

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA –  
MESTRADO**

**CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NÃO SATURADA DE UM  
ARGISSOLO AMARELO DISTROCOESO: MÉTODO DO  
PERFIL INSTANTÂNEO**

**Evellyn Freire da Silva**

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA  
2019**

**CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NÃO SATURADA DE UM  
ARGISSOLO AMARELO DISTROCOESO: MÉTODO DO PERFIL  
INSTANTÂNEO**

**EVELLYN FREIRE DA SILVA**

Engenheira Agrônoma

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2016

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola (Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos).

**Orientador:** Prof. Dr. Luciano da Silva Souza  
**Coorientador:** Prof. Dr. Alessandro dos Santos Brito

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA  
2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

S586c	<p>Silva, Evellyn Freire da.</p> <p>Condutividade hidráulica não saturada de um Argissolo Amarelo Distrocoeso: Método do perfil instantâneo / Evellyn Freire da Silva._ Cruz das Almas, BA, 2019.</p> <p>66f.; il.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Luciano da Silva Souza.</p> <p>Coorientador: Prof. Dr. Alessandro dos Santos Brito.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas.</p> <p>1.Solos – Condutividade hidráulica. 2.Solos – Manejo. I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II. Título.</p> <p>CDD: 631.4</p>
-------	--

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas – UFRB.  
Responsável pela Elaboração – Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário – CRB5 / 1615). Os dados para catalogação foram enviados pela usuária via formulário eletrônico.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA –  
MESTRADO**

**CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NÃO SATURADA DE UM  
ARGISSOLO AMARELO DISTROCOESO: MÉTODO DO PERFIL  
INSTANTÂNEO**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de  
Evellyn Freire da Silva

Aprovada em: 31/07/2019

---

Prof. Dr. Luciano da Silva Souza  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Eugênio Ferreira Coelho  
Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária  
(Examinador Interno)

---

Dr. Laercio Duarte Souza  
Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária  
(Examinador Externo)

## DEDICATÓRIA

A:  
*Nilton Mendes (in memoriam),  
Lêda Freire,  
Katuscia Freire,  
Matheus Freire e  
Livia Silva.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me sustentar na coragem, na força e na fé até aqui.

Aos meus pais Lêda e Nilton (*in memoriam*), por transmitirem a mim amor incondicional e me fornecerem todas as ferramentas possíveis para conquistar meus sonhos e objetivos.

Aos meus irmãos Katiúscia e Matheus, pela amizade, cumplicidade e apoio nos momentos difíceis dessa vida.

Ao orientador Prof. Dr. Luciano da Silva Souza, pelas demonstrações constantes de consideração, confiança e atenção durante toda a trajetória do mestrado e execução do presente trabalho.

Ao coorientador Prof. Dr. Aleksandro dos Santos Brito, que, mesmo à distância, se fez sempre presente auxiliando no desenvolvimento e aperfeiçoamento do projeto.

Às amigas de Lucas Batista, Francisco Airdesson, Neilon, Luma, Andrezza, Laís, Diego, Lúcio e Petterson, que fizeram parte dessa etapa de minha vida.

Ao meu companheiro Fábio Tayrone, pelo incentivo, apoio e carinho transmitidos desde sempre.

Ao meu amigo Cristiano, por todas as idas ao local do experimento “fazer leituras” comigo, me ajudando sempre, e à minha amiga Francielle, que, mesmo distante, se faz presente em cada momento.

Aos Profs. Drs. Vital Pedro da Silva Paz, André Dias Azevedo Neto e José Fernandes de Melo Filho, pela amizade, conversas e incentivos.

Aos Profs. Drs. Francisco Adriano de Carvalho Pereira, Áureo da Silva Oliveira e Alisson Jadavi Pereira da Silva, pelos ensinamentos, sugestões e conselhos acerca da execução deste trabalho.

Aos funcionários Edilson (Boi), Taty, Seu Geovane e Sérgio, que sempre estiveram disponíveis para ajudar.

Enfim,

Meu eterno agradecimento a toda a equipe de docentes, discentes e funcionários do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) da UFRB.

## CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NÃO SATURADA DE ARGISSOLO AMARELO DISTROCOESO: MÉTODO DO PERFIL INSTANTÂNEO

**RESUMO:** A condutividade hidráulica é um atributo importante para projetos de irrigação, drenagem e conservação do solo e da água, por expressar a facilidade com que um solo conduz água em profundidade, sendo fortemente influenciada pela presença de camadas subsuperficiais adensadas, que reduzem a dinâmica da água no perfil de solo. Com isso, esse trabalho teve por objetivo avaliar a condutividade hidráulica saturada e não saturada nos horizontes do perfil de um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem (*Brachiaria decumbens*) por meio do método do perfil instantâneo, no Município de Cruz das Almas, BA, para identificar as camadas que limitam a condução de água nesse solo e determinar as funções  $K(\theta)$  para cada profundidade. O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em área sob pastagem, na qual foi instalada a parcela experimental para determinação da condutividade hidráulica. Foram instalados tensiômetros de mercúrio nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90 e 1,00 m, para monitoramento do potencial mátrico e do gradiente de potencial total da água nessas mesmas profundidades. A umidade correspondente a cada potencial mátrico foi estimada por meio de curvas de retenção ajustadas para tais profundidades. A condutividade hidráulica saturada foi menor nas profundidades de 0,30 e 0,80 m do Argissolo Amarelo Distrocoeso avaliado. A existência de camadas adensadas nas profundidades de 0,30 e 0,80 m, típicas de solos de Tabuleiros Costeiros, retardou a condução e movimentação de água no solo. A determinação da condutividade hidráulica não saturada pelo método do perfil instantâneo permitiu avaliar as diferenças e possíveis alterações que ocorrem na estrutura do perfil do solo. O método do perfil instantâneo a campo não permitiu avaliar corretamente a função  $K(\theta)$  para umidades do solo próximas da saturação, já que o processo de drenagem interna da água no solo ocorreu rapidamente. A declividade da curva de  $\ln K$  versus  $\theta$  foi menor na profundidade de 0,70 m, indicando menor diminuição de  $K$  com a redução de  $\theta$ , ou seja, em textura mais argilosa a declividade da curva é menor. Em escala crescente situaram-se as profundidades de 0,60, 0,80, 0,50, 0,20, 0,30, 0,90 e 0,40 m, esta última apresentando a maior diminuição de  $K$  com a redução de  $\theta$ .

**Palavras chaves:** Umidade do solo, Tabuleiro Costeiro, Gradiente de potencial total, Drenagem interna.

## NON-SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN ARGISSOLO AMARELO DISTROCOESO (DENSIC ACRISOL; ULTISOL): INSTANTANEOUS PROFILE METHOD

**ABSTRACT:** Hydraulic conductivity is an important attribute for irrigation, drainage, and soil and water conservation, as it expresses the ease with which a soil conducts water in depth, being strongly influenced by the presence of densified subsurface layers, reducing the water dynamic in the soil profile. The objective of this work was to determine the hydraulic conductivity in a saturated and unsaturated condition of an Argissolo Amarelo Distrocoeso (Densic Acrisol; Ultisol) located in the Coastal Table region in the county of Cruz das Almas, Bahia, Brazil. Was used the instantaneous profile method, in order to identify the soil layers that limit water conduction and to determine the functions  $K(\theta)$  for each depth. The experiment was conducted at the Federal University of the Recôncavo of Bahia, in an area under pasture. Experimental plot was installed with ten mercury tensiometers installed at 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; and 1.0 m depths for monitoring the soil matric potential and the total potential gradient of water at these same depths. The moisture corresponding to each matric potential was estimated by soil water retention curves adjusted for such depths. Saturated hydraulic conductivity was lower in the 0.30 and 0.80 m depths of the evaluated Argissolo Amarelo Distrocoeso (Densic Acrisol; Ultisol). The presence of thickened layers at the 0.30 and 0.80 m depths, typical of coastal table soils, slowed the conduction and movement of soil water. The determination of unsaturated hydraulic conductivity by the instantaneous profile method allowed to evaluate the differences and possible changes that occur in the soil profile structure. The instantaneous field profile method did not allow to correctly evaluate the  $K(\theta)$  function for soil moisture close to saturation, since the internal water drainage process occurred quickly. The slope of the  $\ln K$  versus  $\theta$  curve was lower at the 0.70 m depth, indicating a smaller  $K$  decrease with the  $\theta$  reduction. In increased scale were located the depths of 0.60, 0.80, 0.50, 0.20, 0.30, 0.90, and 0.40 m, the latter presenting the largest  $K$  decrease with the  $\theta$  reduction.

**Key words:** Soil moisture, Costal Table, Total potential gradient, Internal drainage.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição textural de um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA.....	21
Tabela 2. Atributos físicos de um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA.....	22
Tabela 3. Parâmetros de ajuste da equação de van Genuchten (1980), para um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA.....	23
Tabela 4. Relação entre horizontes e profundidades de instalação dos tensiômetros em um Argissolo Amarelo Distrocoeso localizado no Município de Cruz das Almas, Bahia.....	24
Tabela 5. Umidades volumétricas ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) estimadas pela curva de retenção da água em um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA, por profundidade, em função do tempo.....	27
Tabela 6. Condutividade hidráulica ( $K(\theta)$ ) determinada pelo método do perfil instantâneo em Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiros Costeiros de Cruz das Almas, BA, nas profundidades de 0,10 a 0,90 m.....	31
Tabela 7. Equações para estimativa da condutividade hidráulica ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) do solo não saturado por profundidade, em Argissolo Amarelo Distrocoeso localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA.....	40
Tabela 8. Estatística descritiva para a condutividade hidráulica ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) em função do tempo por profundidade, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso.....	41
Tabela 9. Média, desvio-padrão e coeficiente de variação dos parâmetros das equações que relacionam a condutividade hidráulica com a umidade do Argissolo Amarelo Distrocoeso localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA.....	41

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Perfil Instantâneo em Argissolo Amarelo Distrocoeso sob cultivo de pastagem, antes da saturação.....	17
Figura 2. Perfil Instantâneo em Argissolo Amarelo Distrocoeso sob cultivo de pastagem, durante a saturação.....	17
Figura 3. Perfil Instantâneo em Argissolo Amarelo Distrocoeso sob cultivo de pastagem, após o processo de saturação, já com uma cobertura de lona e de palha.....	18
Figura 4. Precipitação verificada entre os meses de outubro e novembro no Município de Cruz das Almas – BA.....	20
Figura 5. Curva de retenção de água em um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, para as profundidades 0,10 a 1,00 m.....	24
Figura 6. Evolução do potencial total (cm de coluna de água) com o tempo no perfil do Argissolo Amarelo Distrocoeso, para as profundidades de 0,10 a 1,00m.....	26
Figura 7. Conteúdo de água em função do tempo de redistribuição em Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA, para as profundidades de 0,10 a 1,00 m.....	29
Figura 8. Variação da umidade volumétrica do solo, obtida pela curva de retenção com base nos potenciais mátricos registrados nos tensiômetros de um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA, em função do tempo de redistribuição, por profundidade.....	30
Figura 9. Condutividade hidráulica ( $\ln K$ ) de um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizados em Tabuleiro Costeiros de Cruz das Almas, BA, em função do conteúdo de água pelo método do perfil instantâneo para as profundidades 0,2 a 0,9m, obtidas pela curva de retenção.....	39
Figura 10. Comportamento da $K_0$ ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) em profundidade para um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA, determinada pelo método do perfil instantâneo.....	43

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1 Tabuleiros Costeiros .....	4
2.2 Condutividade hidráulica .....	6
2.2.1 Condutividade hidráulica em solo saturado .....	6
2.2.2 Condutividade hidráulica em solo não saturado .....	7
2.3 Métodos de determinação da condutividade hidráulica do solo.....	9
2.3.1 Método do perfil instantâneo .....	10
2.4 Atributos que influenciam a condutividade hidráulica do solo .....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	12
3.1 Localização da área experimental e classe de solo.....	12
3.2 Caracterização físico-hídrica do solo.....	12
3.2.1 Distribuição do tamanho das partículas.....	12
3.2.2 Distribuição de tamanho de poros .....	13
3.2.3 Densidade do solo e das partículas.....	13
3.2.4 Curva de retenção da água .....	14
3.3 Condutividade hidráulica do solo não saturado .....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
4.1 Caracterização físico-hídrica do solo.....	21
4.1.1 Curva de retenção de água no solo.....	22
4.1.2 Potencial mátrico e potencial total da água no solo .....	25
4.1.3 Perfis de umidade em função do tempo .....	26
4.2 Condutividade hidráulica .....	30
5. CONCLUSÕES .....	44
6. REFERÊNCIAS.....	45
ANEXOS .....	52

## 1. INTRODUÇÃO

Todas as classes de solos que compõem e fazem parte da unidade de paisagem denominada Tabuleiro Costeiro, abrangendo praticamente o litoral brasileiro do norte do Rio de Janeiro ao Amapá, apresentam atributos químicos e físicos limitantes à produção agrícola (JACOMINE, 1996). Dentre os atributos físicos, os solos de Tabuleiros Costeiros apresentam horizontes coesos (adensados) em seu perfil, que alteram a dinâmica da água (solução do solo) no solo, o que agrava os problemas relacionados ao fornecimento de água para as plantas nas camadas de solo subsuperficiais ou mais profundas, como também nos cultivos irrigados a frequência de irrigação e as lâminas de água a serem aplicadas necessitam ser dimensionadas de forma adequada à profundidade da camada coesa (SOUZA et al., 2002; MARCELO, 2015).

Os horizontes coesos, localizados subsuperficialmente em solos de Tabuleiros Costeiros, possuem estrutura definida como maciça, com uma quantidade reduzida de macroporos, que são os principais condutores de água no perfil; sendo assim, para qualquer que seja o manejo aplicado em tais situações, deve-se ter o conhecimento sobre qual a profundidade de ocorrência do adensamento, principalmente quando há o interesse em solucionar problemas referentes à irrigação, infiltração, drenagem, redistribuição da água, aeração e poluição de águas subterrâneas, dentre outros.

Em um evento de irrigação ou de precipitação, a água que infiltra e drena nesse tipo de solo, atravessando os primeiros centímetros do horizonte superficial, tende a ir de encontro ao horizonte coeso que, por sua vez, limitará a condução da água a uma taxa muito menor à daqueles adjacentes a ele. Com isso, constata-se a importância de estudos relacionados à dinâmica da água em solos de Tabuleiros Costeiros, visto que são grandes áreas de produção agrícola e de grande interesse socioeconômico, principalmente para os estados do Nordeste.

Dentre a temática da dinâmica da água no solo, uma das avaliações mais importantes é a quantificação do movimento da água, que é feita a partir das denominadas “Equações de fluxo da água no solo”, que podem ser definidas para duas situações: uma em que o solo se encontra em estado de saturação constante (regime estacionário) e outra em que a umidade do solo varia desde a saturação até

umidades mais baixas (regime transiente). Ambas as equações apresentam uma constante de proporcionalidade denominada de condutividade hidráulica ( $K$ ), que diz respeito à facilidade com a qual a água é transmitida através dos espaços porosos dos solos (LIBARDI, 2018).

A condutividade hidráulica é um atributo fundamental na caracterização físico-hídrica dos solos, sendo importante para projetos relacionados à drenagem agrícola, irrigação, conservação do solo e da água, estabelecimento de manejo do solo e pode ser determinada em condições de solo saturado ( $K_0$ ) ou não saturado ( $K(\theta)$ ), sendo a primeira condição dependente, principalmente, do sistema poroso do solo (macroporosidade, geometria e continuidade de poros etc.) e a segunda, além disso, relacionada ao conteúdo volumétrico de água no solo ( $\theta$ ) ou potencial total ( $\phi_t$ ) com o qual a água está retida em determinado ponto de medição (LIBARDI, 2018).

Levando em consideração que, em campo, dificilmente um solo encontrar-se-á por muito tempo na condição de saturação, a determinação da  $K(\theta)$  apresenta-se como uma alternativa, fornecendo maiores detalhes (condução da água no solo após o estado de saturação) do processo de movimentação da água no perfil do solo ao longo do tempo, principalmente em presença de camada coesa que limitará a redistribuição de água para camadas mais profundas.

Pode-se determinar a condutividade hidráulica de um solo não saturado por diversos métodos, tanto em laboratório quanto em campo (*in situ*); porém, os ensaios realizados em campo são tidos como mais reais e confiáveis, por não haver perturbação da amostra de solo e, conseqüentemente, a não alteração de sua estrutura, evitando assim possíveis erros.

