



# AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DA UMIDADE DO SOLO EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL COM PALMA DE ÓLEO NA AMAZÔNIA ORIENTAL UTILIZANDO O MODELO HYDRUS-1D

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 13ª edição, de 26/08/2024 a 30/08/2024  
ISBN dos Anais: 978-65-5465-112-7

**SOUZA; Giselle Nerino Brito de <sup>1</sup>, RIBEIRO; Kaleb Lima <sup>2</sup>, SILVA; Julie Andrews de França e <sup>3</sup>, OLIVEIRA; Leonardo Ramos de <sup>4</sup>, SILVA; Paulo Ricardo Teixeira da <sup>5</sup>, CASTELLANI; Débora Cristina <sup>6</sup>, VASCONCELOS; Steel Silva <sup>7</sup>, TEIXEIRA; Wenceslau Gerales <sup>8</sup>, ARAÚJO; Alessandro Carioca de <sup>9</sup>**

## RESUMO

### 1. Introdução

Na Amazônia, o cultivo em sistemas agroflorestais (SAFs) está em ascensão e é considerado uma opção sustentável de uso da terra. A integração da palma de óleo (*Elaeis guineensis*) é uma alternativa promissora para esses sistemas, ajudando na recuperação de áreas desmatadas, gerando emprego e renda, e diversificando a produção para promover o desenvolvimento regional (BECKER et al., 2010). Embora já se tenham estudos com a palma de óleo em SAF (CARVALHO et al., 2014; SILVA et al., 2016; RAMOS et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2022), a abordagem sobre a dinâmica da água no solo nesses sistemas ainda é escassa.

As operações de cultivo impactam as propriedades físicas dos solos agrícolas, alterando sua estrutura, disposição das partículas e tamanho dos poros. Essas mudanças afetam propriedades físico-hídricas, como densidade, infiltração, condutividade hidráulica e retenção de água, influenciando diretamente a disponibilidade de água para as plantas (RAMALHO FILHO et al., 2010). A água é um elemento essencial para o desenvolvimento de plantas em sistemas agroflorestais (SAFs). Portanto, compreender a dinâmica da água no solo é crucial para o manejo adequado desses sistemas. Diante de cenários futuros relacionados às mudanças climáticas, a valorização dos SAFs pode ser uma estratégia eficaz tanto para amenizar a temperatura quanto para garantir alternativas alimentares durante períodos de seca ou enchentes (SCHEMBERGUE et al., 2017).

A utilização de ferramentas computacionais, como o HYDRUS-1D, representa um recurso viável e vantajoso na simulação das respostas dos (agro)ecossistemas diante de mudanças na dinâmica da água no solo em decorrência de características climáticas, práticas de manejo agrícola, diversidade e disposição de espécies (SCHAAP et al., 2001; SIMUNEK et al., 2008). Essa abordagem proporciona benefícios, tais como a redução de custos, tempo e minimização da mão de obra, em comparação com as avaliações realizadas diretamente no campo. Portanto, investir no desenvolvimento ou aprimoramento de modelos existentes emerge como uma estratégia fundamental para aprofundar a compreensão da dinâmica hídrica no solo, especialmente em sistemas agroflorestais que envolvem o cultivo de dendê. O objetivo do trabalho foi avaliar a dinâmica da umidade do solo, utilizando o programa HYDRUS-1D, em um sistema agroflorestal com palma de óleo na Amazônia

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia, giselenerino@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, kaleblimar@gmail.com

<sup>3</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, julieandrewsfranca@gmail.com

<sup>4</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, lrdo87@gmail.com

<sup>5</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, paulo.ricardo.teixeira@gmail.com

<sup>6</sup> Natura Inovação e Tecnologias de Produtos Ltda, deboracastellani@natura.net

<sup>7</sup> Embrapa Amazônia Oriental, steel.vasconcelos@embrapa.br

<sup>8</sup> Embrapa Solos, wenceslau.teixeira@embrapa.br

<sup>9</sup> Embrapa Amazônia Oriental, alessandro.araujo@gmail.com

## 2. Material e Métodos

O estudo foi realizado em uma propriedade agrícola (rural), localizada no município de Tomé Açu, Pará (02° 25' 00" S e 048° 09' 00" W). O clima é mesotérmico e úmido (de acordo com Köppen; faltam as letras da classificação climática de Köppen), com temperatura média anual de 25 °C, e precipitação média anual de 2250 mm. O relevo pouco acidentado inclui baixos platôs aplainados, terraços e várzeas, com amplitude altimétrica entre 14 m e 96 m. Os solos são representados principalmente por Latossolo Amarelo Distrófico.

