

HIDRODINÂMICA EM SOLOS TÍPICOS DOS TABULEIROS COSTEIROS NO RECÔNCAVO DA BAHIA

MARIA MAGALI MOTA DOS SANTOS¹; FRANCISCO ADRIANO DE CARVALHO PEREIRA²; LUCIANO DA SILVA SOUZA³; EMANUELA BARBOSA SANTOS⁴; FELIPE GOMES FREDERICO DA SILVEIRA⁵

¹Bolsista (FAPESB) do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Rua Rui Barbosa, 710, Centro, 44.380-000, Cruz das Almas, Bahia, Brasil. magali_motta10@yahoo.com.br

²Professor Titular do Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológica, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Rua Rui Barbosa, 710, Centro, 44.380-000, Cruz das Almas, Bahia, Brasil. fadriano@ufrb.edu.br

³Professor adjunto do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. lsouza@ufrb.edu.br

⁴Pós-graduanda do Programa Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará, Avenida da Universidade, 2853, Benfica, CEP 60020-181, Fortaleza, Ceará. emmanuel_bs@hotmail.com

⁵Professor Substituto do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Rua Rui Barbosa, 710, Centro, 44.380-000, Cruz das Almas, Bahia, Brasil. felipegomes87@hotmail.com

1 RESUMO

O gerenciamento eficiente dos recursos hídricos, assim como o manejo adequado da irrigação e drenagem em uma área produtiva, requer conhecimento das características hidrodinâmicas do solo e das propriedades que quantificam a condução de água ao longo do perfil. Com a finalidade de avaliar a condutividade hidráulica em função da umidade em um Argissolo Amarelo em zona de tabuleiros costeiros, foi instalado uma chapa galvanizada de 3 m de diâmetro e 0,80 m de profundidade, onde foram inseridas dez sondas de TDR a cada 0,1 m de profundidade e 0,50 m de distância, avaliando-se a umidade do solo e drenagem interna do perfil por 131 dias. Demonstrou-se a aplicação do método, obtendo-se a condutividade hidráulica não-saturada para nove profundidades. A faixa de umidade obtida variou de 0,3932 a 0,0837 cm³ cm⁻³. O método do perfil instantâneo demonstrou adequada aplicação para os solos estudados, demonstrando a influência da camada coesa de origem pedogenética sobre o movimento de água no perfil do solo.

Palavras-chave: camada coesa, drenagem, umidade do solo

SANTOS, M. M. M.; PEREIRA, F. A. C.; SOUZA, L. S.; SANTOS, E. B.; SILVEIRA, F. G. F.

HYDRODYNAMICS IN TYPICAL COASTAL TRAIL SOIL IN RECÔNCAVO BAHIANO

2 ABSTRACT

The efficient management of water resources, as well as the adequate management of irrigation and drainage in a productive area, requires knowledge of the hydrodynamic characteristics of the soil and soil properties that quantify the conduction of water along the profile. In order to evaluate the hydraulic conductivity as a function of humidity in Ultisol in the Coastal Table

land zone, a galvanized plate was installed with 3 m in diameter and 0.80 m depth, wherein ten TDR probes were installed at each 0.1 m of depth, evaluating the soil moisture and internal profile drainage for 131 days. The application of the method was demonstrated, obtaining unsaturated hydraulic conductivity for nine depths. Moisture content ranged from 0.3932 to 0.0837 cm³ cm⁻³. The instantaneous profile method showed adequate application to the soils of the Coastal Table land, demonstrating that the movement of water in the soil profile is influenced by the cohesive layer of pedogenic origin.

Keywords: cohesive layer, drainage, soil moisture

3 INTRODUÇÃO

O fluxo que ocorre no solo é correspondente à movimentação e redistribuição de água quando cessa a infiltração, sendo importante no aumento e na manutenção da umidade de camadas mais profundas do perfil do solo, que servirão como reservatórios para as culturas. Esses processos podem ser afetados por diversos fatores e atributos do solo, tais como densidade, distribuição, orientação e continuidade do sistema poroso (GONÇALVES e LIBARDI, 2013).