Um dos métodos mais utilizados para determinação da condutividade hidráulica não saturada (em função da variação do conteúdo de água do solo) em campo é o “Método do perfil instantâneo” descrito por Hillel et al. (1972), que consiste no monitoramento do estado transiente da drenagem interna de um perfil de solo a partir de medidas contínuas e simultâneas da umidade e do potencial mátrico da água no solo.

Como hipótese do trabalho admitiu-se que, se a presença da camada coesa no solo interfere na estimativa da condutividade hidráulica em condição saturada e não saturada, então é possível avaliar a magnitude de tal interferência, por meio da realização do método do perfil instantâneo, no caso específico em Argissolo Amarelo Distrocoeso, em Cruz das Almas, BA.

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo geral determinar a condutividade hidráulica em condição saturada e não saturada de um Argissolo Amarelo Distrocoeso, sob pastagem (*Brachiaria decumbens*), por meio do método do perfil instantâneo, em Cruz das Almas, BA. Os objetivos específicos foram: (i) Caracterização físico-hídrica do solo analisando a distribuição de tamanho de partículas, densidade do solo e das partículas, distribuição de tamanho de poros e curva de retenção de água; (ii) Determinação da condutividade hidráulica do solo saturado e não saturado para os diferentes horizontes coesos e não coesos de solo de Tabuleiro Costeiro; e (iii) Analisar a interferência de camadas coesas na condução da água no solo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Tabuleiros Costeiros

Os Tabuleiros Costeiros, formados no período terciário (escala de tempo geológico), abrangem grande parte do litoral do Brasil e podem ser identificados desde o Estado do Rio de Janeiro até o Amapá. Possuem grande importância socioeconômica, principalmente nos estados nordestinos, devido à proximidade de grandes centros urbanos consumidores e topografia plana ou suavemente ondulada. De acordo com Lucena, Carvalho e Xavier (2017), a região que vai desde o litoral norte da Bahia até o sul de Sergipe, inserida em Tabuleiros Costeiros, possui a segunda maior produção de citros do Brasil, perdendo apenas para o Estado de São Paulo.

Também possuem importância ambiental, já que grande parte da reserva de Mata Atlântica está estabelecida nessa unidade de paisagem. Limitações à manutenção ou restabelecimento dessas reservas podem acarretar a exposição do solo, resultando na sua erosão, promovendo o assoreamento de cursos d'água, além da diminuição das reservas hídricas, em locais com pontos de nascentes (LIRA et al., 2016).

Ao longo de toda a unidade de paisagem dos Tabuleiros Costeiros são encontrados, predominantemente, solos classificados como Argissolo Amarelo e Latossolo Amarelo; porém, em menor escala, observam-se também Argissolos Acinzentados, Espodossolos, Neossolos Quartzarênicos e Plintossolos. Normalmente, apresentam grandes limitações agrícolas como baixo teor de matéria orgânica, baixa qualidade química natural, aumento da acidez com a profundidade, caráter álico, baixa CTC, baixa saturação por bases e baixa capacidade de retenção de água (PAIVA et al., 2000).

Junto a isso, os solos predominantes nos Tabuleiros Costeiros apresentam um impedimento físico denominado "camada coesa". Esse caráter coeso é utilizado para diferenciar solos com camadas subsuperficiais adensadas, devido a processos pedogenéticos como: entupimento dos poros com argila iluvial; presença de compostos orgânicos poucos polimerizados; presença e acúmulo de sílica secundária, óxido de Fe e argila dispersa nos microporos; e adensamento por dessecação resultante da alteração da estrutura do solo pela alternância de ciclos de umedecimento e secagem, apresentando alta resistência à penetração da faca e

muito duros a extremamente duros quando secos, passando para o estado friável quando úmidos (LIMA NETO et al., 2009; SANTOS et al., 2018).

As camadas coesas podem afetar os atributos físico-hídricos dos solos, dependendo da posição que esses ocupam na paisagem, da sua profundidade e do grau de adensamento da camada em questão. É um tipo de limitação severa para a agricultura, pois reduz a drenagem interna da água, a sua dinâmica no perfil e, principalmente, limitam o volume de solo explorado pelas raízes, o que, conseqüentemente, acaba resultando em baixas produtividades devido à aeração insuficiente do solo em períodos de recarga hídrica e à baixa disponibilidade total de água no solo (proporcionada pela profundidade de solo atingida pelo crescimento radicular e limitada pela camada coesa) e nutrientes pelas plantas, em períodos de estiagem (SOUZA, 1996; REZENDE, 2000; FILIZOLA, 2001).

A dinâmica de água no solo é um dos principais fatores afetados pela presença de camadas coesas em solos de Tabuleiros Costeiros, por impor grandes alterações no fluxo de água e ar e, conseqüentemente, nos fatores físicos que interferem no crescimento das culturas agrícolas, como: potencial de água no solo, aeração, temperatura e resistência do solo à penetração de raízes. Além disso, podem fazer com que, em alguns períodos chuvosos do ano, os horizontes (ou camadas de solo) que estão acima da camada coesa permaneçam sob condições saturadas durante algum tempo e esse acontecimento é uma das dificuldades encontradas para a compreensão dos processos que envolvem o comportamento da água nessas regiões (CINTRA, 1997; CINTRA et al., 2007).

Nesse contexto, o entendimento preciso em relação ao comportamento hídrico de solos dos Tabuleiros Costeiros, além de permitir implantação mais racional e melhor desenvolvimento de culturas nas áreas de ocorrência, auxilia no manejo e nas práticas de conservação dos mesmos (FILIZOLA, 2001; CORRÊA et al., 2008).

Um atributo que permite melhor compreensão das alterações que as camadas adensadas de solos de Tabuleiros Costeiros promovem no regime hídrico dos mesmos é a condutividade hidráulica, principalmente quando avaliada sob condição não saturada.

## **2.2 Condutividade hidráulica**

O conhecimento mais acurado a respeito dos processos envolvidos no movimento da água no solo é de grande importância para que tomadas de decisão relacionadas ao manejo sustentável e à conservação dos recursos solo e água sejam devidamente estabelecidas; permite ainda o entendimento dos processos acerca do fornecimento de água às raízes, escoamento para córregos, lençóis freáticos e oceanos, manejo de irrigação e avaliação da dinâmica da água no solo. No entanto, a alta variabilidade espacial comumente observada em atributos hidráulicos do solo faz com que isso se torne uma tarefa desafiadora, sendo assim fundamentais os estudos envolvendo esses atributos (VERECKEN et al., 2007; GOHARDOUST et al., 2017).

Entre outros atributos físico-hídricos do solo, a condutividade hidráulica é um dos mais importantes quando se estudam fenômenos que, de alguma forma, estão ligados ao movimento da água no solo, podendo ser avaliada em duas condições: quando o solo encontra-se saturado ou quando não saturado, sendo denominada de condutividade hidráulica saturada e condutividade hidráulica não saturada, respectivamente (JONG van LIER & LIBARDI, 1999).

A compreensão das duas condições da condutividade hidráulica do solo (saturado e não saturado) é muito importante, principalmente, devido ao fato de que cada uma faz com que atributos do solo influenciem de maneira diferente na condução da água. A condutividade hidráulica de um solo saturado torna-se constante a partir de um determinado tempo e, além disso, o transporte de água em solos considerados homogêneos (não estratificados) faz com que os cálculos para avaliação da  $K_0$  sejam mais fáceis de trabalhar; já os processos de fluxo para os quais a umidade do solo está abaixo da saturação, e/ou quando um solo apresenta camadas estratificadas em seu perfil, são muito mais complexos, pois a capacidade do solo em transportar água no seu interior possui relação exponencial com o seu conteúdo de água, fazendo com que uma pequena variação da umidade implique em grande variação da condutividade hidráulica (CADIMA et al., 1980; KOOREVAAR, MENELIK & DIRKSEN, 1983; BRITO et al., 2009).

### **2.2.1 Condutividade hidráulica em solo saturado**

A condutividade hidráulica foi descrita, pela primeira vez, pelo engenheiro hidráulico Henry Darcy (1856), após ser contratado para resolver os problemas de

abastecimento de água na Cidade de Dijon, na França. Em seus experimentos, voltados para a infiltração e redistribuição de água no sentido vertical, trabalhou com colunas de areia homogênea e saturada, o que o fez chegar à nomeada Lei de Darcy ou Equação de Darcy, tornando possível a quantificação do movimento de água em materiais porosos saturados (LIBARDI, 2012).

A equação de Darcy (Equação 1) estabelece que a quantidade de água que passa por unidade de área e de tempo (densidade de fluxo) através de um meio poroso saturado é igual ao produto da condutividade hidráulica pelo gradiente de potencial total da água no solo (BRITO, 2010).

$$Q = K_s \times A \times \frac{\Delta h}{L} \quad (1)$$

em que:

Q = vazão ( $\text{m s}^{-1}$ );

$K_s$  = condutividade hidráulica saturada ( $\text{m s}^{-1}$ );

A = área de secção transversal ( $\text{m}^2$ ); e

$\Delta h/L$  = gradiente de potencial total entre dois pontos ( $\text{m m}^{-1}$ ).

Pelo fato de a condutividade hidráulica na condição saturada depender em grande parte da forma e continuidade do sistema poroso, ela varia fortemente de um local para outro, apresentando valores extremos em determinados locais e podendo diferir também nas distintas profundidades do solo. A condutividade hidráulica na condição saturada é mais dependente, portanto, da estrutura do que da textura do solo e, ao aumentar a agregação de um solo, o valor dela aumenta (GONÇALVES & LIBARDI, 2013).

Entretanto, a maioria dos processos de movimentação de água no solo ocorre sob um regime não saturado, sendo o regime saturado limitado, na maioria dos casos, à duração da chuva ou da irrigação, fazendo com que o entendimento da condutividade hidráulica em solos não saturados seja tão, ou mais, importante que em solos saturados.

### **2.2.2 Condutividade hidráulica em solo não saturado**

A maioria dos processos que envolvem interações solo-água no campo, incluindo o fornecimento da solução do solo e, portanto, de nutrientes para as raízes das plantas, bem como o transporte de água e solutos para além da zona radicular

(camadas mais profundas do solo), ocorre enquanto o solo está em uma condição não saturada, sendo, geralmente, complicados e difíceis de descrever quantitativamente, uma vez que, frequentemente, envolvem mudanças no estado físico (líquido e gasoso) e no conteúdo da água do solo durante o fluxo. Tais mudanças envolvem relações complexas entre variáveis como umidade do solo, tensão e condutividade hidráulica (HILLEL, 2003).

Buckingham (1907), baseado nas teorias de fluxo de calor e elétrico, demonstrou haver uma relação funcional entre a condutividade hidráulica e o conteúdo de água no solo e, da mesma forma, entre o potencial mátrico e o conteúdo de água no solo, conseguindo assim estabelecer uma equação (Equação 2) muito semelhante à de Darcy, utilizada para caracterizar o fluxo de água em solos não saturados.

$$q = -K(\theta) \times \Delta\phi_m \quad (2)$$

em que:

$q$  = densidade de fluxo da solução ( $m\ s^{-1}$ );

$K(\theta)$  = condutividade hidráulica do solo em função da umidade ( $m\ s^{-1}$ ); e

$\Delta\phi_m$  = gradiente de potencial mátrico da água no solo ( $m\ m^{-1}$ ).

Porém, em seus estudos, Buckingham (1907) havia desprezado o efeito da gravidade e a sua equação limitou-se ao movimento de água no sentido horizontal. O potencial gravitacional foi inserido por Richards (1928) que, quando somado ao potencial mátrico, define-se como gradiente de potencial total ( $\Delta\phi_t$ ). Com essa contribuição, a equação passou a ser chamada de equação de Darcy-Buckingham (Equação 3):

$$q = -K(\theta) \times \Delta\phi_t \quad (3)$$

Richards (1928) também desenvolveu uma equação para determinação do movimento de água em solos não saturados, combinando a equação de Darcy-Buckingham com a equação da continuidade. A equação de Richards (equação 3), como ficou conhecida, é uma equação diferencial geral utilizada para descrever o fluxo de água no solo em regime transiente, ou seja, admite-se que o conteúdo e os

potenciais de água no solo variam no tempo e no espaço (MELO FILHO, 2002; REICHARDT & TIMM, 2012). Quando aplicada para apenas uma dimensão, tem-se:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\theta) \times \frac{\partial \phi_t}{\partial z} \right] \quad (4)$$

Desde então, vários métodos e procedimentos vem sendo desenvolvidos e aperfeiçoados, no intuito de determinar a condutividade hidráulica dos solos não saturados, com base em soluções analíticas para a equação de Richards (BACCHI, CORRENTE & REICHARDT, 1991).

### **2.3 Métodos de determinação da condutividade hidráulica do solo**

Para obtenção dos valores de condutividade hidráulica do solo, seja ela saturada ou não saturada, diversos métodos podem ser aplicados, por meio de ensaios em laboratório ou em campo, além de ser possível a sua determinação por meio de métodos indiretos ou inversos, sendo a escolha dependente de fatores como: equipamentos disponíveis; natureza do solo; tipos de amostras de solo disponíveis; habilidades e conhecimentos do executor; faixa de sucção da água no solo a ser avaliada; e finalidade para a qual as medições estão sendo feitas (KLUTE & DIRKSEN, 1986; FERNANDES, 2011).

Devido às dificuldades e limitações encontradas para determinação da condutividade hidráulica, tanto em laboratório quanto em campo, os métodos inversos são soluções viáveis que se baseiam em outros atributos do solo que estão fortemente relacionados com a condução de água no perfil (TEIXEIRA et al., 2005).

A condutividade hidráulica de amostras saturadas ( $K_0$ ) é, normalmente, obtida em laboratório em equipamentos denominados de permeâmetros de carga constante ou de carga decrescente; já em campo, pode-se determinar  $K_0$  quando o nível do lençol freático se encontra não tão profundo, por meio do método conhecido como furo do trado (IBRAHIM & ALIYU, 2016).

Para a condutividade hidráulica não saturada ( $K(\theta)$ ), ou seja, em função da variação de umidade, tem-se, como mais utilizado, o método do perfil instantâneo, realizado em campo quando o lençol freático se encontra ausente ou muito profundo, de modo que não interfira no fluxo de água (LIBARDI, 2018).

### **2.3.1 Método do perfil instantâneo**

O método do perfil instantâneo é baseado no monitoramento da drenagem interna em regime transiente de um perfil de solo em campo. A aplicação desse método não provoca grandes perturbações na estrutura do solo, preservando assim os seus atributos hidráulicos, não dando margem a erros que podem ocorrer em outros tipos de métodos, como aqueles em que são realizados em laboratório (permeâmetro de carga constante ou variável) os quais necessitam da retirada da amostra do local de avaliação (HILLEL, 2003).

A sua aplicação em campo consiste na delimitação de uma área de solo, de aproximadamente 3 a 5 metros de diâmetro, na qual são instalados em seu centro diversos tensiômetros, em diferentes profundidades, para determinação do potencial mátrico, da mesma forma em que são também instalados sensores de umidade do solo, como por exemplo, sondas de nêutrons ou sondas de TDR. Efetua-se então a saturação completa da área, mantendo uma lâmina de água na superfície para garantir a saturação de todas as camadas consideradas no perfil. Essa condição de saturação pode ser observada quando as leituras da sonda não variarem muito com o tempo ou quando se alcança o potencial mátrico zero nos tensiômetros. Alcançada esta condição interrompe-se a aplicação de água e, após infiltração completa da lâmina de água existente acima da superfície do solo, a área é coberta com uma lona plástica para evitar a evaporação e possíveis entradas de água pela superfície (HILLEL et al., 1972; LIBARDI, 2018).

Nesse cenário, a condutividade hidráulica do solo é determinada pela quantificação dos componentes da equação de Richards (equação 3), durante o período de redistribuição da água na área, por meio de medidas simultâneas da umidade e do potencial total da água ao longo do perfil do solo, possibilitando a obtenção da densidade de fluxo de água e do gradiente de potencial total nas profundidades de interesse (CARVALHO et al., 2007).

### **2.4 Atributos que influenciam a condutividade hidráulica do solo**

A condutividade hidráulica saturada de um solo é influenciada pela geometria e continuidade dos poros preenchidos com água, o que a torna dependente da forma, quantidade, distribuição e continuidade dos mesmos; logo, pode-se afirmar que a estrutura do solo, que define a geometria do espaço poroso, sendo o atributo mais importante na formação e intensidade da  $K_0$ . Dessa maneira, quaisquer

atividades que modifiquem a estrutura do solo como, por exemplo, compactação por máquinas agrícolas ou pisoteio de animais, práticas culturais e manejos adotados, poderão causar modificações nos valores da condutividade, o que pode ser observado em diversas literaturas (ELLIES et al., 1997; MESQUITA & MORAES, 2003; LLANILLO et al., 2006; MORETI et al., 2006; FERREIRA, 2008; REICHARDT & TIMM, 2012; HOREL et al., 2015; ALAGNA et al., 2018; ELHAKEEM et al., 2018; HARUNA et al., 2018).