Uma torre de observações micrometeorológicas, com 20 metros de altura, construída com uma estrutura de alumínio e uma seção triangular de 50 cm de lado foi instalada em 2019. Está instrumentada com sensores que realizam medições contínuas, em alta e baixa frequências, das variáveis micrometeorológicas tanto abaixo quanto acima do dossel do SAF. Os dados medidos foram registrados por um microcontrolador eletrônico (CR1000, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, EUA) com valores instantâneos a cada 60 segundos e armazenados tanto na memória interna desse microcontrolador como também em cartões de memória de alta performance (CFM2G, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, EUA). Após as visitas de campo, os dados foram submetidos aos processos de controle de qualidade e garantia. Nesse estudo, foram utilizadas as seguintes variáveis: precipitação (mm), temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) e velocidade do vento (m s<sup>-1</sup>).

O programa HYDRUS-1D (ŠIMŮNEK; VAN GENUCHTEN, 2008; SIMUNEK) foi utilizado para simular a dinâmica e os fluxos diários de água ao longo do ano de 2021. Para realizar a simulação no HYDRUS-1D, além dos dados meteorológicos, e os parâmetros hidráulicos do solo, foi utilizado o parâmetro da equação van Genuchten - Mualem para descrever a relação entre o conteúdo volumétrico de água (theta) e o potencial (h) exibido na Tabela 1.

**Tabela 1.** Parâmetros de van Genuchten-Mualem para as propriedades hidráulicas dos perfis do solo de SAF em Tomé Açu -PA.  $\theta_s$ : umidade volumétrica na saturação;  $\theta_r$ : umidade volumétrica residual,  $\alpha$ : parâmetro empírico relacionado ao valor da pressão de entrada de ar,  $n$ : parâmetro empírico relacionado à largura de distribuição do tamanho dos poros;  $K_s$ : Condutividade hidráulica.

Camada (cm)	$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\theta_r$	$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	$n$	$K_s$ cm/dia
0-5	0,5379	0,0653	0,0244	1,385	173,61
5-10	0,5431	0,0727	0,0222	1,3818	144,26
10-20	0,5518	0,0814	0,0219	1,3723	117,54
20-30	0,5602	0,091	0,0213	1,3628	92,46

1

Foram utilizados valores das variáveis físicas do solo compreendendo as camadas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm do solo, obtidos com medidas diretas em campo (Oliveira et al., 2022). Para parametrização do HYDRUS-1D, simulou-se o fluxo de água numa profundidade de solo igual a 100 cm. O modelo hidráulico utilizado foi o de van Genuchten-Mualem (1980), no qual os parâmetros foram obtidos por Rosetta através dos dados de granulometria e densidade do solo do perfil de solo Latossolo Amarelo distrófico de textura franco arenosa. Foram determinadas as condições de contorno superior e inferior de simulação. Para a superior, adotou-se as condições atmosféricas com camada superficial, com altura máxima de empoçamento de 5 cm. Já pra a condição inferior, foi utilizada a opção de drenagem livre, por não serem conhecidas as características do lençol freático (variação com o tempo e profundidade).

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia, giselenerino@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, kaleblimar@gmail.com

<sup>3</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, julieandrewsfranca@gmail.com

<sup>4</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, Irdo87@gmail.com

<sup>5</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, paulo.ricardo.teixeira@gmail.com

<sup>6</sup> Natura Inovação e Tecnologias de Produtos Ltda, deboracastellani@natura.net

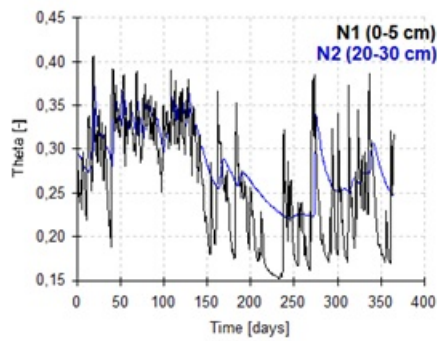
<sup>7</sup> Embrapa Amazônia Oriental, steel.vasconcelos@embrapa.br