Os solos dos tabuleiros costeiros são profundos, porém com horizonte com caráter coeso subsuperficial, encontrado normalmente entre 0,30 e 0,70 m de profundidade (REZENDE, 2000; RAMOS et al., 2013). Essa camada coesa modifica a dinâmica da água no perfil do solo (CINTRA & LIBARDI, 1998) e funciona como um impedimento à movimentação da água no solo (SOUZA e PAIVA, 2001). Melo Filho et al. (2009) avaliaram o horizonte de um solo com caráter coeso e notaram que ele apresenta limitações quanto a resistência à penetração de raízes e baixa permeabilidade, o que dificulta o aprofundamento do sistema radicular das plantas, a redistribuição e armazenamento de água no solo.

Fonsêca et al. (2007), avaliando o uso de propriedades físico-hídricas do solo na identificação de camadas adensadas nos tabuleiros costeiros, verificaram que a retenção de água no solo e a condutividade

hidráulica capilar são atributos adequados para a identificação das camadas coesas do solo.

A condição de campo mais comum é a de não saturação permanente do solo, por isso Richards (1931) combinou a equação de Darcy-Buckingham com a equação da continuidade, obtendo uma equação que descreve o movimento de água no solo.

O movimento da água no solo é resultante do gradiente de potencial total, o qual ocorre no sentido do potencial total decrescente e, cuja intensidade, é controlada pelo meio físico (REICHARDT e TIMM, 2004). A equação que melhor rege o movimento de água em solos não saturados é a equação de Darcy-Buckingham, que é representada por:

$$q = -K(\theta)\nabla\phi_t \quad (1)$$

Onde se estabelece que a densidade de fluxo (q) é função da condutividade hidráulica $K(\theta)$ e do gradiente de potencial total ($\nabla\phi_t$). Por envolver o conhecimento da permeabilidade intrínseca relacionada ao volume total e à distribuição do tamanho dos poros, além da tortuosidade e das características do fluido, a condutividade hidráulica pode ser definida como o “coeficiente que expressa a facilidade com que um fluido é transportado através do meio poroso e que depende tanto das propriedades do meio como das do fluido” (LIBARDI, 2018).

No método do perfil instantâneo, a medição da condutividade hidráulica é fundamentada em processos de drenagem interna, a partir da evolução temporal da umidade ($K(\theta)$). Avalia-se neste método os componentes da equação de Richards para perfis de potenciais e fluxos transientes, durante a drenagem vertical que ocorre após a saturação do solo por uma chuva ou irrigação (HURTADO et al., 2005; GHIRBERTO e MORAES, 2011; GONÇALVES e LIBARDI, 2013).

As determinações no campo, como o método do perfil instantâneo, têm a vantagem de estimar as propriedades hidráulicas *in situ*. No entanto, a desvantagem está no alto investimento de tempo e mão-de-obra, especialmente em solo com camadas mais adensadas, onde o processo de redistribuição e drenagem é muito lento. É por este fato que há poucos relatos sobre a determinação de $K(\theta)$ pelo método de perfil instantâneo com número maior de repetições. Embora possa ocorrer dificuldade na redistribuição de água de forma uniforme, devido às camadas de baixa permeabilidade em solos heterogêneos, favorecendo o fluxo lateral (GONÇALVES e LIBARDI, 2013), é possível utilizar esse método para perfis heterogêneos.

A equação de Richards, apresentada a seguir, mostra o movimento da água na direção vertical que, por meio de medidas simultâneas do conteúdo de água ao longo do perfil de solo durante o tempo de redistribuição da água, determina a condutividade hidráulica do solo em função da umidade, em condições transientes:

$$K(\theta)|_z = \frac{\int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dz}{\frac{\partial \phi}{\partial z}|_z} \quad (2)$$

Onde: θ (m^3m^3) é a umidade volumétrica; t (h) é o tempo; $K(\theta, \Psi m)(m.h^{-1})$ é a condutividade hidráulica em função da umidade ou

potencial matricial; z (m) é a coordenada vertical de posição.

Como alguns trabalhos apresentam a $K(\theta)$ como tendo uma relação exponencial com a umidade, a equação pode ser expressa da seguinte forma:

$$K(\theta) = K_0 e^{\gamma(\theta - \theta_0)} \quad (3)$$

Onde γ é uma constante adimensional e K_0 ($m.h^{-1}$) e θ_0 (m^3m^{-3}) são valores de condutividade hidráulica e umidade do solo no tempo zero de redistribuição, respectivamente.