Após o estado de saturação, o parâmetro que mais influencia na condutividade hidráulica não saturada é o conteúdo de água existente no momento da sua determinação; nesse caso, na medida em que a umidade do solo vai diminuindo (tornando-o mais seco), a atuação do potencial mátrico (forças capilares e de adsorção) é cada vez maior, havendo uma forte retenção da água pela matriz do solo.

Para essas circunstâncias, um dos atributos mais relevantes é a textura, já que solos com maior teor de argila apresentam maior retenção e disponibilidade de água, além de a quantidade de argila influenciar na agregação do solo e, conseqüentemente, na sua estrutura e na movimentação da água (BRADY & WEIL, 2012).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Localização da área experimental e classe de solo**

A área experimental localiza-se no Campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (coordenadas geográficas: 12°40'39" de latitude Sul e 39°06'26" de longitude Oeste, altitude de 226 m), Município de Cruz das Almas, Recôncavo da Bahia. O solo avaliado encontrava-se sob pastagem, sendo classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso, típico dessas regiões que se encontram situadas em uma formação geomorfológica denominada de Tabuleiros Costeiros, com uma topografia plana a suave ondulada, apresentando o caráter coeso em condições naturais.

#### **3.2 Caracterização físico-hídrica do solo**

Os atributos físico-hídricos dos solos foram determinados por meio das análises de distribuição do tamanho das partículas, distribuição do tamanho de poros, densidade do solo e de partículas e curva de retenção da água no solo, para os horizontes A (0,0-0,13 m), AB (0,13-0,26 m), BA (0,26-0,60 m), Bt<sub>1</sub> (0,60-1,21 m) e Bt<sub>2</sub> (1,21-1,40+ m).

##### **3.2.1 Distribuição do tamanho das partículas**

As análises granulométricas foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB/Campus Cruz das Almas. O método utilizado foi o da pipeta (GEE & OR, 2002), utilizando hidróxido de sódio (40 g L<sup>-1</sup>) como solução dispersante.

Conforme metodologia descrita em TEIXEIRA et al. (2017), utilizou-se 20 g de solo, 10 mL da solução dispersante e 100 mL de água destilada para promover a dispersão das partículas do solo, sendo as amostras foram agitadas por 16 horas em agitador orbital de Wagner a 60 r.p.m. Após o processo de dispersão, a suspensão passou por uma peneira com malha de 0,053 mm para a separação da fração areia. A suspensão de silte e argila foi transferida para uma proveta, adicionando-se água destilada até completar o volume para 1.000 mL. Decorrido o tempo necessário para a sedimentação do silte, calculado conforme a lei de Stokes, coletou-se 50 mL de suspensão de argila, com o auxílio de um pipetador automático. A areia separada por peneiramento e a suspensão de argila foram levadas para

estufa a 105 °C, onde permaneceram por um período de 24 horas para uma completa secagem.

Com as proporções de areia e argila foi possível calcular, por diferença, a proporção de silte e, finalmente, procedeu-se a classificação textural do solo conforme as recomendações do Soil Survey Staff (2003).

### 3.2.2 Distribuição de tamanho de poros

A microporosidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) foi determinada pelo método da mesa de tensão (OLIVEIRA, 1968), sendo representada pela umidade volumétrica na amostra após ser submetida à tensão de 6 kPa. A macroporosidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) foi obtida pela diferença entre a PT e a microporosidade, calculando por meio das equações 5, 6 e 7:

$$PT = \frac{Dp - Ds}{Dp} \quad (5)$$

em que:

PT = porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

Dp = densidade de partículas ( $\text{kg dm}^{-3}$ ); e

Ds = densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ).

$$Mi = \frac{M_{60cca} - M_{105^\circ C}}{\text{Volume da amostra}} \quad (6)$$

em que:

Mi = microporosidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

$M_{60cca}$  = massa da amostra a 60 cm de coluna de água de tensão; e

$M_{105^\circ C}$  = massa da amostra seca a 105°C.

$$Ma = PT - Mi \quad (7)$$

em que:

Ma = macroporosidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ).

### 3.2.3 Densidade do solo e das partículas

A densidade do solo foi determinada pelo método do cilindro volumétrico, utilizando um extrator tipo Uhland, com anéis volumétricos apresentando

aproximadamente 0,05 m de altura e de diâmetro (GROSSMAN; REINSCH, 2002). No laboratório, as amostras de solos foram preparadas removendo o excesso de solo do cilindro e fixando papel mata-borrão na base da amostra para evitar perda de material. Em seguida, as amostras de solos foram colocadas em estufa (105°C, por 48 horas), sendo posteriormente pesadas para determinação da massa de solo seco e, conseqüentemente, da densidade do solo.

A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico, usando álcool etílico como líquido penetrante (Grossman & Reinsch, 2002).

### 3.2.4 Curva de retenção da água

Para a construção das curvas de retenção da água no solo, foram coletadas amostras de solo com estrutura indeformada representativas das camadas de 0,075-0,125 m (0,10 m); 0,275-0,325 (0,30 m); 0,475-0,525 m (0,50 m); 0,675-0,725 m (0,70 m) e 0,875-0,925 m (0,90 m), com auxílio de extrator tipo Uhland, utilizando cilindros volumétricos apresentando aproximadamente 0,05 m de altura e de diâmetro. As amostras foram devidamente preparadas, com a retirada do excesso de solo dos cilindros volumétricos e utilização de papel mata-borrão, com o mesmo diâmetro do anel volumétrico, colado na extremidade inferior do anel, para evitar perda de material. Durante a saturação, as amostras de solo foram colocadas dentro de um reservatório com água, elevando-se o nível de água gradativamente até próximo da extremidade superior do cilindro volumétrico, permanecendo assim por 24 horas. Para a tensão de 60 cm de coluna de água foi utilizada a mesa de tensão; já para as tensões de 100; 300; 600; 1.000; 5.000 e 15.000 cm de coluna de água foram utilizadas as câmaras de pressão de Richards. Portanto, as curvas de retenção foram confeccionadas até a tensão de 1.500 kPa, contendo oito pontos de medidas.

O ajuste das curvas de retenção foi realizado conforme o modelo proposto por van Genuchten (1980) (Equação 8), utilizando a ferramenta de otimização computacional SOLVER (suplemento do Microsoft Excel), para cada camada de solo (ou seja, a cada 0,10 m), até a profundidade de 1,00 m.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |\phi_m|)^n]^m} \quad (8)$$

em que:

$\theta$  – umidade volumétrica em  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;

$\theta_r$  – umidade residual em  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;

$\theta_s$  – umidade de saturação em  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;

$\phi_m$  – potencial mátrico em cm de coluna de água; e

$\alpha$ ,  $m$  e  $n$  – parâmetros empíricos da equação.

Após a realização das análises, as amostras foram levadas à estufa (105 °C) por um período de 24 horas, para a obtenção da massa de solo seco conforme a camada de solo, que foram posteriormente utilizadas para a determinação da umidade gravimétrica e densidade do solo, conforme a metodologia utilizada por Blake e Hartge (1986).

### **3.3 Condutividade hidráulica do solo não saturado**

A condutividade hidráulica do solo foi determinada pelo método do perfil instantâneo, conforme Watson (1966) e Libardi et al. (1980). Para execução desse método foi necessário delimitar uma coluna de solo com 3,0 m de diâmetro no campo, preservando sua estrutura nas condições naturais. Essa coluna de solo teve suas laterais revestidas por uma chapa galvanizada (2 mm de espessura) até a profundidade de 0,80 m, com o objetivo de se criar apenas fluxo vertical, sobretudo na porção central. As dimensões da chapa de zinco foram de aproximadamente 9,42 m de comprimento por 1,00 m de altura. Dessa forma, 0,20 m da altura da chapa ficaram acima da superfície do solo, obtendo assim uma lâmina de água de 0,15 a 0,20 m, durante o processo de saturação (Figuras 1, 2 e 3).

No centro da coluna de solo foram instalados tensiômetros com manômetro de mercúrio nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90 e 1,00 m, constituindo uma bateria de 10 tensiômetros (Figura 1), para monitoramento do potencial mátrico e, posteriormente, estimar a umidade no solo por meio de curvas de retenção ajustadas para tais profundidades. As cápsulas porosas dos tensiômetros foram saturadas previamente e, para a instalação, utilizou-se um trado de diâmetro específico; para criar contato íntimo do solo com a cápsula porosa do tensiômetro, adicionou-se, no fundo do orifício, uma massa pastosa feita com o próprio solo. Para evitar fluxo preferencial da água, durante a saturação da coluna, pela parede externa do tubo do tensiômetro, na sua base, na superfície do

solo, foi posta uma borracha recortada de câmara de pneu, comumente chamada de manchão.

Após a instalação da chapa galvanizada e dos tensiômetros procedeu-se a inundação da coluna de solo, até a obtenção de uma lâmina de água sobre a superfície da mesma, num menor tempo possível (Figura 2). Essa lâmina de água foi mantida até o momento em que a leitura da altura de mercúrio dos tensiômetros instalados à maior profundidade diminuiu até atingir o valor calculado para o potencial mátrico igual a zero, indicando que o solo foi saturado (Equação 9 ou 10).

$$\phi_m = -12,6 h_{Hg} + h_1 + h_2 = 0 \quad (9)$$

ou

$$h_{Hg} = \frac{h_1 + h_2}{12,6} \quad (10)$$

em que:

$\phi_m$  = potencial mátrico (cm);

$h_{Hg}$  = altura da coluna de mercúrio que indica a condição de solo saturado (cm);

$h_1$  = distância entre o nível das cubetas com mercúrio e a superfície do solo (cm); e

$h_2$  = profundidade de instalação do tensiômetro (cm).

Com a condição de saturação da coluna alcançada, o fornecimento de água foi interrompido e colocou-se uma lona recortada com 2,80 m de diâmetro para que ficasse bem acomodada na superfície do solo, após a infiltração de toda a lâmina de água. Em seguida, a coluna de solo foi coberta com outra lona, tendo o cuidado de vedar com fita isolante os recortes feitos para a passagem da lona pelos tensiômetros, para evitar a entrada de água da chuva e perdas de água por evaporação. Para evitar a incidência direta dos raios solares, a lona foi recoberta com uma camada de palha, para redução da temperatura; em seguida foi construída uma estrutura simples de madeira com uma cumeeira, onde foi colocada nova lona, abrangendo área maior do que o círculo delimitado, como mais uma proteção para evitar a entrada de água de chuva no perfil (Figura 3).

Desse momento em diante foi iniciado o monitoramento do processo de redistribuição da água no perfil do solo, com as leituras tensiométricas em função do tempo, sendo essa primeira leitura considerada como tempo zero. No início da redistribuição da água no solo foram feitas leituras de 10 em 10 minutos durante duas horas iniciais; daí em diante foram feitas leituras a cada 30 minutos até

completar o primeiro dia; no segundo dia foram feitas três leituras, às 08:00, 12:00 e 17:30; no terceiro dia, duas leituras, às 08:30 e 17:30, e do quarto dia em diante apenas uma leitura por dia, sempre no início da manhã.

Para o cálculo da condutividade hidráulica do solo não saturado foi utilizado o método proposto por Hillel et al. (1972) e descrito por Libardi (2012). A equação diferencial geral (equação 11) que descreve o fluxo vertical de água no perfil do solo é conhecida como equação de Richards:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\theta) \times \frac{\partial \phi_t}{\partial z} \right] \quad (11)$$



**Figura 1.** Perfil Instantâneo em Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA, antes da saturação.



**Figura 2.** Perfil Instantâneo em Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA, durante a saturação.



**Figura 3.** Perfil Instantâneo em Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA, após o processo de saturação, já com uma cobertura de lona, na superfície do solo, e de palha. Para aumentar a proteção contra a entrada de água, nova cobertura com lona será colocada sobre as ripas.

Integrando a equação 11 com relação à profundidade  $Z$  ( $\partial Z = -\partial z$ , sendo  $z =$  coordenada vertical de posição) e eliminando o fluxo de água na superfície do solo ( $Z = 0$ ), uma vez que a lona plástica não permite fluxo de entrada ou de saída, tem-se:

$$K(\theta)\Big|_z = \frac{-\int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dZ}{\frac{\partial \phi_t}{\partial z}\Big|_z} \quad (12)$$

Como, a partir da equação 12:

$$-\int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dZ = K(\theta) \frac{\partial \phi_t}{\partial z}\Big|_z \quad (13)$$

então, tendo em vista a equação 3 de Darcy-Buckingham,

$$\int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dZ = q \quad (14)$$

O procedimento de Hillel et al. (1972) consistiu na elaboração de uma tabela para determinação da densidade de fluxo de água no solo, nas diversas profundidades estudadas e para diversos tempos (equação 14) e outra tabela para o

cálculo da condutividade hidráulica em cada profundidade e para os diversos tempos de redistribuição da água no perfil do solo, dividindo as densidades de fluxo pelos gradientes de potencial total da água no solo (equação 12).

Com os dados de conteúdo volumétrico de água ( $\theta$ ,  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) e potencial mátrico (kPa) em função do tempo de redistribuição foi possível escrever a equação de condutividade hidráulica não saturada (Equação 15) para cada profundidade do perfil do solo, até 1,00 m de profundidade, conforme Libardi et al. (1980):

$$K(\theta) = K_0 \times e^{\gamma(\theta - \theta_0)} \quad (15)$$

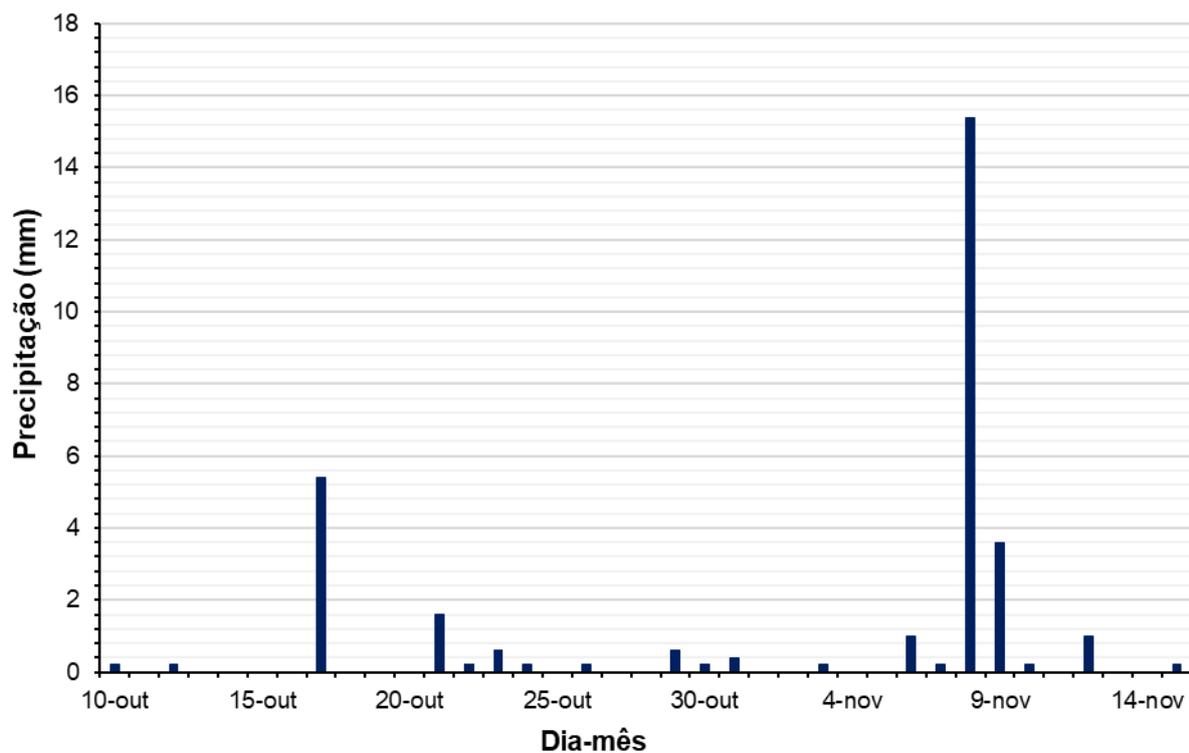
em que  $K_0$  e  $\theta_0$  são a condutividade hidráulica e o conteúdo de água do solo saturado no tempo = 0, respectivamente. O  $\gamma$  é o coeficiente angular da regressão linear entre o logaritmo da condutividade hidráulica do solo em função do conteúdo de água, e  $K_0$  é obtida a partir da resolução dessa equação de regressão para o maior conteúdo de água alcançado (tempo zero) (Equação 16):

$$K_0 = e^{(a \times \theta_0) - b} \quad (16)$$

onde  $a$  e  $b$  são os coeficientes angular e linear, respectivamente.

