dia ⁻¹

onde h_φ é o potencial mátrico em que as raízes começam a extrair água do solo, $S_{m\acute{a}x}$ o potencial em que as raízes extraem água na taxa máxima possível, h2 potencial mátrico limite em que as raízes já não conseguem extrair água na taxa máxima possível assumindo uma taxa de transpiração potencial igual a T1, h3 potencial mátrico limite em que as raízes já não conseguem extrair água na taxa máxima possível entretanto assumindo uma taxa de transpiração potencial igual a T2, h4 potencial no qual cessa a absorção

de água pela raiz, T1 taxa de transpiração potencial (atualmente definida em 0,5 cm dia⁻¹), e T2 taxa de transpiração potencial (atualmente definida em 0,1 cm dia⁻¹).

Avaliação estatística

Para avaliação da eficiência da simulação da umidade do solo, utilizou-se o erro quadrático médio (RMSE), erro médio absoluto (MAE) e coeficiente de determinação (R²) da reta, variando de 0 a 1, onde o RMSE e MAE devem ter o valor próximo a zero, para indicar precisão do modelo, e o R² deve ser superior a 70%.

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$MAE = \left\{ \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i| \right] \right\} \quad (8)$$

em que X_i é o valor medido, Y_i é o valor estimado e n é o número de observações.

Resultados e Discussão

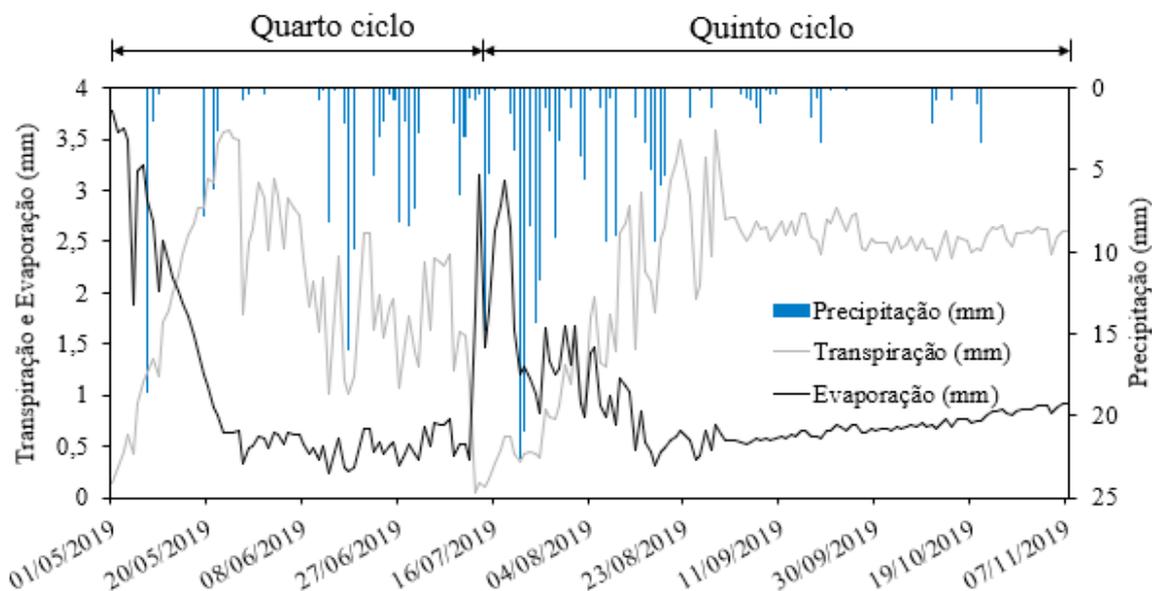
Dinâmica das variáveis climáticas

Na Figura 2 observa-se a evolução temporal da precipitação, evaporação e transpiração no período avaliado, de maio a novembro de 2019. Ocorreram chuvas mais concentradas entre junho e julho, tendo precipitação acumulada de 337,0 mm e máxima precipitação de 22,6 mm, no dia 21 de julho de 2019.