Dessa forma, objetivou-se avaliar a condutividade hidráulica não saturada de um Argissolo Amarelo coeso, na região de tabuleiros costeiros, por meio do perfil instantâneo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no Campo Experimental de Micrometeorologia do Núcleo de Engenharia de Água e Solo, em Cruz das Almas (BA), entre as coordenadas geográficas de 12° 44'39"S, 39° 06'23"O, 225 m de altitude. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é tropical sem estação seca (Af) (CLIMATEDATA, 2019). A pluviosidade média anual da região é de 1244 mm, com temperatura média anual de 24,2 °C.

O solo da área foi descrito como Argissolo Amarelo distrocoeso típico (PA) (SANTOS et al., 2018), de classe textural areia-franca na profundidade de 0-0,13 m, franco-arenosa em 0,13-0,60 m, argilo-arenosa em 0,60-1,21 m e também argilo-arenosa em 1,21-140 m. Delimitou-se uma área de aproximadamente 5000 m² em meio a pastagem de *Urochloa decumbens*, já

estabelecida com pastejo bovino, sendo a área cercada para evitar entrada de animais.

Foram realizadas amostragens de solo para as análises físicas e granulométricas em laboratório. A estrutura para o perfil instantâneo foi montada com uma chapa galvanizada de 3 m de diâmetro que foi cravada no solo na profundidade de 0,80 m.

Dentro da área do perfil instantâneo, foram instaladas dez sondas de reflectometria no domínio do tempo (Time Domain Reflectometry –TDR) a fim de monitorar a umidade do solo nas camadas de 0,10 até 1,10 m de profundidade. Para tanto, foi necessária a calibração das sondas de TDR a cada 0,20 m de profundidade, sendo ajustada pela equação proposta por Topp et al. (1980). Após a saturação do perfil, o mesmo foi coberto com duas camadas de lona plástica, a fim de evitar evaporação ou entrada de água por precipitação. O experimento foi iniciado dia 17 de janeiro de 2017, sendo realizadas duas leituras semanais até o dia 05 de junho, quando foram suspensas devido às reduzidas variações. As leituras foram realizadas entre 7 h e 9 h, período em que os instrumentos foram submetidos a condições térmicas mais estáveis.

Os valores de potencial matricial foram obtidos por meio da curva de retenção de água no solo, construída em laboratório com extrator de Richards e ajustadas à equação de van Genuchten (1980), isolando o valor do potencial matricial, como apresentado a seguir:

$$\Psi_m = \frac{\left[\left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right]^{\frac{1}{n}}}{\alpha} \quad (4)$$

Onde: Ψ_m – potencial matricial; θ_s - umidade de saturação; θ - umidade residual; m e n – parâmetros empíricos da equação de van Genuchten (1980).

O ensaio do movimento de água no perfil do solo foi realizado com a coleta de dados no sistema de aquisição consistente em um gerador de impulsos (TDR100 Campbell Scientific). Com base na variação do potencial total de água no solo para cada tempo e profundidade monitorada, pôde-se calcular o gradiente de potencial para cada camada, possibilitando o entendimento da função $K(\theta)$, expressos exponencialmente.

O método de Hillel et al. (1972) exige que algumas etapas sejam seguidas no tratamento dos dados para determinar a condutividade hidráulica em função da umidade, dentre elas: traçar a variação volumétrica da umidade com o tempo para cada profundidade; calcular o fluxo de umidade do solo para cada incremento de profundidade, integrando a curva umidade-tempo em relação à profundidade; verificar a variação de sucção matricial com o tempo para cada profundidade; calcular a condutividade hidráulica em cada profundidade e para diferentes teores de umidade dividindo os fluxos pelos valores de gradiente hidráulico correspondentes. A última etapa é desenhar as curvas de melhor ajuste para as diferentes camadas ($\log K$ versus θ) e avaliar se todo o perfil pode ser caracterizado por uma única curva, verificando a dependência funcional de K sobre a θ .

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização do solo indicou que a macroporosidade, a microporosidade e densidade do solo variaram em profundidade (Tabela 1). Houve acréscimo da densidade do solo da camada 0,1 m até 0,6 m de 1,48 g cm⁻³ para 1,60 g cm⁻³, respectivamente, e decréscimo a partir desta, o que pode ser indicativo da existência da camada coesa nessa profundidade; característica também descrita por Fontana et al. (2016), que verificaram que os horizontes transicionais

ou subsuperficiais, abaixo de 0,30 m de profundidade, indicam ligeiro aumento da densidade do solo, mesmo em áreas em que

não há tráfego de máquinas, o que indica a presença de horizonte genético coeso em condições originais.