O  $\theta$  é o conteúdo de água determinado diariamente pelos tensiômetros instalados nas profundidades dos horizontes estabelecidas com base na observação morfológica do perfil do solo. A estimativa do  $K(\theta)$  para cada horizonte é pertinente, pois haverá muita diferença na dinâmica hídrica abaixo e acima do(s) horizonte coeso(s).

O período de duração de coleta dos dados experimentais foi de 3.047 horas (aproximadamente 120 dias), entre 10 de outubro de 2018 e 10 de fevereiro de 2019. Porém, o tempo final de 720 horas (9 de novembro de 2018) foi escolhido por ter sido aquele que contemplou um conjunto completo de leituras de umidade do solo ( $\theta$ ) e potencial mátrico ( $\phi_m$ ); ocorreu então uma chuva (Figura 4) e, apesar de todas as medidas de proteção e segurança adotadas, inexplicavelmente parte da água infiltrada atingiu as cápsulas porosas dos tensiômetros, alterando assim as condições experimentais, pelo que o período considerado na análise foi restringido para 720 horas.



**Figura 4.** Precipitação verificada entre os meses de outubro e novembro no Município de Cruz das Almas, BA. **Fonte:** INMET.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização físico-hídrica do solo

A classificação textural dos horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso cultivado sob pastagem degradada variou de areia franca em superfície para argila arenosa em profundidade (Bt<sub>2</sub>), sendo justificado pelo processo de eluviação e iluviação de argila que ocorre em profundidade, resultando em um aumento de 80,6% do horizonte BA para o Bt<sub>1</sub> (Tabela 1).

**Tabela 1.** Composição textural de um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA.

Horizontes	Areia total	Silte	Argila	Classe textural
----- m -----	----- g kg <sup>-1</sup> -----			-
A (0-0,13)	880	20	100	Areia franca
AB (0,13-0,26)	800	60	140	Franco-arenosa
BA (0,26-0,60)	740	80	180	Franco-arenosa
Bt <sub>1</sub> (0,60-1,21)	620	55	325	Franco-argiloarenosa
Bt <sub>2</sub> (1,21-1,40 <sup>+</sup> )	535	55	410	Argila arenosa

Quanto à distribuição do tamanho dos poros verificou-se que a quantidade de macroporos superou a de microporos nos horizontes A, AB e BA, ocorrendo o predomínio da microporosidade nos horizontes Bt<sub>1</sub> e Bt<sub>2</sub> (Tabela 2).

Como era de se esperar, observou-se que a porosidade total seguiu uma ordem inversa da densidade do solo, com exceção do horizonte Bt<sub>1</sub>, em que esse último atributo apresentou-se praticamente uniforme entre os horizontes AB, BA e Bt<sub>1</sub>, mas a porosidade total do Bt<sub>1</sub> foi menor. O maior valor de densidade do solo e menor de porosidade total no Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem foi encontrado em seu horizonte superficial (Ap), podendo ser explicado pelo pisoteio de animais que transitam continuamente nesse local, causando o aumento da densidade do solo e redução da porosidade total.

A transição dos horizontes BA para o Bt<sub>1</sub> do solo em estudo apresentou uma diminuição da porosidade total em, aproximadamente, 8,6% e redução dos macroporos em torno de 36,2%, fato que se pode constituir como um impedimento e fator limitante à livre movimentação da água no perfil, já que o fluxo de água no solo

está intimamente relacionado com o volume de macroporos.

**Tabela 2.** Atributos físicos de um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA.

Horizontes	PT <sup>(1)</sup>	Mp	mp	Ds	Dp
---- m ----	----- cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> -----			----kg dm <sup>-3</sup> ----	
Ap (0-0,13)	0,3643	0,2243	0,1400	1,69	2,66
AB (0,13-0,26)	0,4219	0,2836	0,1383	1,54	2,66
BA (0,26-0,60)	0,4157	0,2533	0,1625	1,55	2,66
Bt <sub>1</sub> (0,60-1,21)	0,3798	0,1615	0,2183	1,54	2,48
Bt <sub>2</sub> (1,21-1,40+)	0,4144	0,1582	0,2562	1,46	2,50

<sup>(1)</sup>PT = porosidade total; Mp = macroporosidade; mp = microporosidade; Ds = densidade do solo; Dp = Densidade das partículas.

A densidade das partículas apresentou pequena variação ao longo do perfil, obtendo valor médio de 2,6 kg dm<sup>-3</sup>, valor bem próximo do considerado padrão (2,65 kg dm<sup>-3</sup>) em solos minerais.

#### 4.1.1 Curva de retenção de água no solo

Foram obtidas 10 curvas de retenção da água no solo correspondentes a cada profundidade, conforme os horizontes A (0,10 m), AB (0,20 m), BA (0,30, 0,40 e 0,50 m) e Bt<sub>1</sub> (0,60, 0,70, 0,80, 0,90 e 1,00 m) do Argissolo Amarelo Distrocoeso cultivado sob pastagem degradada, representadas na tabela 3, pelo ajuste da equação de van Genuchten (1980).

As curvas de retenção representativas para esse solo (Figura 5) apresentaram um bom ajuste dos dados experimentais à equação de van Genuchten (1980), o que pode ser confirmado pelos valores dos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) obtidos, os quais se encontram entre 0,96 e 0,99 (Tabela 3).

Observa-se que a capacidade de retenção de água no ponto de saturação foi menor nos horizontes A (curva de 0,10 m) e Bt<sub>1</sub> (curvas de 0,60; 0,70; 0,80; 0,90 e 1,00 m) comparado aos horizontes BA (curvas de 0,30; 0,40 e 0,50 m) e AB (curva de 0,20 m), mostrando assim coerência com a porosidade total (Tabela 2); porém, esses mesmos horizontes apresentaram comportamento muito diferenciado com o aumento das tensões, dadas as composições texturais de cada um (Tabela 1),

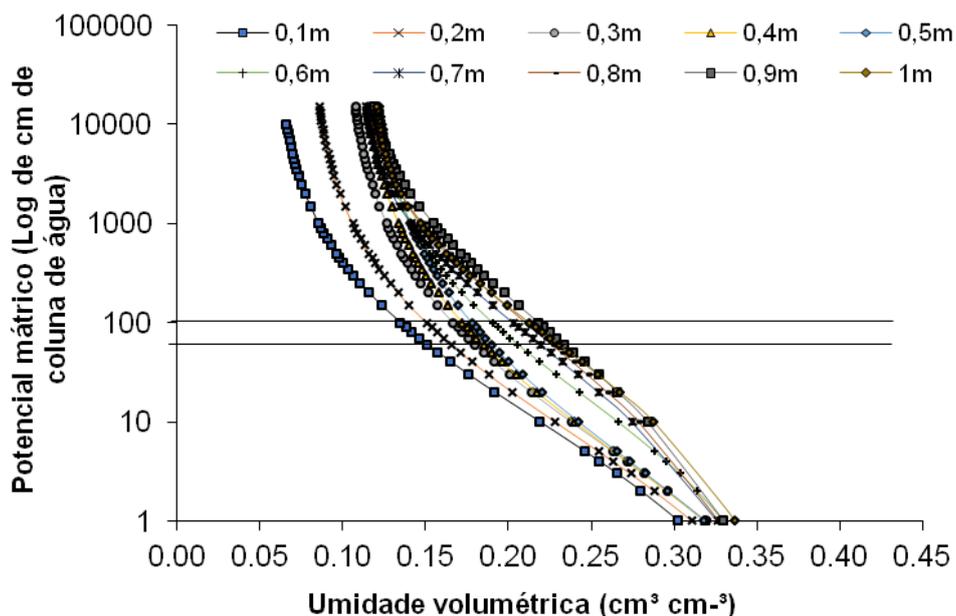
podendo ser observado a partir da tensão de 10 cm de coluna de água (Figura 5).

Sabe-se que o volume de água retido no solo em determinada tensão é característica específica de cada solo, dependendo assim do teor e mineralogia da fração argila e da compactação do solo, entre outros fatores (SILVA et al., 1986; BEUTLER et al., 2002).

**Tabela 3.** Parâmetros de ajuste da equação de van Genuchten (1980), para um Argissolo Amarelo Distrocioso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA.

Parâmetros	Profundidade (m)									
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$\alpha$	0,049	0,100	0,201	0,258	0,317	0,046	0,00026	0,00010	0,00008	0,00027
$m$	1,342	1,120	0,944	0,884	0,841	1,060	4,543	5,384	5,194	4,771
$n$	0,438	0,452	0,473	0,472	0,471	0,503	0,363	0,344	0,341	0,398
$\theta_r$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> )	0,0580	0,0782	0,0990	0,1049	0,1112	0,1110	0,1108	0,1120	0,1131	0,1186
$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> )	0,3933	0,4045	0,4157	0,4157	0,4157	0,3798	0,3798	0,3798	0,3798	0,3798
$R^2$	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,97	0,99	0,98	0,96	0,97

Na figura 5 as linhas horizontais mais escuras representam o potencial mátrico correspondente à umidade na capacidade de campo para cada profundidade analisada, sendo considerado dois valores: 60 cm de coluna de água (solos arenosos) e 100 cm de coluna de água (solos de textura média). Observa-se que, a partir da tensão de 100 cm de coluna de água (REICHARDT, 1988), a retenção de água nas profundidades superficiais apresenta comportamento diferenciado, corroborando com os resultados encontrados por Guerra, Lacerda e Barros Júnior (2006) para essas mesmas profundidades. Os mesmos autores afirmaram que tal comportamento indica a necessidade de cuidados especiais com o manejo da irrigação nessa camada de solo, tanto no volume de água aplicado quanto na frequência de irrigação, visto que é onde está concentrada grande parte do sistema radicular.



**Figura 5.** Curva de retenção de água em um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, para as profundidades de 0,10 a 1,00 m. As linhas horizontais mais escuras representam o potencial mátrico correspondente à umidade na capacidade de campo para cada profundidade analisada, sendo 60 (solos arenosos) e 100 cm de coluna de água (solos de textura média).

Para a compreensão dos resultados do presente trabalho é necessário associar os resultados da caracterização física, obtida para cada horizonte do solo, com a determinação da curva de retenção de água que foi obtida por profundidade (camada correspondente à altura do cilindro). Dessa forma, observa-se na tabela 4 a relação entre os horizontes do Argissolo Amarelo Distrocoeso e as diferentes profundidades que correspondem a cada horizonte.

**Tabela 4.** Relação entre horizontes e profundidades de instalação dos tensiômetros em um Argissolo Amarelo Distrocoeso localizado no Município de Cruz das Almas, Bahia.

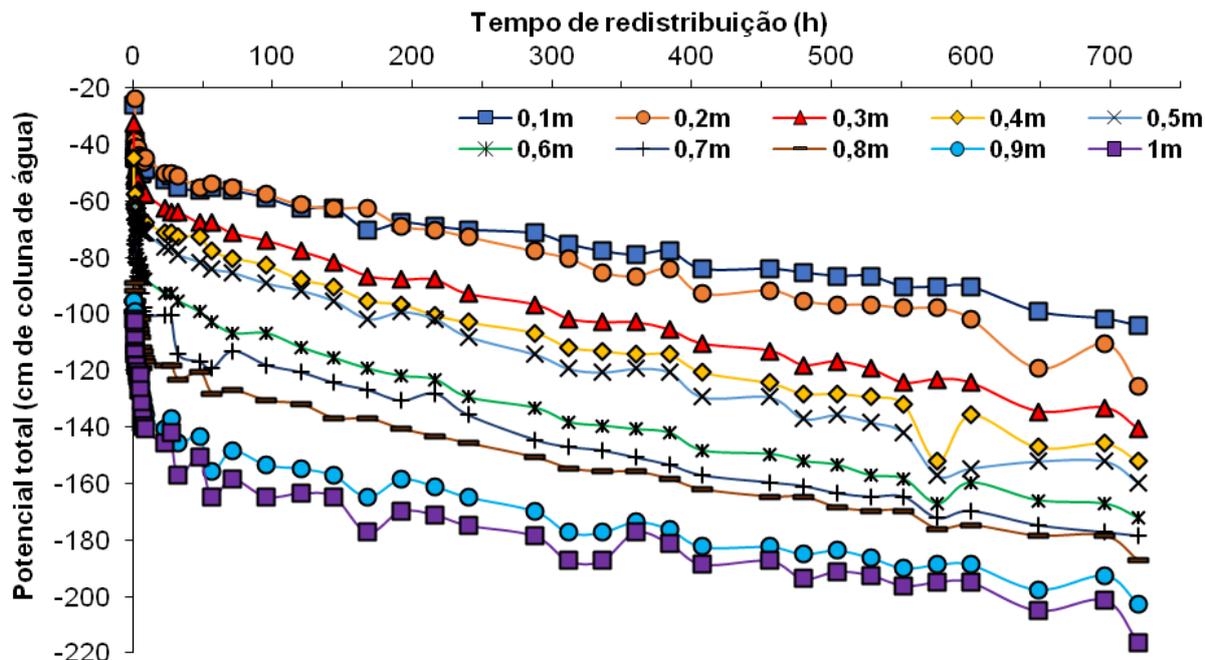
Horizonte	Profundidade (m)
A (0-0,13)	0,10
AB (0,13-0,26)	0,20
BA (0,26-0,60)	0,30; 0,40 e 0,50
Bt <sub>1</sub> (0,60-1,21)	0,60; 0,70; 0,80; 0,90 e 1,00

#### 4.1.2 Potencial mátrico e potencial total da água no solo

A partir dos dados do potencial mátrico apresentados no Anexo A, considerando a referência gravitacional na superfície do solo, foram calculados os valores de potencial total da água no solo (Anexo B), os quais foram utilizados para obter os valores do gradiente de potencial total (Anexo C) a serem utilizados na equação 12 (denominador). Com as diferenças de potenciais e gradientes determinados, que atuam como forças que determinam a intensidade e a direção da movimentação da água (COSTA, 1993), percebeu-se que, mesmo lentamente, a água estava drenando no perfil do solo (Figura 6), durante o período de avaliação.

Pequenas oscilações também podem ser observadas nos valores dos potenciais totais ao longo do tempo, em decorrência, provavelmente, dos horários de leitura da altura da coluna de mercúrio (cm de Hg), que podem acabar se constituindo como uma fonte de erro para determinação do potencial mátrico e, posteriormente, do potencial total, bem como do gradiente de potencial total. Nesse sentido, Brito et al. (2013), avaliando a variação diurno-noturna do potencial mátrico e do gradiente de potencial total da água no solo, recomendam que as leituras dos tensiômetros sejam feitas nas primeiras sete horas do dia ou após as 18 h.

A maior tensão da água alcançada no solo em estudo foi na profundidade de 1,00 m (horizonte Bt<sub>1</sub>), onde chegou em um valor de 116,4 cm de coluna de água no tempo de 720 horas (≈ 30 dias) após a saturação (Anexo A). De acordo com Dirksen (1991), é difícil atingir valores de potencial mátrico inferiores a -20 kPa (≈ 200 cm de coluna de água) com o método da drenagem interna; conseqüentemente, o solo não alcança o conteúdo de água próximo à umidade residual ( $\theta_r$ ). Entretanto, a faixa de tensão da água no solo, na qual há maior taxa de fluxo, encontra-se entre zero e 1000 cca (≈ 100 kPa).



**Figura 6.** Evolução do potencial total (cm de coluna de água) com o tempo no perfil do Argissolo Amarelo Distrocoeso, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA, para as profundidades de 0,10 a 1,00 m.

#### 4.1.3 Perfis de umidade em função do tempo

A partir dos valores de potencial mátrico obtidos durante o processo de redistribuição da água no solo no método do perfil instantâneo e das respectivas curvas de retenção para cada profundidade, calculou-se a umidade volumétrica, para todos os tempos e profundidades da parcela experimental (Tabela 5). Percebe-se que, na profundidade de 0,70 m, o conteúdo de água foi superior no período de 24 horas após o processo de saturação do perfil, em comparação com as profundidades superiores, e igual ou muito próximo nas inferiores, revelando assim que a água ficou acumulada durante o primeiro dia de redistribuição naquela profundidade, o que pode ser justificado pela presença do horizonte Bt<sub>1</sub> no solo.