A evapotranspiração de referência acumulada foi de 581,7 mm, sendo 400,1 mm de transpiração e 181,6 mm de evaporação, durante os dois ciclos, para uma evapotranspiração real estimada pelo modelo de 567,2 mm, sendo 400,4 mm de transpiração e 166,8 mm de evaporação em solo sem cobertura. Para o solo com cobertura morta, o modelo simulou uma evapotranspiração real de 545,5 mm, particionada em 400,4 mm de transpiração e 145,0 mm de evaporação.

Durante o cultivo, a precipitação apresentou regular distribuição, nos dois ciclos do sorgo. No quarto ciclo, o total precipitado foi de 129,4 mm com máxima precipitação diária de 18,6 mm e ETc acumulada de 175,0 mm com máxima de 3,5 mm, a lâmina complementar aplicada foi de 45,6 mm. Durante o quinto ciclo, constatou-se precipitação acumulada de 207,6 mm com máxima de

Figura 2. Precipitação, evaporação e transpiração de referência no período estudado.



22,6 mm, a ETc acumulada foi de 271,0 mm com máxima de 3,5 mm e a lâmina complementar aplicada foi de 76,1 mm.

Modelagem Hydrus - 1D

A dinâmica de umidade do solo simulada com o modelo Hydrus, durante os dois ciclos do sorgo (Figura 3), mostrou-se consistente, respondendo aos picos de precipitação e acompanhando a dinâmica sazonal da umidade medida.

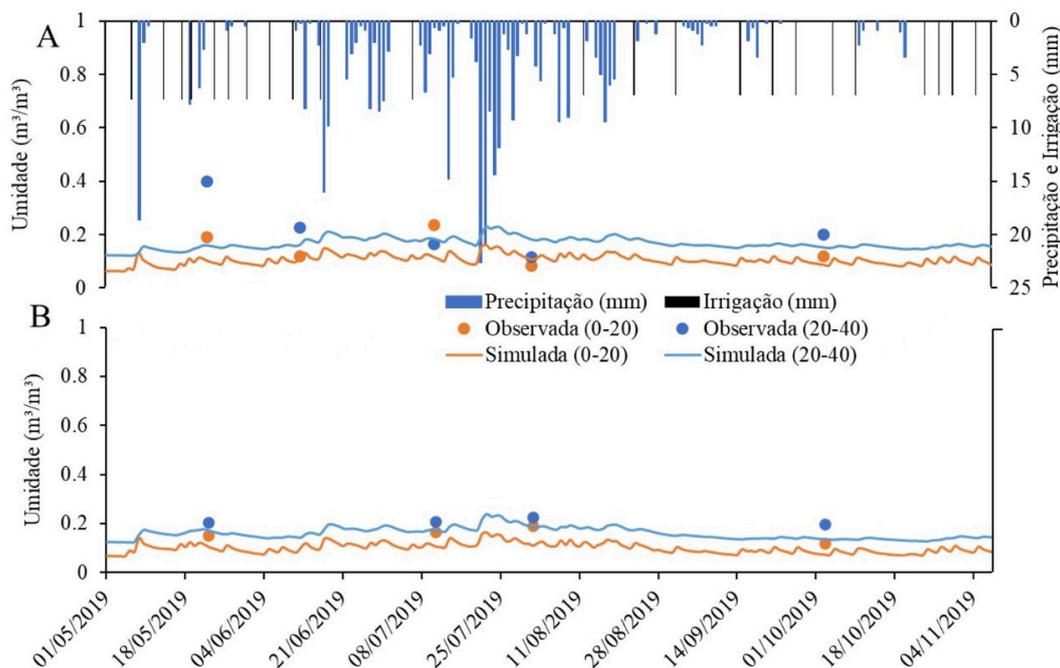
Para o solo sem cobertura morta (Figura 3A), o modelo apresentou adequada eficiência na simulação, apresentando baixo erro quadrático médio (RMSE), de 0,04 e 0,07 e erro médio absolutos (MAE), de 0,02 e 0,02 para camadas

de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente.