Tabela 1. Valores médios para macroporosidade (macro); microporosidade (micro); porosidade total (PT) e densidade do solo (Ds) para o Argissolo Amarelo distrocoeso típico, sob uso de *Urochloa decumbens*, Cruz das Almas (BA).

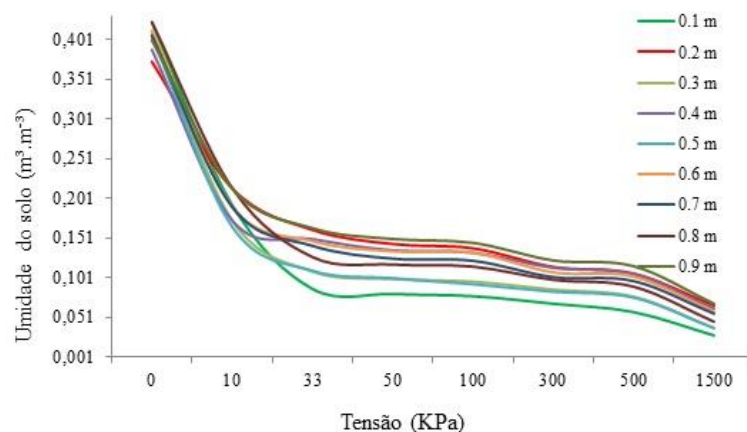
Profundidade (m)	Macro	Micro (%)	PT	Ds (g cm ⁻³)
0,1	14,97	19,24	34,21	1,48
0,2	8,86	21,36	30,22	1,49
0,3	15,79	17,31	33,10	1,50
0,4	14,11	17,29	31,40	1,53
0,5	16,33	16,50	32,83	1,54
0,6	11,33	22,05	33,38	1,62
0,7	13,84	19,02	32,85	1,53
0,8	12,84	21,39	34,23	1,43
0,9	11,06	21,36	32,42	1,60
1,0	11,83	20,57	32,40	1,51

Estes resultados corroboram os encontrados por Vasconcelos et al. (2014), que verificaram redução na macroporosidade e aumento na densidade do solo em profundidade, principalmente entre as camadas 0,40 e 0,60 m, onde indica-se a presença do horizonte coeso desses solos.

A análise das curvas de retenção no perfil do solo possibilitaram constatar maior retenção de água em profundidade. As

curvas apresentam características semelhantes quanto à capacidade de retenção de água nas diferentes tensões aplicadas (Figura 1). A primeira profundidade avaliada (0,1 m) apresentou menor retenção de água no solo, fato que pode ser atribuído às características granulométricas dessa profundidade, que foi de 88,2 % de areia; relação também encontrada por Cintra et al. (2004) e Fidalski et al. (2013).

Figura 1. Curva de retenção de água no solo para todas as profundidades no perfil para o Argissolo Amarelo, sob uso de *Urochloa decumbens*, Cruz das Almas (BA).

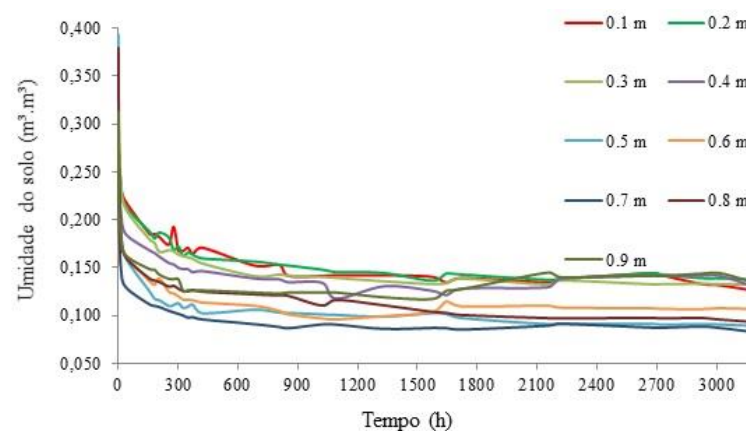


Os parâmetros de ajuste da equação de van Genuchten (1980), obtidos por meio da curva de retenção e ajustados no *software* Soil Water Retention Curve (SWRC) (DOURADO NETO et al., 1990), para cada profundidade monitorada no perfil instantâneo, apresentaram coeficientes de determinação R^2 superiores a 0,98, caracterizando bem a relação entre o conteúdo volumétrico de água do solo dentro do intervalo das tensões avaliadas;

esses parâmetros foram utilizados para determinar o potencial matricial.