**Tabela 5.** Umidades volumétricas ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) estimadas pela curva de retenção da água em um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA, por profundidade, em função do tempo.

Tempo Acumulado (horas)	Profundidade (m)									
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
1,0	0,200	0,405	0,293	0,264	0,416	0,380	0,380	0,380	0,299	0,329
1,2	0,177	0,267	0,217	0,221	0,242	0,266	0,380	0,281	0,286	0,318
1,3	0,170	0,205	0,213	0,215	0,232	0,252	0,380	0,275	0,273	0,295
1,5	0,170	0,205	0,213	0,215	0,232	0,252	0,380	0,267	0,273	0,291
1,7	0,170	0,200	0,213	0,215	0,232	0,249	0,298	0,267	0,269	0,281
1,8	0,170	0,200	0,211	0,213	0,232	0,247	0,292	0,261	0,262	0,278
2,0	0,170	0,200	0,213	0,213	0,232	0,247	0,292	0,261	0,262	0,278
2,2	0,170	0,200	0,213	0,213	0,229	0,245	0,271	0,257	0,259	0,271
2,3	0,170	0,200	0,211	0,213	0,229	0,245	0,271	0,257	0,258	0,271
2,5	0,170	0,200	0,211	0,211	0,229	0,242	0,274	0,257	0,258	0,271
2,7	0,170	0,200	0,211	0,213	0,232	0,242	0,271	0,257	0,255	0,271
3,0	0,170	0,200	0,211	0,208	0,224	0,242	0,268	0,254	0,255	0,267
3,5	0,166	0,194	0,206	0,204	0,220	0,238	0,260	0,254	0,255	0,265
4,0	0,166	0,194	0,205	0,208	0,224	0,238	0,258	0,251	0,255	0,259
4,5	0,170	0,196	0,206	0,208	0,224	0,238	0,262	0,253	0,254	0,264
5,0	0,169	0,194	0,205	0,208	0,224	0,240	0,268	0,257	0,254	0,265
5,5	0,165	0,193	0,205	0,207	0,220	0,238	0,258	0,250	0,249	0,259
6,0	0,165	0,193	0,205	0,208	0,220	0,235	0,250	0,246	0,247	0,253
6,5	0,165	0,193	0,205	0,207	0,218	0,231	0,241	0,240	0,244	0,247
7,0	0,166	0,193	0,205	0,207	0,218	0,233	0,243	0,243	0,244	0,248
7,5	0,166	0,193	0,205	0,207	0,218	0,233	0,244	0,245	0,246	0,246
8,0	0,167	0,193	0,205	0,207	0,218	0,231	0,244	0,243	0,244	0,246
8,7	0,166	0,194	0,205	0,207	0,218	0,231	0,241	0,242	0,242	0,245
23,2	0,163	0,188	0,199	0,203	0,212	0,226	0,241	0,241	0,239	0,241
27,2	0,164	0,188	0,198	0,203	0,212	0,226	0,241	0,241	0,241	0,244
32,7	0,161	0,187	0,198	0,202	0,209	0,223	0,229	0,237	0,236	0,233
47,7	0,160	0,183	0,195	0,202	0,207	0,220	0,228	0,239	0,238	0,237
56,7	0,161	0,184	0,195	0,198	0,205	0,217	0,226	0,233	0,231	0,229
71,7	0,160	0,183	0,192	0,196	0,204	0,214	0,230	0,234	0,235	0,232
95,7	0,158	0,180	0,190	0,194	0,201	0,214	0,227	0,232	0,232	0,229
120,2	0,155	0,177	0,188	0,191	0,199	0,211	0,225	0,231	0,232	0,229
144,2	0,155	0,176	0,185	0,190	0,197	0,208	0,223	0,228	0,231	0,229
168,2	0,151	0,176	0,183	0,187	0,194	0,206	0,221	0,228	0,227	0,223
192,2	0,152	0,172	0,182	0,186	0,195	0,205	0,219	0,226	0,230	0,226
216,2	0,151	0,171	0,182	0,185	0,194	0,204	0,221	0,225	0,229	0,226
240,0	0,151	0,169	0,180	0,184	0,191	0,201	0,217	0,224	0,227	0,224
288,0	0,150	0,167	0,178	0,182	0,188	0,200	0,213	0,221	0,225	0,222
312,0	0,148	0,165	0,176	0,180	0,186	0,198	0,211	0,220	0,223	0,218
336,0	0,147	0,163	0,176	0,180	0,186	0,197	0,211	0,219	0,223	0,218
360,0	0,146	0,162	0,176	0,179	0,186	0,197	0,210	0,219	0,224	0,223
384,0	0,147	0,163	0,175	0,179	0,186	0,196	0,209	0,218	0,223	0,221
408,0	0,144	0,160	0,173	0,177	0,183	0,194	0,208	0,217	0,221	0,218
456,0	0,144	0,160	0,172	0,176	0,183	0,194	0,207	0,216	0,221	0,218
480,0	0,143	0,159	0,171	0,175	0,181	0,193	0,206	0,216	0,220	0,216
504,0	0,143	0,158	0,171	0,175	0,181	0,193	0,205	0,215	0,220	0,217
528,0	0,143	0,158	0,170	0,175	0,181	0,191	0,205	0,214	0,220	0,216
552,0	0,141	0,158	0,169	0,174	0,180	0,191	0,205	0,214	0,218	0,215
576,0	0,141	0,158	0,169	0,170	0,176	0,189	0,202	0,212	0,219	0,215
600,0	0,141	0,156	0,169	0,173	0,177	0,191	0,203	0,212	0,219	0,215
624,0	0,137	0,150	0,166	0,170	0,177	0,188	0,202	0,210	0,215	0,210
648,0	0,138	0,151	0,166	0,171	0,177	0,189	0,202	0,211	0,216	0,212
672,0	0,143	0,162	0,171	0,175	0,181	0,191	0,202	0,213	0,221	0,221
696,0	0,137	0,153	0,167	0,171	0,177	0,189	0,201	0,211	0,218	0,213
720,0	0,136	0,149	0,165	0,170	0,176	0,187	0,200	0,209	0,215	0,208

Entre o tempo zero e o tempo de 720 horas (tempo final), no método do perfil instantâneo, a faixa de umidade na qual foram feitas as medidas foi menor que a amplitude determinada pelos parâmetros  $\theta_s$  e  $\theta_r$  obtidos pelo ajuste da curva de retenção de água no solo (Tabela 3).

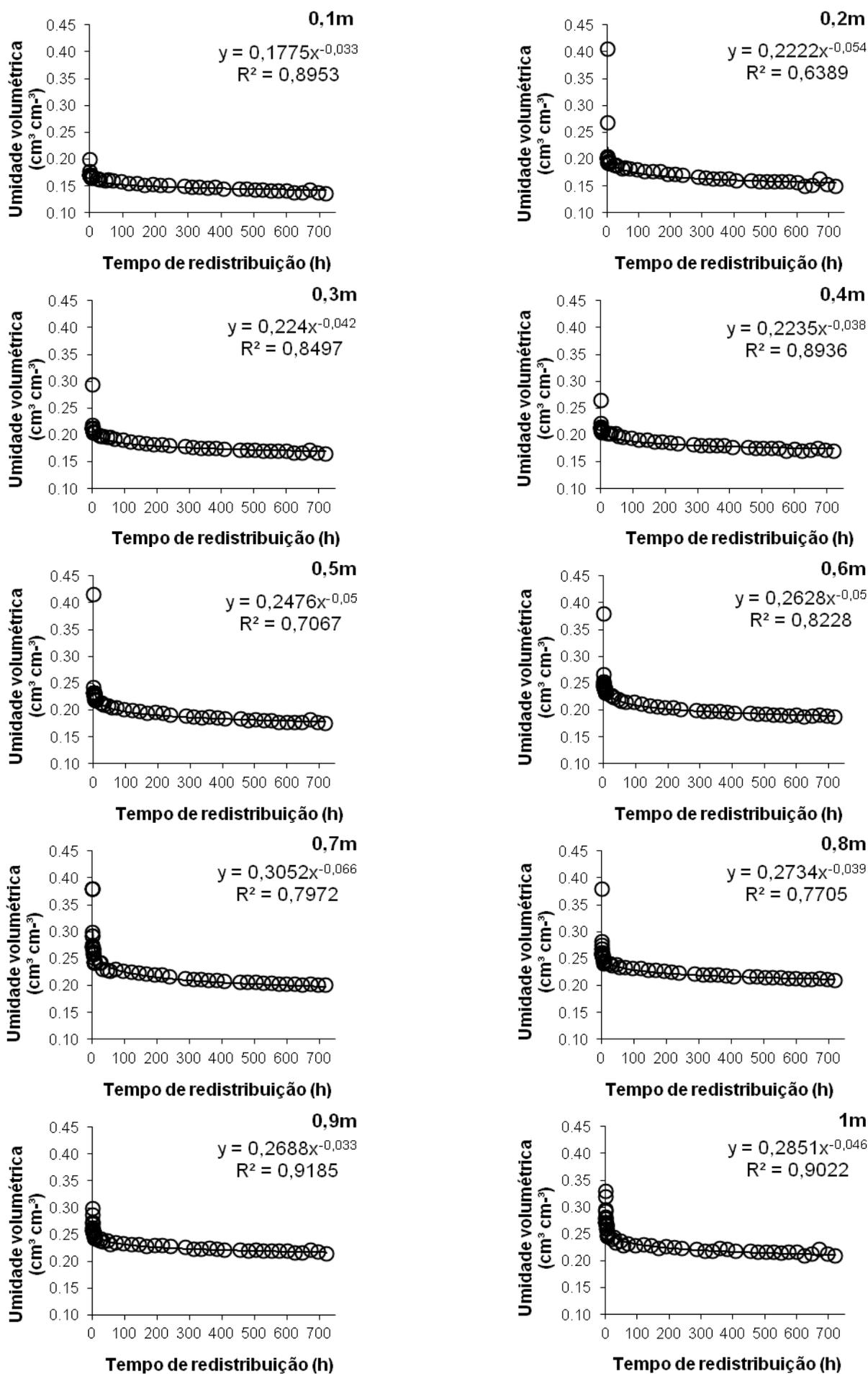
Com relação à variação do conteúdo de água, em valores percentuais, durante o período de redistribuição, observou-se que as profundidades 0,20 e 0,30 m foram as que obtiveram as maiores variações na umidade nas 720 horas de avaliação, com resultados de 44,15 % e 43,59 %, respectivamente, enquanto as profundidades de 0,50, 0,80 e 0,90 m foram as que tiveram as menores variações (27,33%, 25,79% e 28,06%, respectivamente) não alcançando nem 30% de variação na umidade durante as 720 horas.

Nota-se que o processo de redistribuição e drenagem interna da água no Argissolo Amarelo Distrocoeso foi muito lento, fazendo com que as camadas mais subsuperficiais permanecessem com elevados conteúdos de água, e que se justifica exclusivamente pelas características intrínsecas do solo, visto que não havia fluxo pelo processo de evaporação da superfície do mesmo.

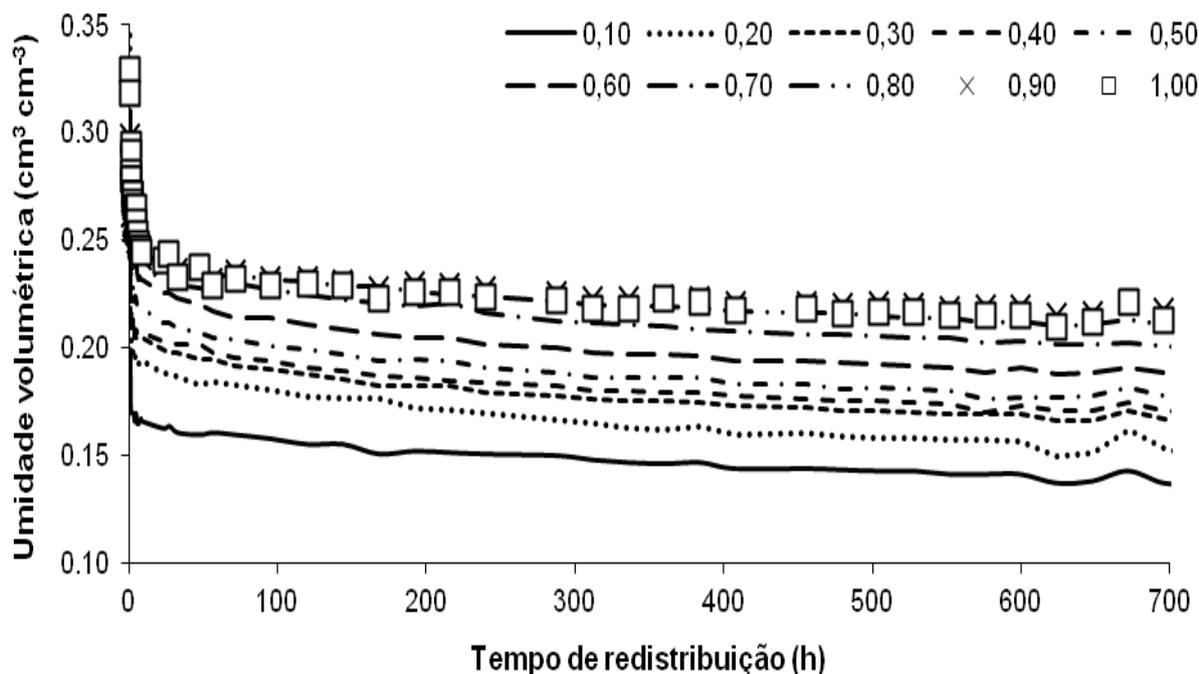
Com os dados da tabela 5, foram construídos os gráficos representativos da variação do conteúdo de água no solo em função do tempo de redistribuição para cada profundidade. A função que melhor se ajustou à tendência dos conjuntos de dados foi a do tipo “potência” (Figura 7) e, como consequência dos altos valores de  $R^2$ , tem-se bastante segurança da confiabilidade dos valores de  $\partial\theta/\partial t$ , obtidos com base nessas equações (JONG van LIER e LIBARDI, 1999).

Já na figura 8 encontram-se todas as curvas, paralelas umas às outras; contudo, as figuras 7 e 8 são repetições uma da outra, com a diferença que, na primeira, foram ajustados modelos matemáticos que descrevem o processo, constatando assim as baixas variações do conteúdo de água no solo ao longo do tempo de redistribuição.

Observa-se na variação da umidade no perfil de solo e o seu tempo de redistribuição, que ela é maior nas profundidades mais inferiores, especialmente a partir de 0,70 m (Figura 8). Comportamento semelhante foi observado por Costa (1993), avaliando a condução e retenção de água em Latossolo Álico Coeso sob Tabuleiro Costeiro, a qual explicou que esse tipo de comportamento se deve ao fato de que camadas superiores que apresentam maior drenagem devem causar um acúmulo de água, durante um período, nas camadas inferiores.



**Figura 7.** Conteúdo de água em função do tempo de redistribuição em um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA, para as profundidades 0,10 a 1,00 m.



**Figura 8.** Variação da umidade volumétrica do solo, obtida pela curva de retenção com base nos potenciais mátricos registrados nos tensiômetros de um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA, em função do tempo de redistribuição, por profundidade.

#### 4.2 Condutividade hidráulica

A partir da derivada das equações obtidas nas curvas de ajuste da umidade volumétrica em função do tempo (Figura 7) e dos resultados de gradientes de potencial total (Anexo C), determinou-se os valores de fluxo ( $q$ ),  $K(\theta)$ ,  $\ln K$  e umidade volumétrica para cada tempo (Equação 12) e para as profundidades de 0,20 a 0,90 m (Tabela 5). Dessa forma, foram obtidos os gráficos do logaritmo natural da condutividade hidráulica ( $\ln K$ ) em função da umidade do solo, os quais apresentam, a partir da regressão linear de ajuste, os parâmetros necessários para obtenção das funções  $K(\theta)$ , considerando em seu desenvolvimento os gradientes de potencial total calculados.