Para a área com cobertura (Figura 3B), o modelo também apresentou adequada eficiência, exibindo baixos valores de RMSE, de 0,03 e 0,02 e MAE de 0,02 e 0,01 para camadas de 20 e 40 cm, respectivamente. As correlações foram adequadas, tendo um R² de 0,80 e 0,61 para as camadas de 20 e 40 cm respectivamente.

Na umidade do solo simulada para a parcela com cobertura morta, pode-se constatar melhor resposta do modelo nos eventos de precipitação de maior intensidade. Já nos eventos de precipitação de menor intensidade, a precisão diminuiu. Este efeito está associado à intercepta-

Figura 3. Dinâmica sazonal de umidade medida e simulada pelo Hydrus, na parcela sem (A) e com cobertura morta (B).



ção da precipitação pela cobertura morta, nos eventos de menor intensidade, como constatado por Montenegro et al. (2013).

Os resultados obtidos através da simulação da umidade do solo no Hydrus-1D concordam com os encontrados em Silva et al. (2015), modelando a umidade do solo em parcelas experimentais sob condições de cobertura natural e solo sem cobertura, na profundidade de 20 cm do solo, na Bacia do Mimoso, município de Pesqueira- PE. Domínguez-Niño et al. (2020) também obtiveram bons ajustes avaliando o desempenho do Hydrus-3D em pomar de maçã irrigado por gotejamento, e Grecco et al. (2019) utilizando o Hydrus-2D em área irrigada via gotejamento, para simulações da dinâmica de umidade do solo no cultivo da cana-de-açúcar.

Em relação à simulação do potencial matricial (Figura 4), para condição de solo sem cobertura, a camada 0-20 cm apresentou 25 dias com potencial menor que -100 cm, 146 dias com potencial entre -100 cm e -200 cm, 15 dias com potencial entre -200 cm e -300 cm e 7 dias com potencial menor que -300 cm. Já a camada 20-40 cm apresentou 20 dias com potencial menor que -100 cm, 157 dias com potencial entre -100 cm e -200 cm, 12 dias com potencial entre -200 cm e -300 cm e nenhum dia com potencial inferior a -300 cm.

Já na condição de parcela com cobertura, a camada 0-20 cm apresentou 22 dias com potencial menor que -100 cm, 113 dias com potencial entre -100 cm e -200 cm, 43 dias com potencial entre -200 cm e -300 cm e 12 dias com potencial menor que -300 cm. A camada 20-40 cm, apresentou 14 dias com potencial menor que -100 cm, 146 dias com potencial entre -100 cm e -200 cm, 30 dias com potencial

entre -200 cm e -300 cm e nenhum dia com potencial inferior a -300 cm.

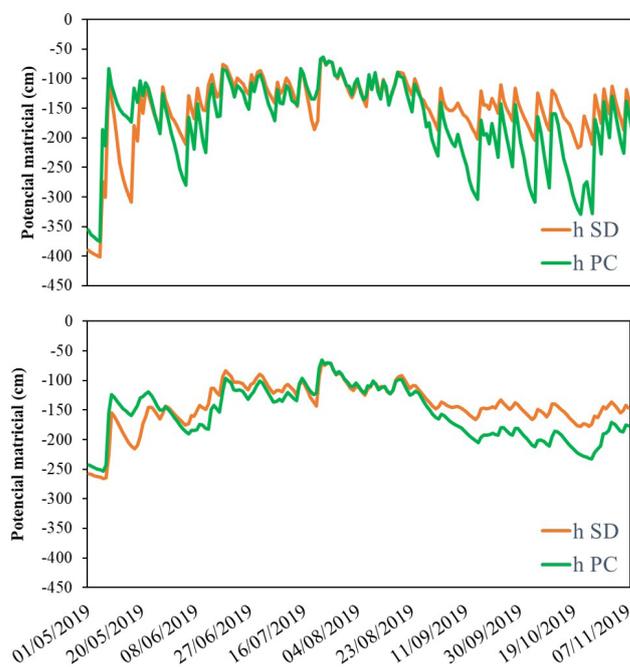
A variação do potencial matricial foi maior na camada de 0 a 20 cm do solo, corroborando com os resultados encontrados por Shekhar et al. (2019), que constataram maior variação do potencial matricial na camada superior do solo, em modelagem com Hydrus-1D em cultivo de arroz, devido a maior influência da atmosfera e da cultura na camada superior. Min et al. (2015) também verificaram maior variação do potencial matricial na camada mais próxima à superfície, sob irrigação.