<sup>8</sup> Embrapa Solos, wenceslau.teixeira@embrapa.br

<sup>9</sup> Embrapa Amazônia Oriental, alessandro.araujo@gmail.com

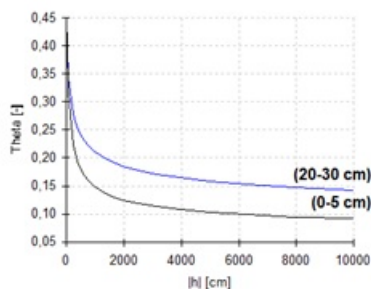
### 3. Resultados e Discussão

Após a simulação no HYDRUS-1D, foi possível observar o teor de água em profundidades distintas do solo. No editor gráfico do perfil do solo, foram definidos dois pontos de observação: N1 localizado mais próximo à superfície com aproximadamente 5 cm de profundidade, e N2 em cerca de 30 cm de profundidade, considerando um perfil homogêneo de 100 cm. À medida que a água se infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo vão se umedecendo, alterando gradativamente o perfil de umidade. A Figura 1 ilustra a variação da umidade volumétrica do solo no período observado. Verifica-se então que, quanto mais próximo da superfície, mais expressivas são as variações de umidade, enquanto em maiores profundidades há menor variação dos valores de umidade no solo.



**Figura 1.** Variação da umidade volumétrica em duas profundidades no solo, no ano de 2021.

A relação entre textura do solo e retenção de água também foi observada (Figura 2). A profundidade mais superficial do solo tem maior quantidade da fração areia, enquanto a profundidade de 20-30 cm tem mais a fração argila. O aumento do teor de argila em profundidade, retém mais água no solo, favorecendo a disponibilidade de água para as plantas (MARQUES et al., 2008).



**Figura 2.** Curva de retenção de água estimada, nas camadas de solo a 0-5 cm e 20-30 cm em um sistema agroflorestal em Tomé-Açu, Pará.

Utilizando as informações das características físicas do solo, nas diferentes camadas, foi possível estimar os parâmetros hídricos do solo, conforme a Tabela 1. Em todas as camadas do solo,  $\theta$  foi diferente e aumentou com a profundidade. Quando todos os poros do solo estão preenchidos por água, o solo está em condição de saturação, ou seja, em capacidade de campo de retenção de água (REIS et al., 2021). Dado que o SAF exhibe variações físico-hídricas, é aconselhável investigar a dinâmica da umidade do solo em regiões influenciadas por outras espécies que integram o SAF. Além disso, é recomendável ampliar as análises para períodos que ultrapassem um ano.

### 4. Conclusões

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia, gisellenerino@gmail.com  
<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, kaleblimar@gmail.com  
<sup>3</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, julieandrewsfranca@gmail.com  
<sup>4</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, Irdo87@gmail.com  
<sup>5</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, paulo.ricardo.teixeira@gmail.com  
<sup>6</sup> Natura Inovação e Tecnologias de Produtos Ltda, deboracastellani@natura.net  
<sup>7</sup> Embrapa Amazônia Oriental, steel.vasconcelos@embrapa.br  
<sup>8</sup> Embrapa Solos, wenceslau.teixeira@embrapa.br  
<sup>9</sup> Embrapa Amazônia Oriental, alessandro.araujo@gmail.com

Com os resultados obtidos através das simulações com o HYDRUS-1D, foi possível avaliar preliminarmente o comportamento da umidade do solo em um SAF com palma de óleo, ao longo de um perfil do solo, durante o período de um ano. Em geral, a camada mais superficial do solo apresenta maior variação de umidade e tende a ser menos úmida do que as camadas mais profundas. A umidade do solo nas camadas mais profundas do solo é maior, mostrando que as partículas de solo em profundidade retêm mais água. Esse comportamento é corroborado pelas características físicas do solo e pelas condições meteorológicas. Essa avaliação é preliminar, pois a dinâmica da umidade do solo em um SAF é influenciada por outras espécies que compõem o sistema, necessitando de outras informações e futuras simulações.

## 5. Referências Bibliográficas

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. **Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56**. FAO, Rome, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

Becker, B.K. Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo (Dendê). **Confins**, v.10: 1958-9212, 2010.