A figura 9 apresenta o comportamento do  $\ln K$  versus o conteúdo de água no solo, podendo-se verificar que a profundidade de 0,70 m apresentou a menor inclinação de reta, entre todas as profundidades, enquanto a maior inclinação ocorreu na profundidade de 0,40 m. Esse fato também pode ser observado pelos resultados do coeficiente angular da reta (parâmetro  $\gamma$  da tabela 6), ou seja, nota-se que, quanto menor o coeficiente angular, menor é a inclinação da reta e vice-versa.

**Tabela 6.** Condutividade hidráulica ( $K(\theta)$ ) determinada pelo método do perfil instantâneo em Argissolo Amarelo Distrocóseo cultivado sob pastagem, nas profundidades de 0,1 a 1m. (continua)

Prof. (m)	Tempo (h)	Gradiente	q (m h <sup>-1</sup> )	q (mm dia <sup>-1</sup> )	K (m h <sup>-1</sup> )	K (mm dia <sup>-1</sup> )	Ln K (mm dia <sup>-1</sup> )	$\theta$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
0,2	1,0	0,32	0,0018	42,86	0,006	136,05	4,91	0,2222
	1,3	0,32	0,0013	31,71	0,004	100,66	4,61	0,2188
	1,5	0,32	0,0012	28,03	0,004	88,98	4,49	0,2174
	1,7	0,32	0,0010	25,10	0,003	79,69	4,38	0,2162
	1,8	0,38	0,0009	22,72	0,003	60,10	4,10	0,2150
	2,0	0,32	0,0009	20,74	0,003	65,84	4,19	0,2140
	2,2	0,32	0,0008	19,07	0,003	60,55	4,10	0,2131
	2,3	0,38	0,0007	17,65	0,002	46,69	3,84	0,2123
	2,5	0,38	0,0007	16,42	0,002	43,44	3,77	0,2115
	2,7	0,38	0,0006	15,35	0,002	40,60	3,70	0,2107
	3,0	0,38	0,0006	13,57	0,001	35,89	3,58	0,2094
	3,5	0,38	0,0005	11,54	0,001	30,54	3,42	0,2077
	4,0	0,44	0,0004	10,04	0,001	22,76	3,13	0,2062
	4,5	0,57	0,0004	8,87	0,001	15,65	2,75	0,2049
	5,0	0,57	0,0003	7,95	0,001	14,01	2,64	0,2037
	5,5	0,38	0,0003	7,19	0,001	19,03	2,95	0,2027
	6,0	0,38	0,0003	6,57	0,001	17,37	2,85	0,2017
	6,5	0,38	0,0003	6,04	0,001	15,97	2,77	0,2008
	7,0	0,44	0,0002	5,59	0,001	12,67	2,54	0,2000
	7,5	0,44	0,0002	5,20	0,000	11,79	2,47	0,1993
	8,7	0,44	0,0002	4,47	0,000	10,13	2,32	0,1977
	23,2	0,50	0,0001	1,60	0,000	3,17	1,15	0,1875
	27,2	0,63	0,0001	1,35	0,000	2,14	0,76	0,1859
	32,7	0,44	0,0000	1,11	0,000	2,53	0,93	0,1841
	47,7	0,57	0,0000	0,75	0,000	1,32	0,28	0,1804
	56,7	0,63	0,0000	0,63	0,000	0,99	-0,01	0,1787
	71,7	0,76	0,0000	0,49	0,000	0,65	-0,43	0,1764
	95,7	0,76	0,0000	0,36	0,000	0,48	-0,74	0,1737
	120,2	0,76	0,0000	0,28	0,000	0,38	-0,98	0,1716
	144,2	0,95	0,0000	0,24	0,000	0,25	-1,39	0,1699
	168,2	0,82	0,0000	0,20	0,000	0,24	-1,41	0,1685
	192,2	1,01	0,0000	0,17	0,000	0,17	-1,75	0,1673
	216,2	0,95	0,0000	0,15	0,000	0,16	-1,81	0,1662
	240,0	1,13	0,0000	0,14	0,000	0,12	-2,11	0,1653
	288,0	1,26	0,0000	0,11	0,000	0,09	-2,40	0,1637
	312,0	1,32	0,0000	0,10	0,000	0,08	-2,53	0,1630
	336,0	1,26	0,0000	0,10	0,000	0,08	-2,56	0,1623
	360,0	1,20	0,0000	0,09	0,000	0,08	-2,58	0,1617
	384,0	1,39	0,0000	0,08	0,000	0,06	-2,80	0,1611
	408,0	1,32	0,0000	0,08	0,000	0,06	-2,81	0,1606
	456,0	1,45	0,0000	0,07	0,000	0,05	-3,02	0,1596
	480,0	1,64	0,0000	0,07	0,000	0,04	-3,20	0,1592
504,0	1,51	0,0000	0,06	0,000	0,04	-3,17	0,1588	
528,0	1,64	0,0000	0,06	0,000	0,04	-3,30	0,1584	
552,0	1,70	0,0000	0,06	0,000	0,03	-3,38	0,1580	
576,0	1,64	0,0000	0,06	0,000	0,03	-3,39	0,1576	
600,0	1,70	0,0000	0,05	0,000	0,03	-3,47	0,1573	
624,0	1,76	0,0000	0,05	0,000	0,03	-3,55	0,1570	
648,0	1,76	0,0000	0,05	0,000	0,03	-3,59	0,1566	
672,0	1,58	0,0000	0,05	0,000	0,03	-3,51	0,1563	
696,0	1,58	0,0000	0,05	0,000	0,03	-3,55	0,1560	
720,0	1,83	0,0000	0,04	0,000	0,02	-3,73	0,1558	

Prof. (m)	Tempo (h)	Gradiente	q (m h <sup>-1</sup> )	q (mm dia <sup>-1</sup> )	K (m h <sup>-1</sup> )	K (mm dia <sup>-1</sup> )	Ln K (mm dia <sup>-1</sup> )	θ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
<b>0,3</b>	1,0	1,25	0,0027	65,43	0,0022	52,347	3,96	0,2240
	1,3	1,13	0,0020	48,44	0,0018	42,716	3,75	0,2213
	1,5	1,13	0,0018	42,83	0,0016	37,768	3,63	0,2202
	1,7	1,01	0,0016	38,36	0,0016	38,057	3,64	0,2192
	1,8	1,07	0,0014	34,72	0,0014	32,422	3,48	0,2184
	2,0	1,07	0,0013	31,71	0,0012	29,603	3,39	0,2176
	2,2	1,07	0,0012	29,16	0,0011	27,227	3,30	0,2168
	2,3	1,07	0,0011	26,99	0,0010	25,198	3,23	0,2162
	2,5	1,13	0,0010	25,11	0,0009	22,142	3,10	0,2155
	2,7	1,07	0,0010	23,47	0,0009	21,915	3,09	0,2150
	3,0	1,26	0,0009	20,75	0,0007	16,470	2,80	0,2139
	3,5	1,26	0,0007	17,66	0,0006	14,019	2,64	0,2125
	4,0	1,07	0,0006	15,36	0,0006	14,344	2,66	0,2113
	4,5	1,13	0,0006	13,58	0,0005	11,978	2,48	0,2103
	5,0	1,07	0,0005	12,17	0,0005	11,360	2,43	0,2094
	5,5	1,07	0,0005	11,01	0,0004	10,283	2,33	0,2085
	6,0	1,01	0,0004	10,06	0,0004	9,976	2,30	0,2078
	6,5	1,07	0,0004	9,25	0,0004	8,636	2,16	0,2071
	7,0	1,07	0,0004	8,56	0,0003	7,992	2,08	0,2064
	7,5	1,07	0,0003	7,96	0,0003	7,436	2,01	0,2058
	8,7	1,13	0,0003	6,85	0,0003	6,038	1,80	0,2046
	23,2	1,07	0,0001	2,45	0,0001	2,288	0,83	0,1963
	27,2	1,07	0,0001	2,07	0,0001	1,937	0,66	0,1950
	32,7	1,07	0,0001	1,71	0,0001	1,597	0,47	0,1935
	47,7	0,88	0,0000	1,15	0,0001	1,307	0,27	0,1904
	56,7	1,20	0,0000	0,96	0,0000	0,804	-0,22	0,1891
	71,7	1,26	0,0000	0,75	0,0000	0,597	-0,52	0,1872
	95,7	1,26	0,0000	0,56	0,0000	0,442	-0,82	0,1850
	120,2	1,32	0,0000	0,44	0,0000	0,332	-1,10	0,1832
	144,2	1,39	0,0000	0,36	0,0000	0,262	-1,34	0,1818
	168,2	1,64	0,0000	0,31	0,0000	0,188	-1,67	0,1806
	192,2	1,39	0,0000	0,27	0,0000	0,194	-1,64	0,1796
	216,2	1,51	0,0000	0,24	0,0000	0,157	-1,85	0,1787
	240,0	1,51	0,0000	0,21	0,0000	0,141	-1,96	0,1779
	288,0	1,45	0,0000	0,18	0,0000	0,121	-2,11	0,1766
	312,0	1,58	0,0000	0,16	0,0000	0,103	-2,28	0,1760
	336,0	1,39	0,0000	0,15	0,0000	0,108	-2,23	0,1754
	360,0	1,39	0,0000	0,14	0,0000	0,101	-2,30	0,1749
	384,0	1,51	0,0000	0,13	0,0000	0,086	-2,45	0,1745
	408,0	1,39	0,0000	0,12	0,0000	0,088	-2,43	0,1740
	456,0	1,64	0,0000	0,11	0,0000	0,066	-2,71	0,1732
	480,0	1,64	0,0000	0,10	0,0000	0,063	-2,76	0,1728
	504,0	1,58	0,0000	0,10	0,0000	0,062	-2,78	0,1725
	528,0	1,64	0,0000	0,09	0,0000	0,057	-2,86	0,1721
	552,0	1,70	0,0000	0,09	0,0000	0,052	-2,95	0,1718
	576,0	2,71	0,0000	0,09	0,0000	0,031	-3,46	0,1715
	600,0	1,70	0,0000	0,08	0,0000	0,048	-3,04	0,1712
	624,0	1,26	0,0000	0,08	0,0000	0,062	-2,78	0,1709
648,0	1,39	0,0000	0,08	0,0000	0,054	-2,91	0,1707	
672,0	2,21	0,0000	0,07	0,0000	0,033	-3,41	0,1704	
696,0	1,76	0,0000	0,07	0,0000	0,040	-3,23	0,1702	
720,0	1,32	0,0000	0,07	0,0000	0,051	-2,97	0,1699	

Prof. (m)	Tempo (h)	Gradiente	q (m h <sup>-1</sup> )	q (mm dia <sup>-1</sup> )	K (m h <sup>-1</sup> )	K (mm dia <sup>-1</sup> )	Ln K (mm dia <sup>-1</sup> )	θ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
0,4	1,0	0,88	0,0036	85,82	0,0041	97,520	4,58	0,2235
	1,3	0,63	0,0026	63,56	0,0042	100,890	4,61	0,2211
	1,5	0,63	0,0023	56,21	0,0037	89,221	4,49	0,2201
	1,7	0,63	0,0021	50,36	0,0033	79,931	4,38	0,2192
	1,8	0,57	0,0019	45,59	0,0034	80,404	4,39	0,2184
	2,0	0,63	0,0017	41,63	0,0028	66,082	4,19	0,2177
	2,2	0,69	0,0016	38,30	0,0023	55,261	4,01	0,2170
	2,3	0,63	0,0015	35,45	0,0023	56,263	4,03	0,2164
	2,5	0,63	0,0014	32,98	0,0022	52,355	3,96	0,2159
	2,7	0,57	0,0013	30,84	0,0023	54,383	4,00	0,2153
	3,0	0,76	0,0011	27,27	0,0015	36,070	3,59	0,2144
	3,5	0,69	0,0010	23,22	0,0014	33,502	3,51	0,2131
	4,0	0,50	0,0008	20,20	0,0017	40,074	3,69	0,2120
	4,5	0,57	0,0007	17,86	0,0013	31,501	3,45	0,2111
	5,0	0,50	0,0007	16,00	0,0013	31,749	3,46	0,2102
	5,5	0,63	0,0006	14,49	0,0010	22,995	3,14	0,2095
	6,0	0,63	0,0006	13,23	0,0009	20,999	3,04	0,2088
	6,5	0,69	0,0005	12,17	0,0007	17,560	2,87	0,2082
	7,0	0,69	0,0005	11,26	0,0007	16,254	2,79	0,2076
	7,5	0,69	0,0004	10,48	0,0006	15,125	2,72	0,2070
	8,7	0,69	0,0004	9,01	0,0005	13,007	2,57	0,2059
	23,2	0,69	0,0001	3,23	0,0002	4,662	1,54	0,1983
	27,2	0,63	0,0001	2,74	0,0002	4,343	1,47	0,1971
	32,7	0,76	0,0001	2,26	0,0001	2,986	1,09	0,1958
	47,7	0,69	0,0001	1,52	0,0001	2,196	0,79	0,1930
	56,7	0,82	0,0001	1,27	0,0001	1,551	0,44	0,1917
	71,7	0,69	0,0000	0,99	0,0001	1,435	0,36	0,1900
	95,7	0,76	0,0000	0,74	0,0000	0,973	-0,03	0,1879
	120,2	0,69	0,0000	0,58	0,0000	0,837	-0,18	0,1863
	144,2	0,69	0,0000	0,48	0,0000	0,692	-0,37	0,1850
	168,2	0,76	0,0000	0,41	0,0000	0,540	-0,62	0,1839
	192,2	0,57	0,0000	0,36	0,0000	0,627	-0,47	0,1830
	216,2	0,69	0,0000	0,31	0,0000	0,454	-0,79	0,1822
	240,0	0,76	0,0000	0,28	0,0000	0,373	-0,99	0,1815
	288,0	0,88	0,0000	0,23	0,0000	0,264	-1,33	0,1802
	312,0	0,88	0,0000	0,21	0,0000	0,243	-1,41	0,1797
	336,0	0,88	0,0000	0,20	0,0000	0,225	-1,49	0,1792
	360,0	0,82	0,0000	0,18	0,0000	0,225	-1,49	0,1787
	384,0	0,76	0,0000	0,17	0,0000	0,228	-1,48	0,1783
	408,0	0,95	0,0000	0,16	0,0000	0,171	-1,76	0,1779
456,0	0,82	0,0000	0,14	0,0000	0,176	-1,74	0,1771	
480,0	0,95	0,0000	0,14	0,0000	0,145	-1,93	0,1768	
504,0	0,95	0,0000	0,13	0,0000	0,138	-1,98	0,1764	
528,0	0,95	0,0000	0,12	0,0000	0,131	-2,03	0,1761	
552,0	0,88	0,0000	0,12	0,0000	0,134	-2,01	0,1758	
576,0	1,70	0,0000	0,11	0,0000	0,066	-2,71	0,1755	
600,0	1,51	0,0000	0,11	0,0000	0,072	-2,64	0,1753	
624,0	0,94	0,0000	0,10	0,0000	0,110	-2,21	0,1750	
648,0	0,88	0,0000	0,10	0,0000	0,113	-2,18	0,1748	
672,0	0,88	0,0000	0,10	0,0000	0,109	-2,22	0,1745	
696,0	0,95	0,0000	0,09	0,0000	0,098	-2,32	0,1743	
720,0	0,95	0,0000	0,09	0,0000	0,095	-2,36	0,1741	