De acordo com Shekhar et al. (2019), o acúmulo de água no solo promove aumento do potencial matricial. Nesse sentido, no mês de julho, em função do maior número de eventos de precipitação, o potencial matricial foi maior.

Para o sorgo forrageiro, o valor do potencial matricial para a cultura expressar seu máximo potencial de produção fica em torno de -300 cm, sendo recomendada que a irrigação seja acionada quando tal potencial atingir -250 cm (Millar, 1984). Assim, pode-se observar que a umidade do solo se manteve sempre em níveis aceitáveis para o sorgo, nas duas áreas de cultivo, principalmente em relação à camada 20-40 cm.

Considerando a adequada concordância observada na simulação da umidade do solo, em resposta à precipitação, lâminas de irrigação, características físicas do solo, planta e atmosfera, bem como, na determinação do estresse hídrico da cultura, verifica-se que o modelo Hydrus constitui-se em uma importante ferramenta para manejo da irrigação, em áreas do semiárido.

Figura 4. Potencial matricial do solo (h) simulado pelo Hydrus, em parcelas com cobertura (PC) e solo descoberto (SD), (A) camada de 0-20 cm e (B) camada de 20-40 cm.



Conclusões

O Hydrus-1D simulou de forma adequada a dinâmica de umidade do solo, fornecendo informações sobre o estresse hídrico ao longo do cultivo, constituindo-se assim em uma importante ferramenta para monitoramento de cultivos irrigados e manejo de irrigação, no semiárido.

A simulação da umidade do solo apresentou elevada precisão durante o período chuvoso, em decorrência da uniformidade na distribuição de água no perfil do solo, melhorando a estimativa do balanço hídrico, e as principais incertezas foram observadas no período com chuvas irregulares e de baixa intensidade, principalmente na área com cobertura morta, em que ocorre a interceptação da chuva pela palhada.

O coeficiente de redução da evaporação adotado para representar o efeito da cobertura morta mostrou-se adequado, para a palhada adotada.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Laboratório de Água e Solo (LAS), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – 151969/2020-5, 308.890/2018-3, e 403.622/2020-4 (MAI DAI), e a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) – APQ 0300-5.03/17, APQ 0414-5.03/20, IBPG-1758-5.03/15, BIC-0818-5.03/21, BPV-0033-5.03/21, e BPV-0012-5.03/21 pelo apoio ao estudo desenvolvido.

Contribuição dos autores

G. C. AIRES, A. A. A. MONTENEGRO e A. A. CARVALHO: concepção do trabalho, redação, revisão de texto; A. A. CARVALHO e A. A. A. MONTENEGRO: coleta de dados. G. C. AIRES, A. A. A. MONTENEGRO, A. A. CARVALHO, G. C. ALMEIDA e A. L. N. MONTEIRO: processamento e análise dos dados.