Carvalho, W.R.; Vasconcelos, S.S.; Kato, O.R et al. Short-term changes in the soil carbon stocks of young oil palm-based agroforestry systems in the eastern Amazon. **Agroforestry System**, v.88, n2, p.357-368, 2014.

Carvalho, L.G.de; Rios, G.F.A.; Miranda, W. L.; Neto, P.C. Evapotranspiração de referência: Uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.3, p.456-465, 2011.

Marques, J.D.de O.; Teixeira, W.G.; Reis, A.M.; Cruz Junior, O.F.; Martins, G.C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. **Acta Amazonica**, v.38, n.2, p.193-206, 2008.

Oliveira, R.L.L.; Teixeira, W.G.; Vasconcelos, S.S.; Gonçalves, A.O; Castellani, D.C.; Kato, O.R. Predição da resistência à penetração do solo em um sistema agroflorestal com dendê na Amazônia por meio do Hydrus-1D. In: **Workshop de Simulação de Fluxos de Água e Solutos no Solo**. Embrapa Solos e Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2022.

Ramalho Filho, A., Motta, P.E.F., Naime, U.J., Gonçalves, A.O., Teixeira, W.G. 2010. Zoneamento agroecológico, produção e manejo da cultura de palma de óleo na Amazônia. **Rio de Janeiro: Embrapa Solos**, 216 p.

Ramos, H.M.N.; Vasconcelos, S.S.; Kato, O.R.; Castellani, D.C. Above- and belowground carbon stocks of two organic, agroforestry-based oil palm production systems in eastern Amazonia. **Agroforestry System**, v.92, p.221-237, 2017.

Reis, A.M. H; Pimentel, L. G.; Gonçalves, A.O.; Martins, G. C.; Fregonezi, F. R.; Teixeira, W. G. Balanço hídrico em canavial na Amazônia Central: Presidente Figueiredo - AM. In: **Workshop de Simulação de Fluxos de Água e Solutos no Solo**. Embrapa Solos e Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2022.

Schaap, M.G.; Leij, F.J.; van Genuchten, M.T. Rosetta: A computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. **Journal of Hydrology**, v.251, n.3 - 4, p.163 - 176, 2001.

Schembergue, A.; Cunha, D. A.; Carlos, S. M.; Pires, M. V.; Faria, R. M. Sistemas Agroflorestais como Estratégia de Adaptação aos Desafios das Mudanças Climáticas no Brasil, **Revista de Economia e Sociologia Rural (RESR)**, Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, vol. 55(1), 2017.

Silva, C.M.D.; Vasconcelos S.S.; Mourão Júnior, M.; et al. Variação temporal do efluxo de CO<sub>2</sub> do

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia, gisellenerino@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, kaleblimar@gmail.com

<sup>3</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, julieandrewsfranca@gmail.com

<sup>4</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, lrd087@gmail.com

<sup>5</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, paulo.ricardo.teixeira@gmail.com

<sup>6</sup> Natura Inovação e Tecnologias de Produtos Ltda, deboracastellani@natura.net

<sup>7</sup> Embrapa Amazônia Oriental, steel.vasconcelos@embrapa.br

<sup>8</sup> Embrapa Solos, wenceslau.teixeira@embrapa.br

<sup>9</sup> Embrapa Amazônia Oriental, alessandro.araujo@gmail.com

solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, v.46, p.1-12, 2016.

Simunek, J.; van Genuchten, M.T. Modeling nonequilibrium flow and transport processes using HYDRUS. **Vadose Zone Journal**, v.7, n.2, p.782- 797, 2008.

van Genuchten, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fluxo de água, Modelagem de água no solo, *Elaeis guineensis*

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia, gisellenerino@gmail.com  
<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, kaleblimar@gmail.com  
<sup>3</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, julieandrewsfranca@gmail.com  
<sup>4</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, Irdo87@gmail.com  
<sup>5</sup> Instituto de Pesquisas na Amazônia, paulo.ricardo.teixeira@gmail.com  
<sup>6</sup> Natura Inovação e Tecnologias de Produtos Ltda, deboracastellani@natura.net  
<sup>7</sup> Embrapa Amazônia Oriental, steel.vasconcelos@embrapa.br  
<sup>8</sup> Embrapa Solos, wenceslau.teixeira@embrapa.br  
<sup>9</sup> Embrapa Amazônia Oriental, alessandro.araujo@gmail.com