Durante o processo de redistribuição de água no solo no perfil instantâneo, verificou-se uma redução no valor de umidade ao passar do tempo. Os valores de umidade versus tempo no experimento de drenagem interna ajustaram-se bem a uma equação potencial com coeficiente de determinação R^2 acima de 0,78, apresentados na Figura 2.

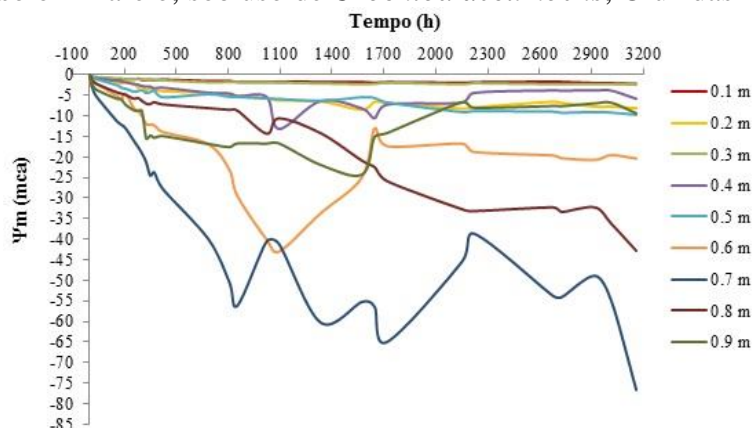
Figura 2. Umidade do solo ao longo do tempo para nove profundidades avaliadas em um perfil de Argissolo Amarelo, sob uso de *Urochloa decumbens*, Cruz das Almas (BA).



O potencial mátrico (Ψ_m), no tempo avaliado neste estudo, (Figura 3) variou bruscamente nas camadas subsuperficiais e, mais lentamente, nas camadas superficiais. As camadas superficiais mantiveram a umidade próxima à capacidade de campo ao longo de todo o período observado (131 dias). Esta observação pode ser justificada

pela presença de indicativo da camada coesa próxima à superfície; na descrição pedológica foi verificada coesão moderada nos horizontes BA e B1 (entre 0,26 e 0,60 m), o que causou a lenta movimentação da água acima dessa camada, prejudicando a redistribuição uniforme da água no perfil.

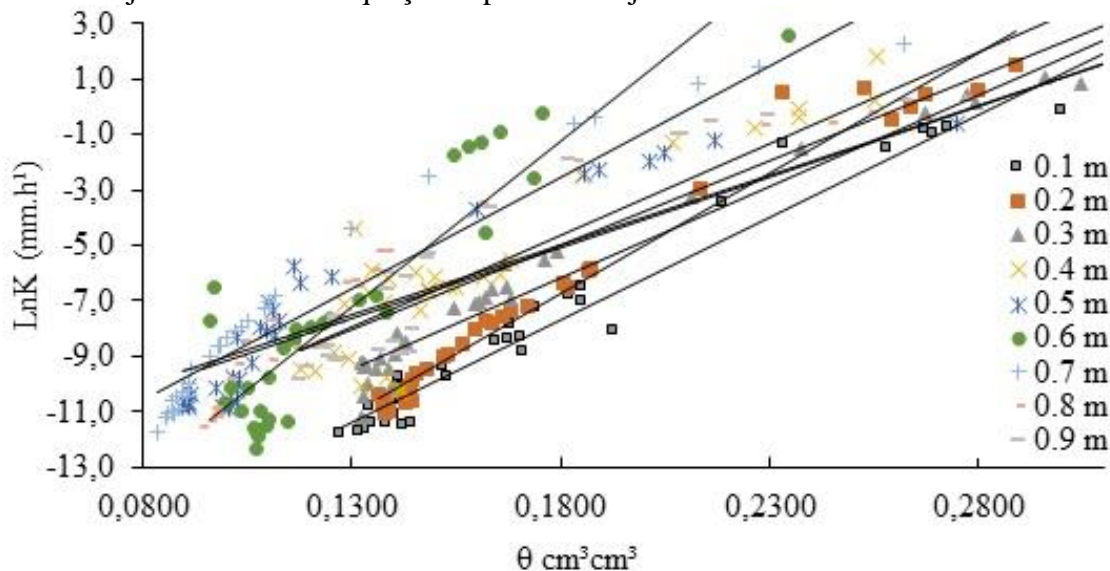
Figura 3. Relação do potencial matricial ao longo do tempo avaliadas em um perfil de Argissolo Amarelo, sob uso de *Urochloa decumbens*, Cruz das Almas (BA).