Referências Bibliográficas

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI:10.1127/0941-2948/2013/0507.
- CARVALHO, A. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; LIMA, J. L. M. P.; SILVA, T. G. F.; PEDROSA, E. M. R.; ALMEIDA, T. A. B. Coupling water resources and agricultural practices for Sorghum in a semiarid environment. *Water*, v. 13, n. 16, p. 1-25, 2021a. DOI:10.3390/w13162288.
- CARVALHO, A. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, J. S.; COSTA, R. S.; ALMEIDA, G. C. Análise do crescimento fisiológico do sorgo irrigado com água residual tratada associado com cobertura morta. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 14, n. 5, p. 4258-4270, 2021b. DOI:10.7127/rbai.v14n501212.
- CARVALHO, A. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; TABOSA, J. N.; ALMEIDA, T. A. B.; SILVA, A. G. O.; SILVEIRA, A. V. M. Reúso hidroagrícola: uma solução para convivência com a escassez hídrica no Sertão e Agreste pernambucano. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 5, n. 2, p. 140-150, 2020. DOI:10.24221/jeap.5.2.2020.2841.140-150.
- COSTA, J. P. N.; MEDEIROS, J. F.; NUNES, R. M. A.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; LIRA, J. F. B. Crescimento e produção da primeira rebrota de cultivares de sorgo sob diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 16, p. 449-459, 2017.
- DOMÍNGUEZ-NIÑO, J. M.; ARBAT, G.; RAIJ-HOFFMAN, I.; KISEKKA, I.; GIRONA, J.; CASADESÚS, J. Parameterization of soil hydraulic parameters for HYDRUS-3D simulation of soil water dynamics in a drip-irrigated orchard. *Water*, v. 12, n. 7, p. 1-25, 2020. DOI:10.3390/w12071858.
- EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisas de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2 ed. Rio de Janeiro, 2011. 230 p.
- ER-RAKI, S.; EZZAHAR, J.; MERLIN, O.; AMAZIRH, A.; AIT HSSAINE, A.; KHARROU, M. H.; KHABBA, S.; CHEHBOUNI, A. Performance of the HYDRUS-1D model for water balance components assessment of irrigated winter wheat under different water managements in semi-arid region of Morocco. *Agricultural Water Management*, v. 244, 2021. DOI:10.1016/j.agwat.2020.106546.
- FEDDES, R. A.; KOVALIK, P. J.; ZARADNY, H. Simulation of field water use and crop yield. New York: John Wiley & Sons. 188 p. 1978.
- FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, L. C. Efeito da cobertura de resíduo da cultura do milho na evaporação da água do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 8, n. 1, p. 85-91, 2004.
- GRECCO, K. L.; MIRANDA, J. H.; SILVEIRA, L. K.; GUENUCHTEN, M. T. V. HYDRUS-2D simulations of water and potassium movement in drip irrigated tropical soil container cultivated with sugarcane. *Agricultural Water Management*, v. 221 p. 334-347, 2019. DOI:10.1016/j.agwat.2019.05.010.
- MACÊDO, K. G. Simulação da extração de água do solo pela cultura do milho (*zea mays* L.) utilizando modelo Hydrus-1d. Dissertação. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 67 p. 2018.
- MILLAR, A. A. *Manejo racional da irrigação: uso de informações básicas sobre diferentes culturas*. Brasília: IICA, 1984. 57 p.
- MIN, L.; SHEN, Y.; PEI, H. Estimating groundwater recharge using deep vadose zone data under typical irrigated cropland in the piedmont region of the North China Plain. *Journal of Hydrology*, v. 527, p. 305-315, 2015.
- MIRANDA, R. J. A. *Lâminas de Irrigação com Água Residuária e Adubação Orgânica na Cultura do Algodão BRS Safira*. 2010. 82p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. *Catena*, v. 109, p. 139-149, 2013. DOI:10.1016/j.catena.2013.03.018
- MUALEM, Y. A. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*, v. 12, n. 3, p. 2187-2193, 1976. DOI:10.1029/WR012i003p00513.
- SANTOS, C. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, M. A. L.; PEDROSA, E. M. R. Evapotranspiration and crop coefficients of Moringa oleifera under semi-arid conditions in Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 21, n. 12, p. 840-845, 2017. DOI:10.1590/1807-1929/agriambi.v21n12p840-845.
- SHEKHAR, S.; MAILAPALLI, D. R.; RAGHUWANSHI, N. S.; DAS, B. S. Hydrus1D model for simulating water flow through paddy soils under alternate wetting and drying irrigation practice. *Springer*, 2019. DOI:10.1007/s10333-019-00765-8.
- SILVA, J. R. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTEIRO, A. L. N.; SILVA JUNIOR, V. P. Modelagem da dinâmica de umidade do solo em diferentes condições de cobertura no semiárido pernambucano. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 10, n. 2, p. 293-303, 2015. DOI:10.5039/agraria.v10i2a4219.

SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G.; MATOS, J. D. A. Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil. **Agricultural WATER MANAGEMENT**, v.99, p.26-32, 2011. DOI:10.1016/j.agwat.2011.08.002.

TABOSA, J. N. **Sorgo: Cadernos do Semiárido, riquezas & oportunidades**. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco – v.15, n.2, (2020). Recife: CREA-PE: Editora UFRPE, 2020.

VAN GENUCHTEN, M. T. A. closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 44, n. 5, p. 892 - 898, 1980. DOI:10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x.

REFERENCIAÇÃO

AIRES, G. C.; MONTENEGRO, A. A. A.; CARVALHO, A. A.; MONTEIRO, A; L. N.; ALMEIDA, G. C. Umidade do solo e estresse hídrico simulado com Hydrus-1D em área com sorgo forrageiro irrigado. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.30, e026992, 2022.

Declaração: artigo selecionado pela comissão editorial do III Simpósio sobre Mudanças Climáticas e Desertificação no Semiárido Brasileiro, realizado de 25 a 27 de outubro de 2021, em Juazeiro, BA, sem revisão editorial adicional de AGROMETEOROS.



Soil moisture and water stress simulated with Hydrus-1D in an area irrigated with forage sorghum

Giovanna da Cunha Aires ^{1 (*)}, Abelardo Antônio de Assunção Montenegro¹, Ailton Alves de Carvalho², Adriano Luiz Normandia Monteiro³ and Giselle da Cruz de Almeida¹

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco – Departamento de Engenharia Agrícola. Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, CEP52171-900 Recife, PE, Brazil. E-mails: giovanna-aires@hotmail.com, montenegro.ufrpe@gmail.com and giselly_@hotmail.com

²Instituto Nacional do Semiárido (INSA). Av. Francisco Lopes de Almeida, s/n - Serrotão, CEP 58434-700 Campina Grande, PB, Brazil. E-mail: ailton.carvalho@insa.gov.br

³Faculdade Santa Helena. Av. Caxangá, 990, Madalena, CEP 50610-120 Recife, PE, Brazil. E-mail: ad_normandia@hotmail.com

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 8 October 2021

Accepted 30 June 2022

Index terms:

Agricultural reuse
Hydrus
Sudanese Sorghum
soil moisture
hydrological simulation

ABSTRACT

The evaluation and monitoring of soil moisture are essential for the success of irrigated agriculture. In the hydrological aspect, the numerical models allow detailed evaluations of the dynamics of soil moisture and of the potential of the water in the soil, allowing the rational use of the water resources. In this context, the objective of this work was to evaluate the dynamics of soil moisture and water stress simulated by the Hydrus-1D model, in irrigated forage sorghum cultivation, in the presence and absence of mulch cover. The experiment was carried out at the sewage treatment station in the District of Mutuca, Pesqueira - PE. The cultivation of Sudanese sorghum was carried out between May and November 2019, with two cycles, with soil moisture monitored with a neutron probe during this period. Agroclimatic and soil information were collected and added to Hydrus for calibration and simulation of moisture dynamics and water stress during cultivation. The model proved to be efficient through the mean squared error (RMSE) and mean absolute error (MAE). Based on numerical simulations, it was found that sorghum cultivation was subjected to low water stress, with a daily average of soil matrix potential of -161.8 to -148.4 cm, for the 20 and 40 cm layers, respectively. The Hydrus model properly simulated soil moisture dynamics, mainly during the rainy season and providing water stress throughout the crop cycle, representing an important tool for monitoring irrigated crops.

© 2022 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

AIRES, G. C.; MONTENEGRO, A. A. A.; CARVALHO, A. A.; MONTEIRO, A; L. N.; ALMEIDA, G. C. Umidade do solo e estresse hídrico simulado com Hydrus-1D em área com sorgo forrageiro irrigado. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.30, e026992, 2022.