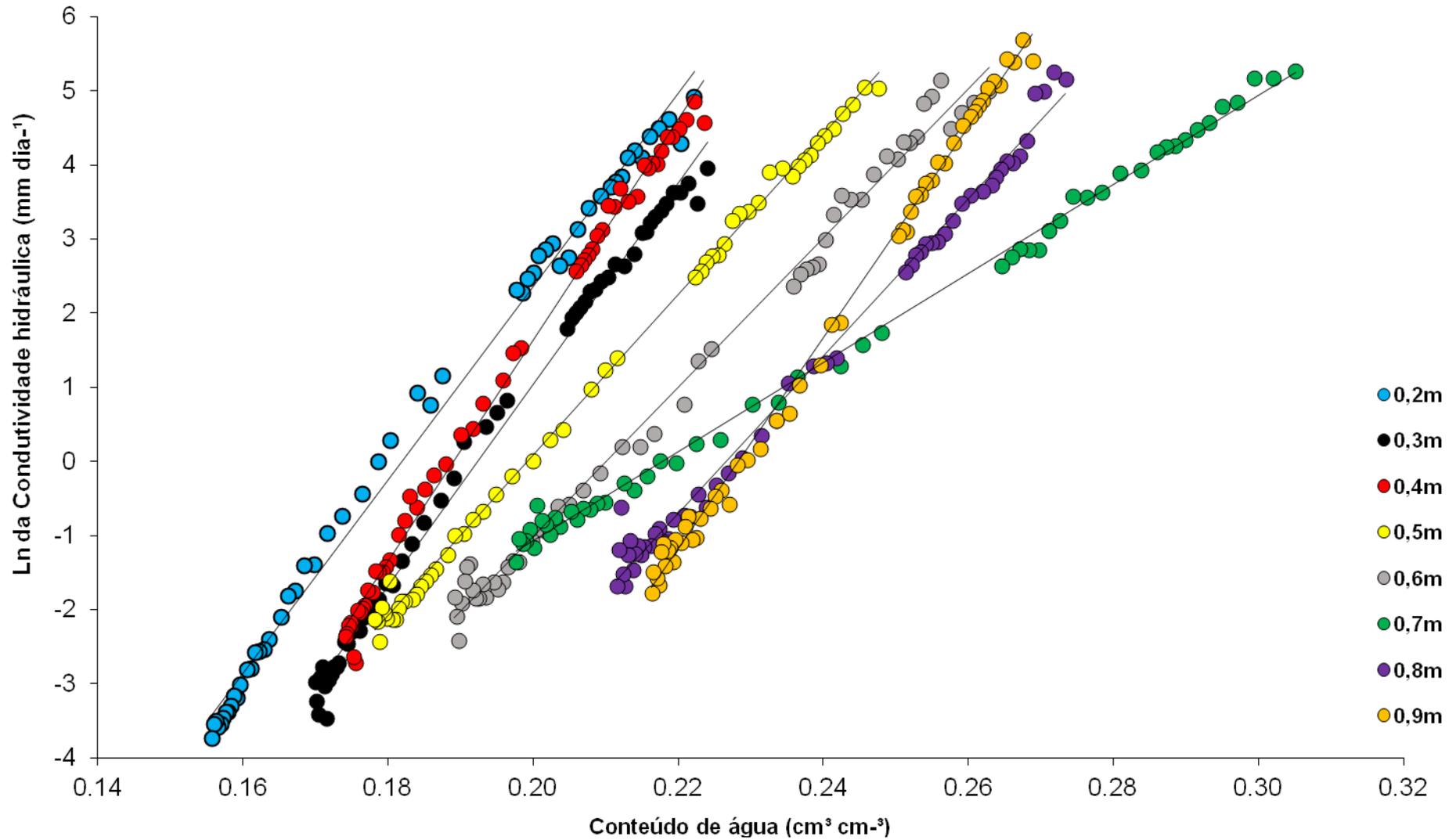
Prof. (m)	Tempo (h)	Gradiente	q (m h <sup>-1</sup> )	q (mm dia <sup>-1</sup> )	K (m h <sup>-1</sup> )	K (mm dia <sup>-1</sup> )	Ln K (mm dia <sup>-1</sup> )	θ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
0,5	1,0	0,75	0,0048	115,53	0,0064	154,039	5,04	0,2476
	1,3	0,69	0,0036	85,53	0,0051	123,415	4,82	0,2441
	1,5	0,69	0,0032	75,62	0,0045	109,120	4,69	0,2426
	1,7	0,76	0,0028	67,73	0,0037	89,596	4,50	0,2414
	1,8	0,76	0,0026	61,31	0,0034	81,100	4,40	0,2402
	2,0	0,76	0,0023	55,98	0,0031	74,050	4,30	0,2392
	2,2	0,82	0,0021	51,49	0,0026	62,868	4,14	0,2382
	2,3	0,82	0,0020	47,65	0,0024	58,182	4,06	0,2373
	2,5	0,82	0,0018	44,34	0,0023	54,134	3,99	0,2365
	2,7	0,88	0,0017	41,44	0,0020	46,989	3,85	0,2358
	3,0	0,69	0,0015	36,64	0,0022	52,877	3,97	0,2344
	3,5	0,63	0,0013	31,19	0,0021	49,509	3,90	0,2326
	4,0	0,82	0,0011	27,13	0,0014	33,123	3,50	0,2310
	4,5	0,82	0,0010	23,99	0,0012	29,286	3,38	0,2297
	5,0	0,76	0,0009	21,48	0,0012	28,419	3,35	0,2285
	5,5	0,76	0,0008	19,45	0,0011	25,724	3,25	0,2274
	6,0	0,95	0,0007	17,76	0,0008	18,791	2,93	0,2264
	6,5	1,01	0,0007	16,33	0,0007	16,202	2,79	0,2255
	7,0	0,95	0,0006	15,11	0,0007	15,994	2,77	0,2246
	7,5	0,95	0,0006	14,06	0,0006	14,882	2,70	0,2239
	8,7	1,01	0,0005	12,09	0,0005	11,995	2,48	0,2223
	23,2	1,07	0,0002	4,33	0,0002	4,040	1,40	0,2116
	27,2	1,07	0,0002	3,66	0,0001	3,421	1,23	0,2099
	32,7	1,13	0,0001	3,02	0,0001	2,664	0,98	0,2080
	47,7	1,32	0,0001	2,04	0,0001	1,539	0,43	0,2041
	56,7	1,26	0,0001	1,70	0,0001	1,349	0,30	0,2023
	71,7	1,32	0,0001	1,33	0,0000	1,005	0,00	0,2000
	95,7	1,20	0,0000	0,98	0,0000	0,821	-0,20	0,1971
	120,2	1,20	0,0000	0,77	0,0000	0,647	-0,44	0,1949
	144,2	1,26	0,0000	0,64	0,0000	0,508	-0,68	0,1931
	168,2	1,20	0,0000	0,55	0,0000	0,455	-0,79	0,1916
	192,2	1,26	0,0000	0,47	0,0000	0,376	-0,98	0,1904
	216,2	1,13	0,0000	0,42	0,0000	0,370	-0,99	0,1892
	240,0	1,32	0,0000	0,38	0,0000	0,284	-1,26	0,1883
	288,0	1,32	0,0000	0,31	0,0000	0,235	-1,45	0,1865
	312,0	1,32	0,0000	0,29	0,0000	0,216	-1,53	0,1858
	336,0	1,32	0,0000	0,26	0,0000	0,200	-1,61	0,1851
	360,0	1,32	0,0000	0,25	0,0000	0,186	-1,68	0,1845
	384,0	1,39	0,0000	0,23	0,0000	0,166	-1,80	0,1839
	408,0	1,39	0,0000	0,22	0,0000	0,156	-1,86	0,1833
456,0	1,26	0,0000	0,19	0,0000	0,153	-1,88	0,1823	
480,0	1,20	0,0000	0,18	0,0000	0,152	-1,88	0,1818	
504,0	1,26	0,0000	0,17	0,0000	0,137	-1,98	0,1814	
528,0	1,39	0,0000	0,16	0,0000	0,119	-2,13	0,1810	
552,0	1,32	0,0000	0,16	0,0000	0,119	-2,13	0,1806	
576,0	0,76	0,0000	0,15	0,0000	0,199	-1,61	0,1802	
600,0	1,20	0,0000	0,14	0,0000	0,121	-2,12	0,1798	
624,0	1,07	0,0000	0,14	0,0000	0,129	-2,05	0,1795	
648,0	0,94	0,0000	0,13	0,0000	0,141	-1,96	0,1791	
672,0	1,45	0,0000	0,13	0,0000	0,088	-2,43	0,1788	
696,0	1,07	0,0000	0,12	0,0000	0,115	-2,16	0,1785	
720,0	1,01	0,0000	0,12	0,0000	0,118	-2,13	0,1782	

Prof. (m)	Tempo (h)	Gradiente	q (m h <sup>-1</sup> )	q (mm dia <sup>-1</sup> )	K (m h <sup>-1</sup> )	K (mm dia <sup>-1</sup> )	Ln K (mm dia <sup>-1</sup> )	θ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
0,6	1,0	1,00	0,0061	147,07	0,0061	147,066	4,99	0,2628
	1,3	0,98	0,0045	108,84	0,0046	111,460	4,71	0,2590
	1,5	1,07	0,0040	96,22	0,0037	89,843	4,50	0,2575
	1,7	0,50	0,0036	86,18	0,0071	170,990	5,14	0,2562
	1,8	0,57	0,0032	78,00	0,0057	137,566	4,92	0,2550
	2,0	0,57	0,0030	71,21	0,0052	125,596	4,83	0,2538
	2,2	0,82	0,0027	65,49	0,0033	79,966	4,38	0,2528
	2,3	0,82	0,0025	60,61	0,0031	74,000	4,30	0,2519
	2,5	0,76	0,0023	56,39	0,0031	74,584	4,31	0,2510
	2,7	0,88	0,0022	52,70	0,0025	59,755	4,09	0,2502
	3,0	0,76	0,0019	46,59	0,0026	61,632	4,12	0,2488
	3,5	0,82	0,0017	39,65	0,0020	48,418	3,88	0,2468
	4,0	1,01	0,0014	34,48	0,0014	34,210	3,53	0,2452
	4,5	0,88	0,0013	30,49	0,0014	34,565	3,54	0,2438
	5,0	0,76	0,0011	27,30	0,0015	36,117	3,59	0,2425
	5,5	0,88	0,0010	24,71	0,0012	28,019	3,33	0,2413
	6,0	1,13	0,0009	22,56	0,0008	19,896	2,99	0,2403
	6,5	1,45	0,0009	20,75	0,0006	14,320	2,66	0,2393
	7,0	1,39	0,0008	19,20	0,0006	13,854	2,63	0,2384
	7,5	1,32	0,0007	17,87	0,0006	13,503	2,60	0,2376
	8,7	1,45	0,0006	15,36	0,0004	10,599	2,36	0,2359
	23,2	1,20	0,0002	5,49	0,0002	4,587	1,52	0,2246
	27,2	1,20	0,0002	4,65	0,0002	3,883	1,36	0,2228
	32,7	1,76	0,0002	3,83	0,0001	2,173	0,78	0,2208
	47,7	1,76	0,0001	2,58	0,0001	1,463	0,38	0,2166
	56,7	1,76	0,0001	2,15	0,0001	1,221	0,20	0,2148
	71,7	1,39	0,0001	1,68	0,0001	1,216	0,20	0,2123
	95,7	1,45	0,0001	1,25	0,0000	0,860	-0,15	0,2092
	120,2	1,45	0,0000	0,98	0,0000	0,677	-0,39	0,2068
	144,2	1,45	0,0000	0,81	0,0000	0,560	-0,58	0,2050
	168,2	1,26	0,0000	0,69	0,0000	0,548	-0,60	0,2034
	192,2	1,58	0,0000	0,60	0,0000	0,381	-0,96	0,2020
	216,2	1,32	0,0000	0,53	0,0000	0,401	-0,91	0,2009
	240,0	1,39	0,0000	0,48	0,0000	0,343	-1,07	0,1998
	288,0	1,51	0,0000	0,39	0,0000	0,260	-1,35	0,1980
	312,0	1,39	0,0000	0,36	0,0000	0,261	-1,34	0,1972
	336,0	1,39	0,0000	0,33	0,0000	0,241	-1,42	0,1965
	360,0	1,58	0,0000	0,31	0,0000	0,198	-1,62	0,1958
	384,0	1,64	0,0000	0,29	0,0000	0,178	-1,73	0,1952
	408,0	1,39	0,0000	0,27	0,0000	0,197	-1,62	0,1946
	456,0	1,51	0,0000	0,24	0,0000	0,161	-1,83	0,1935
	480,0	1,20	0,0000	0,23	0,0000	0,193	-1,65	0,1930
	504,0	1,39	0,0000	0,22	0,0000	0,158	-1,85	0,1925
	528,0	1,32	0,0000	0,21	0,0000	0,158	-1,85	0,1921
	552,0	1,13	0,0000	0,20	0,0000	0,176	-1,74	0,1917
	576,0	0,76	0,0000	0,19	0,0000	0,252	-1,38	0,1913
	600,0	0,76	0,0000	0,18	0,0000	0,241	-1,42	0,1909
	624,0	0,88	0,0000	0,18	0,0000	0,199	-1,62	0,1905
648,0	1,13	0,0000	0,17	0,0000	0,148	-1,91	0,1901	
672,0	1,83	0,0000	0,16	0,0000	0,089	-2,42	0,1898	
696,0	1,26	0,0000	0,16	0,0000	0,124	-2,09	0,1895	
720,0	0,95	0,0000	0,15	0,0000	0,160	-1,84	0,1891	

Prof. (m)	Tempo (h)	Gradiente	q (m h <sup>-1</sup> )	q (mm dia <sup>-1</sup> )	K (m h <sup>-1</sup> )	K (mm dia <sup>-1</sup> )	Ln K (mm dia <sup>-1</sup> )	θ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
0,7	1,0	1,00	0,0081	195,39	0,0081	195,393	5,28	0,3051
	1,3	0,82	0,0060	144,41	0,0073	176,319	5,17	0,2994
	1,5	1,01	0,0053	127,59	0,0053	126,577	4,84	0,2970
	1,7	0,95	0,0048	114,21	0,0050	120,862	4,79	0,2950
	1,8	1,07	0,0043	103,33	0,0040	96,477	4,57	0,2931
	2,0	1,07	0,0039	94,30	0,0037	88,045	4,48	0,2915
	2,2	1,13	0,0036	86,69	0,0032	76,444	4,34	0,2899
	2,3	1,13	0,0033	80,19	0,0029	70,716	4,26	0,2885
	2,5	1,07	0,0031	74,58	0,0029	69,638	4,24	0,2872
	2,7	1,07	0,0029	69,69	0,0027	65,071	4,18	0,2860
	3,0	1,20	0,0026	61,58	0,0021	51,442	3,94	0,2838
	3,5	1,07	0,0022	52,37	0,0020	48,895	3,89	0,2809
	4,0	1,20	0,0019	45,51	0,0016	38,020	3,64	0,2784
	4,5	1,13	0,0017	40,21	0,0015	35,459	3,57	0,2763
	5,0	1,01	0,0015	36,00	0,0015	35,710	3,58	0,2744
	5,5	1,26	0,0014	32,56	0,0011	25,845	3,25	0,2726
	6,0	1,32	0,0012	29,72	0,0009	22,463	3,11	0,2711
	6,5	1,58	0,0011	27,32	0,0007	17,347	2,85	0,2696
	7,0	1,45	0,0011	25,27	0,0007	17,442	2,86	0,2683
	7,5	1,32	0,0010	23,51	0,0007	17,767	2,88	0,2671
	8,7	1,45	0,0008	20,19	0,0006	13,936	2,63	0,2646
	23,2	1,26	0,0003	7,19	0,0002	5,703	1,74	0,2479
	27,2	1,26	0,0003	6,08	0,0002	4,824	1,57	0,2454
	32,7	1,39	0,0002	5,01	0,0002	3,613	1,28	0,2424
	47,7	1,07	0,0001	3,37	0,0001	3,144	1,15	0,2364
	56,7	1,26	0,0001	2,81	0,0001	2,228	0,80	0,2337
	71,7	1,01	0,0001	2,19	0,0001	2,176	0,78	0,2301
	95,7	1,20	0,0001	1,62	0,0001	1,353	0,30	0,2258
	120,2	1,01	0,0001	1,27	0,0001	1,264	0,23	0,2224
	144,2	1,07	0,0000	1,05	0,0000	0,983	-0,02	0,2198
	168,2	0,88	0,0000	0,90	0,0000	1,015	0,01	0,2175
	192,2	0,95	0,0000	0,78	0,0000	0,823	-0,19	0,2156
	216,2	1,01	0,0000	0,69	0,0000	0,682	-0,38	0,2140
	240,0	0,82	0,0000	0,62	0,0000	0,752	-0,28	0,2125
	288,0	0,88	0,0000	0,51	0,0000	0,577	-0,55	0,2100
	312,0	0,82	0,0000	0,47	0,0000	0,571	-0,56	0,2088
	336,0	0,82	0,0000	0,43	0,0000	0,528	-0,64	0,2078
	360,0	0,76	0,0000	0,40	0,0000	0,532	-0,63	0,2069
	384,0	0,82	0,0000	0,38	0,0000	0,459	-0,78	0,2060
	408,0	0,69	0,0000	0,35	0,0000	0,509	-0,68	0,2052
	456,0	0,76	0,0000	0,31	0,0000	0,415	-0,88	0,2037
	480,0	0,63	0,0000	0,30	0,0000	0,472	-0,75	0,2030
504,0	0,76	0,0000	0,28	0,0000	0,374	-0,98	0,2023	
528,0	0,63	0,0000	0,27	0,0000	0,427	-0,85	0,2017	
552,0	0,57	0,0000	0,26	0,0000	0,453	-0,79	0,2011	
576,0	0,44	0,0000	0,25	0,0000	0,557	-0,59	0,2006	
600,0	0,76	0,0000	0,24	0,0000	0,311	-1,17	0,2000	
624,0	0,57	0,0000	0,23	0,0000	0,398	-0,92	0,1995	
648,0	0,63	0,0000	0,22	0,0000	0,344	-1,07	0,1990	
672,0	0,63	0,0000	0,21	0,0000	0,332	-1,10	0,1985	
696,0	0,57	0,0000	0,20	0,0000	0,355	-1,04	0,1981	
720,0	0,76	0,0000	0,19	0,0000	0,257	-1,36	0,1976	