A condutividade hidráulica é tanto maior quanto maior for a umidade do solo, atingindo seu valor máximo na saturação. A Figura 4 apresenta a relação entre $\ln K(\theta)$ e a umidade do solo (θ) em todas as profundidades avaliadas, durante os 131 dias. Nesse gráfico, as linhas que se ajustaram aos pontos experimentais foram

obtidas por meio de regressão linear, cujos coeficientes de determinação foram superiores a 0,768. É possível verificar que as camadas 0,5 m, 0,6 m e 0,7 m apresentaram menor valor de $K(\theta)$, o que pode ser atribuído à sua característica de coesão moderada nos horizontes BA e B1, que se inicia a 0,26 m de profundidade.

Figura 4. Condutividade hidráulica em função da umidade estimada no perfil instantâneo em um Argissolo Amarelo, para as nove profundidades avaliadas por 131 dias, conjuntamente com equação exponencial ajustada.



Segundo Gonçalves & Libardi (2013), a presença da camada adensada na subsuperfície pode ser uma limitação à aplicação do método do perfil instantâneo, pois interfere no fluxo de água, ocasionando

fluxo lateral, ao invés de vertical. Tais horizontes coesos, com alta densidade e baixa condutividade hidráulica, impõem condições inadequadas aos fatores físicos

de crescimento e promovem danos no desenvolvimento radicular das culturas.

Tais parâmetros podem sofrer influência do gradiente de potencial total, como verificado por Gonçalves & Libardi (2013): a influência maior foi sobre o parâmetro K_0 , nos solos por eles avaliados. Embora haja estudos que consideram o gradiente de potencial total unitário (LIBARDI et al., 1980), é visto que o gradiente varia ao longo do tempo de redistribuição de água no perfil.

Um solo verticalmente não uniforme, que é o caso do solo em estudo, dada a sua origem pedogenética de camada coesa, exige que as funções hidráulicas não

saturadas sejam estimadas para cada horizonte (SHOUSE et al., 1991).

Ao expressar as equações de ajuste das regressões lineares, como citado na equação 2, obtiveram-se os parâmetros θ_0 , γ e K_0 para as nove profundidades avaliadas, resultando em valores de R^2 altos (Tabela 2.). Apenas para as profundidades 0,4 e 0,5 m, os coeficientes de ajuste foram menores que 0,768 e 0,793, respectivamente. Os valores dos parâmetros γ e K_0 , resultantes desses ajustes mostraram-se variáveis, o que pode estar atribuído à alta variabilidade da $K(\theta)$, como encontrada por van Lier & Libardi (1999).

Tabela 2. Parâmetros da função $K(\theta)$ em mmh^{-1} , obtidas pela regressão $\ln K$ versus θ em cada profundidade avaliada para o método do perfil instantâneo em Argissolo Amarelo, sob uso de *Urochloa decumbens*, Cruz das Almas (BA).

Profundidade (m)	θ_0 ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)	Perfil instantâneo		
		K_0	γ	R^2
0,1	0,3148	-20.993	73.987	0,960
0,2	0,2889	-22.335	86.706	0,970
0,3	0,3414	-18.020	65.90	0,968
0,4	0,3697	-16.015	61.17	0,768
0,5	0,3932	-14.095	50.501	0,793
0,6	0,2348	-22.839	119.98	0,808
0,7	0,2956	-17.049	80.676	0,936
0,8	0,3792	-14.286	51.119	0,855
0,9	0,3129	-16.503	66.054	0,822

K_0 - condutividade hidráulica; θ_0 - Conteúdo de água no solo no tempo zero de redistribuição, γ - coeficiente angular da equação linear de $\ln K$ em função de θ .

A relação exponencial explícita que pequenas variações no conteúdo de água no solo implicam em uma grande variação da

6 CONCLUSÕES

Foi possível descrever a relação exponencial da condutividade hidráulica em função da umidade do solo, revelando a dependência desse atributo. No solo avaliado, constatou-se baixa condutividade hidráulica nas profundidades 0,5, 0,6 e 0,7

condutividade hidráulica, demonstrando a relação de dependência desse atributo em função do conteúdo de água no solo.

m, comprovando a presença do horizonte coeso e de baixa permeabilidade dos solos de tabuleiros costeiros.

Deve-se considerar novos procedimentos experimentais do método do perfil instantâneo, aumentando o tamanho das repetições e profundidade de isolamento, para que não ocorra movimento lateral de água durante o processo de redistribuição da água no perfil.

7 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia –

FAPESB, pela concessão da bolsa de pesquisa.

8 REFERÊNCIAS

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do tabuleiro costeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba – SP, v.55, n.3, p.367-378, 1998.

CINTRA, F. L. D.; PORTELA, J. C.; NOGUEIRA, L. C. Caracterização física e hídrica em solos dos Tabuleiros Costeiros no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.8, n.1, p. 45-50, 2004.

CLIMATE-DATA.ORG: Clima Cruz das Almas. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/info/sources/>>. Acesso em: 25 de out. de 2019.

DOURADO NETO et al. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo utilizando o modelo de van Genuchten. **Engenharia Rural**, Piracicaba – SP, v.1, n. 2, p.92-102, 1990.

FIDALSKI, J.; TORMENA C. A., ALVES, S. J. Influência das frações de areia na retenção e disponibilidade de água em solos das formações Caiuá e Paranaíba. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa – MG, v.37, p. 613-621, 2013.

FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; BALEIRO, F. C. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1457-1465, 2016.

GHIRBERTO, P.J.; MORAES, S.O. Comparação de métodos de determinação da condutividade hidráulica em um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1177-1188, 2011.

GONÇALVES, A.D.M.A. e LIBARDI, P.L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa – MG, v.37, p.1174-1184, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000500007>.

HILLEL, D.; KRENTOS, V.; STYLINOY, Y. Procedures and test of internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. **Soil Science**, v. 114, p. 395-400, 1972.

HURTADO, A. L. B.; CICHOTA, R. & VAN LIER, Q J. Parametrização do método do perfil instantâneo para a determinação da condutividade hidráulica do solo em experimentos com evaporação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa – MG, v. 29, n. 2, p. 301-307, 2005.

LIBARDI et al. Simple field methods for estimating hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.3-7, 1980.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 3.ed. Editora EDUSP: São Paulo, SP. 2018. 352 p.

MELO FILHO et al. Índice de qualidade em um Latossolo Amarelo Coeso cultivado com citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal – SP, v.31, n.4, p.1168-1177, 2009.

RAMOS et al. Avaliação dos atributos físico-hídricos em um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de manejo-Lavras/Minas Gerais/Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 36, n. 3, p. 440-446, 2013.

REZENDE, J. O. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: Limitações agrícolas e manejo**. Salvador, SEAGRI-SPA, 2000. 117p. (SEAGRI/SPA, Série Estudos Agrícolas, 1). Disponível em: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=AGB.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=205193>. Acesso 25 de out. 2019.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP (Brasil). 2004. Editora Manole Ltda, 478 p.

RICHARDS, L.A. Capillary conduction of liquids through porous mediums. **Physics**, v.1, p.318-333, 1931.

SANTOS et al. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <
<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>>. Acesso em 24 de out. 2019.

SHOUSE et al. Estimating in situ unsaturated hydraulic properties of vertically heterogeneous soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 6, p. 1673-1679, 1991.

SOUZA, L. S.; PAIVA, A. Q. de. Variação do potencial total da água em uma topossequência de solos de tabuleiros, durante dois anos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.349-355, 2001.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, v.16, p.571-582, 1980.

van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n.5, p.892-897, 1980.

van LIER, Q. J & LIBARDI, P.L. Variabilidade dos parâmetros da equação que relaciona a condutividade hidráulica com a umidade do solo no método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa – MG. v.23, p. 1005-1014, 1999.

VASCONCELOS et al. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.18, n.4, p.381-386, 2014.