Prof. (m)	Tempo (h)	Gradiente	q (m h <sup>-1</sup> )	q (mm dia <sup>-1</sup> )	K (m h <sup>-1</sup> )	K (mm dia <sup>-1</sup> )	Ln K (mm dia <sup>-1</sup> )	θ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
0,8	1,0	1,27	0,0092	220,98	0,0073	174,003	5,16	0,2734
	1,3	1,10	0,0068	163,38	0,0062	148,194	5,00	0,2703
	1,5	1,01	0,0060	144,38	0,0060	143,236	4,96	0,2691
	1,7	1,70	0,0054	129,27	0,0032	75,994	4,33	0,2680
	1,8	1,89	0,0049	116,96	0,0026	61,883	4,13	0,2670
	2,0	1,89	0,0044	106,75	0,0024	56,482	4,03	0,2661
	2,2	1,70	0,0041	98,15	0,0024	57,700	4,06	0,2653
	2,3	1,76	0,0038	90,80	0,0021	51,475	3,94	0,2645
	2,5	1,83	0,0035	84,46	0,0019	46,228	3,83	0,2638
	2,7	1,89	0,0033	78,93	0,0017	41,760	3,73	0,2631
	3,0	1,83	0,0029	69,75	0,0016	38,177	3,64	0,2619
	3,5	1,64	0,0025	59,33	0,0015	36,220	3,59	0,2604
	4,0	1,58	0,0021	51,57	0,0014	32,743	3,49	0,2590
	4,5	1,76	0,0019	45,57	0,0011	25,835	3,25	0,2578
	5,0	1,89	0,0017	40,80	0,0009	21,589	3,07	0,2568
	5,5	1,89	0,0015	36,92	0,0008	19,533	2,97	0,2558
	6,0	1,76	0,0014	33,70	0,0008	19,102	2,95	0,2549
	6,5	1,64	0,0013	30,98	0,0008	18,914	2,94	0,2542
	7,0	1,70	0,0012	28,66	0,0007	16,850	2,82	0,2534
	7,5	1,64	0,0011	26,66	0,0007	16,276	2,79	0,2527
	8,7	1,76	0,0010	22,91	0,0005	12,986	2,56	0,2513
	23,2	2,02	0,0003	8,16	0,0002	4,049	1,40	0,2419
	27,2	1,83	0,0003	6,91	0,0002	3,780	1,33	0,2404
	32,7	1,58	0,0002	5,69	0,0002	3,614	1,28	0,2386
	47,7	1,32	0,0002	3,83	0,0001	2,894	1,06	0,2352
	56,7	1,83	0,0001	3,19	0,0001	1,748	0,56	0,2336
	71,7	1,76	0,0001	2,50	0,0001	1,415	0,35	0,2314
	95,7	1,76	0,0001	1,84	0,0000	1,045	0,04	0,2288
	120,2	1,70	0,0001	1,45	0,0000	0,853	-0,16	0,2268
	144,2	1,64	0,0000	1,20	0,0000	0,732	-0,31	0,2252
	168,2	1,89	0,0000	1,02	0,0000	0,540	-0,62	0,2239
	192,2	1,39	0,0000	0,89	0,0000	0,640	-0,45	0,2227
	216,2	1,64	0,0000	0,78	0,0000	0,478	-0,74	0,2217
	240,0	1,45	0,0000	0,70	0,0000	0,485	-0,72	0,2208
	288,0	1,26	0,0000	0,58	0,0000	0,460	-0,78	0,2192
	312,0	1,51	0,0000	0,53	0,0000	0,353	-1,04	0,2185
	336,0	1,45	0,0000	0,49	0,0000	0,340	-1,08	0,2179
	360,0	1,13	0,0000	0,46	0,0000	0,405	-0,90	0,2173
	384,0	1,13	0,0000	0,43	0,0000	0,378	-0,97	0,2168
	408,0	1,26	0,0000	0,40	0,0000	0,319	-1,14	0,2163
	456,0	1,13	0,0000	0,36	0,0000	0,316	-1,15	0,2153
	480,0	1,20	0,0000	0,34	0,0000	0,284	-1,26	0,2149
	504,0	1,01	0,0000	0,32	0,0000	0,320	-1,14	0,2145
	528,0	1,07	0,0000	0,31	0,0000	0,287	-1,25	0,2141
	552,0	1,26	0,0000	0,29	0,0000	0,233	-1,46	0,2137
	576,0	0,82	0,0000	0,28	0,0000	0,342	-1,07	0,2134
	600,0	0,94	0,0000	0,27	0,0000	0,284	-1,26	0,2130
624,0	1,39	0,0000	0,26	0,0000	0,186	-1,68	0,2127	
648,0	1,13	0,0000	0,25	0,0000	0,218	-1,52	0,2124	
672,0	0,44	0,0000	0,24	0,0000	0,541	-	-	
696,0	0,76	0,0000	0,23	0,0000	0,304	-1,19	0,2118	
720,0	1,20	0,0000	0,22	0,0000	0,185	-1,69	0,2115	

Prof. (m)	Tempo (h)	Gradiente	q (m h <sup>-1</sup> )	q (mm dia <sup>-1</sup> )	K (m h <sup>-1</sup> )	K (mm dia <sup>-1</sup> )	Ln K (mm dia <sup>-1</sup> )	θ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
0,9	1,0	1,09	0,0101	242,27	0,0093	223,293	5,41	0,2688
	1,3	0,82	0,0075	179,20	0,0091	218,803	5,39	0,2663
	1,5	0,69	0,0066	158,39	0,0095	228,552	5,43	0,2652
	1,7	0,88	0,0059	141,83	0,0067	160,800	5,08	0,2643
	1,8	0,76	0,0053	128,34	0,0071	169,763	5,13	0,2635
	2,0	0,76	0,0049	117,15	0,0065	154,965	5,04	0,2627
	2,2	0,82	0,0045	107,73	0,0055	131,533	4,88	0,2620
	2,3	0,82	0,0042	99,67	0,0051	121,703	4,80	0,2614
	2,5	0,82	0,0039	92,72	0,0047	113,212	4,73	0,2608
	2,7	0,82	0,0036	86,66	0,0044	105,807	4,66	0,2602
	3,0	0,82	0,0032	76,59	0,0039	93,519	4,54	0,2592
	3,5	0,88	0,0027	65,17	0,0031	73,883	4,30	0,2579
	4,0	1,01	0,0024	56,65	0,0023	56,205	4,03	0,2568
	4,5	0,88	0,0021	50,08	0,0024	56,774	4,04	0,2558
	5,0	1,01	0,0019	44,84	0,0019	44,484	3,80	0,2549
	5,5	0,95	0,0017	40,58	0,0018	42,939	3,76	0,2541
	6,0	1,01	0,0015	37,04	0,0015	36,747	3,60	0,2534
	6,5	0,95	0,0014	34,06	0,0015	36,042	3,58	0,2527
	7,0	1,07	0,0013	31,51	0,0012	29,426	3,38	0,2521
	7,5	1,32	0,0012	29,32	0,0009	22,159	3,10	0,2515
	8,7	1,20	0,0010	25,19	0,0009	21,048	3,05	0,2503
	23,2	1,39	0,0004	8,99	0,0003	6,487	1,87	0,2423
	27,2	1,20	0,0003	7,61	0,0003	6,357	1,85	0,2410
	32,7	1,70	0,0003	6,27	0,0002	3,688	1,30	0,2396
	47,7	1,51	0,0002	4,22	0,0001	2,792	1,03	0,2366
	56,7	1,83	0,0001	3,52	0,0001	1,928	0,66	0,2353
	71,7	1,58	0,0001	2,75	0,0001	1,748	0,56	0,2335
	95,7	1,70	0,0001	2,03	0,0000	1,196	0,18	0,2312
	120,2	1,58	0,0001	1,60	0,0000	1,017	0,02	0,2295
	144,2	1,39	0,0001	1,32	0,0000	0,955	-0,05	0,2281
	168,2	2,02	0,0000	1,13	0,0000	0,559	-0,58	0,2270
	192,2	1,45	0,0000	0,98	0,0000	0,676	-0,39	0,2260
	216,2	1,39	0,0000	0,87	0,0000	0,625	-0,47	0,2251
	240,0	1,45	0,0000	0,78	0,0000	0,536	-0,62	0,2243
	288,0	1,39	0,0000	0,64	0,0000	0,463	-0,77	0,2230
	312,0	1,64	0,0000	0,59	0,0000	0,360	-1,02	0,2224
	336,0	1,58	0,0000	0,55	0,0000	0,346	-1,06	0,2219
	360,0	1,07	0,0000	0,51	0,0000	0,474	-0,75	0,2213
	384,0	1,13	0,0000	0,47	0,0000	0,418	-0,87	0,2209
	408,0	1,32	0,0000	0,45	0,0000	0,337	-1,09	0,2204
456,0	1,13	0,0000	0,40	0,0000	0,349	-1,05	0,2196	
480,0	1,45	0,0000	0,38	0,0000	0,259	-1,35	0,2193	
504,0	1,13	0,0000	0,36	0,0000	0,315	-1,16	0,2189	
528,0	1,13	0,0000	0,34	0,0000	0,300	-1,20	0,2186	
552,0	1,32	0,0000	0,32	0,0000	0,245	-1,41	0,2182	
576,0	0,94	0,0000	0,31	0,0000	0,328	-1,11	0,2179	
600,0	1,01	0,0000	0,30	0,0000	0,295	-1,22	0,2176	
624,0	1,51	0,0000	0,29	0,0000	0,189	-1,67	0,2174	
648,0	1,32	0,0000	0,27	0,0000	0,207	-1,57	0,2171	
672,0	0,38	0,0000	0,26	0,0000	0,698	-	-	
696,0	1,13	0,0000	0,25	0,0000	0,224	-1,49	0,2166	
720,0	1,45	0,0000	0,25	0,0000	0,169	-1,77	0,2163	



**Figura 9.** Condutividade hidráulica ( $\ln K$ ) de um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem, localizados em Tabuleiro Costeiros de Cruz das Almas, BA, em função do conteúdo de água pelo método do perfil instantâneo para as profundidades 0,20 a 0,90 m, obtidas pela curva de retenção com base nos potenciais mátricos registrados nos tensiômetros.

Essa inclinação, maior ou menor, deve ser entendida como a intensidade de variação da condutividade hidráulica, pela equação linear de ajuste, que ocorre quando se diminui ou aumenta em uma unidade o conteúdo de água no solo.

Por exemplo, para as profundidades que apresentaram comportamento oposto (0,70 e 0,40 m), a variação da condutividade hidráulica do solo com a redução de uma unidade no conteúdo de água (0,20 para 0,19  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) fica em torno de 45% e 77%, respectivamente.

Constatou-se que as curvas possuem um comportamento exponencial, ou seja, a relação entre o logaritmo natural da condutividade hidráulica ( $\ln K$ ) e a umidade volumétrica ( $\theta$ ) do solo gera uma equação do tipo linear apresentando para todas as profundidades um  $R^2$  acima de 0,99 (Tabela 7). Esse resultado corrobora com diversos outros trabalhos desenvolvidos em campo pelo método do perfil instantâneo (GUERRA, 2000; ANTONINO et al., 2001; CARVALHO, 2002; FONSÊCA et. al., 2007). Pode-se observar pelas equações de estimativa da condutividade hidráulica do solo não saturado que a maior e a menor condutividade hidráulica do solo, no tempo zero de redistribuição ( $K_0$ ), foram nas profundidades de 0,90 e 0,30 m, respectivamente.

**Tabela 7.** Equações para estimativa da condutividade hidráulica ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) do solo não saturado por profundidade, em Argissolo Amarelo Distrocoeso localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA.

Profundidade (m)	Equação	$R^2$
0,20	$K(\theta) = 192,2 \exp^{130,3 (\theta-0,222)}$	0,993
0,30	$K(\theta) = 75,40 \exp^{136,3 (\theta-0,224)}$	0,994
0,40	$K(\theta) = 170,0 \exp^{149,1 (\theta-0,224)}$	0,994
0,50	$K(\theta) = 189,1 \exp^{108,4 (\theta-0,248)}$	0,998
0,60	$K(\theta) = 205,0 \exp^{100,9 (\theta-0,263)}$	0,992
0,70	$K(\theta) = 191,30 \exp^{60,2 (\theta-0,305)}$	0,997
0,80	$K(\theta) = 144,9 \exp^{107,0 (\theta-0,273)}$	0,994
0,90	$K(\theta) = 319,5 \exp^{142,4 (\theta-0,269)}$	0,996

A análise descritiva básica dos dados de condutividade hidráulica do Argissolo Amarelo Distrocoeso em função do tempo de redistribuição mostrou que

os maiores valores de máximo, mínimo e amplitude encontrados foram para as maiores profundidades (0,70, 0,80 e 0,90 m), devido, possivelmente, ao maior volume de água acumulado nessas camadas, o que também está relacionado à sua maior microporosidade (Tabela 8). A classe do coeficiente de variação da condutividade hidráulica para todas as profundidades, em função do tempo, foi considerada como alta ( $CV > 62\%$ ) (Warrick e Nielsen, 1980).

**Tabela 8.** Estatística descritiva para a condutividade hidráulica ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) em função do tempo por profundidade, em um Argissolo Amarelo Distrocoeso.

Profundidade (m)	Média	Máximo	Mínimo	Amplitude	C.V. (%)
0,20	18,96	136,05	0,02	136,03	163,09
0,30	9,24	52,35	0,03	52,32	145,75
0,40	21,82	128,86	0,07	128,79	148,81
0,50	24,80	156,09	0,09	156,00	161,12
0,60	28,67	170,99	0,09	170,90	159,58
0,70	30,33	195,39	0,26	195,13	163,13
0,80	24,99	192,49	0,19	192,30	178,72
0,90	46,23	297,44	0,17	297,27	159,26

Para Libardi (1999), as grandes diferenças ocorridas na determinação das funções de  $K(\theta)$  se devem à alta variabilidade dos valores de condutividade hidráulica saturada obtidos com o método do perfil instantâneo e às diferentes umidades no ponto de saturação. Considerando todas as profundidades, o maior CV encontrado foi para  $K_0$ , classificado como médio ( $12\% < CV < 62\%$ ), segundo Warrick e Nielsen (1980). Já o parâmetro  $\gamma$  apresentou maior coeficiente de variação que a  $\theta_0$  (Tabela 9).

**Tabela 9.** Média, desvio-padrão e coeficiente de variação dos parâmetros das equações que relacionam a condutividade hidráulica com a umidade do Argissolo Amarelo Distrocoeso localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA.

Parâmetros	Média	Desvio Padrão	C.V. (%)
$\gamma$ (gama)	116,8	29,0	24,8
$K_0$ ( $\text{mm dia}^{-1}$ )	185,9	68,1	36,6
$\theta_0$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	0,253	0,03	11,71

Avaliando a condutividade hidráulica não saturada, pelo método do perfil instantâneo, em Latossolo Amarelo Álico coeso do Recôncavo da Bahia, Costa (1993), concluiu que o horizonte coeso ( $Bw_1$ ) se apresentou como forte impedimento à livre movimentação de água no perfil de solo. Fonsêca et al. (2007), objetivando utilizar valores da condutividade hidráulica, dentre outros parâmetros, na identificação de horizontes coesos em um Argissolo Amarelo Distrófico dos Tabuleiros Costeiros do Platô de Neópolis, Estado de Sergipe, observaram que os menores valores foram encontrados nas camadas de 0,20-0,40 m e 1,00-1,20 m, referindo-os como condições indicativas da presença do caráter coeso do solo nesses intervalos de profundidade.

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho é possível constatar as modificações que ocorrem na dinâmica da água no solo, indicadas pelas reduções nos valores de  $K_0$ , e que devem ocorrer em todos os outros solos que possuem a mesma condição, ou seja, o caráter coeso.

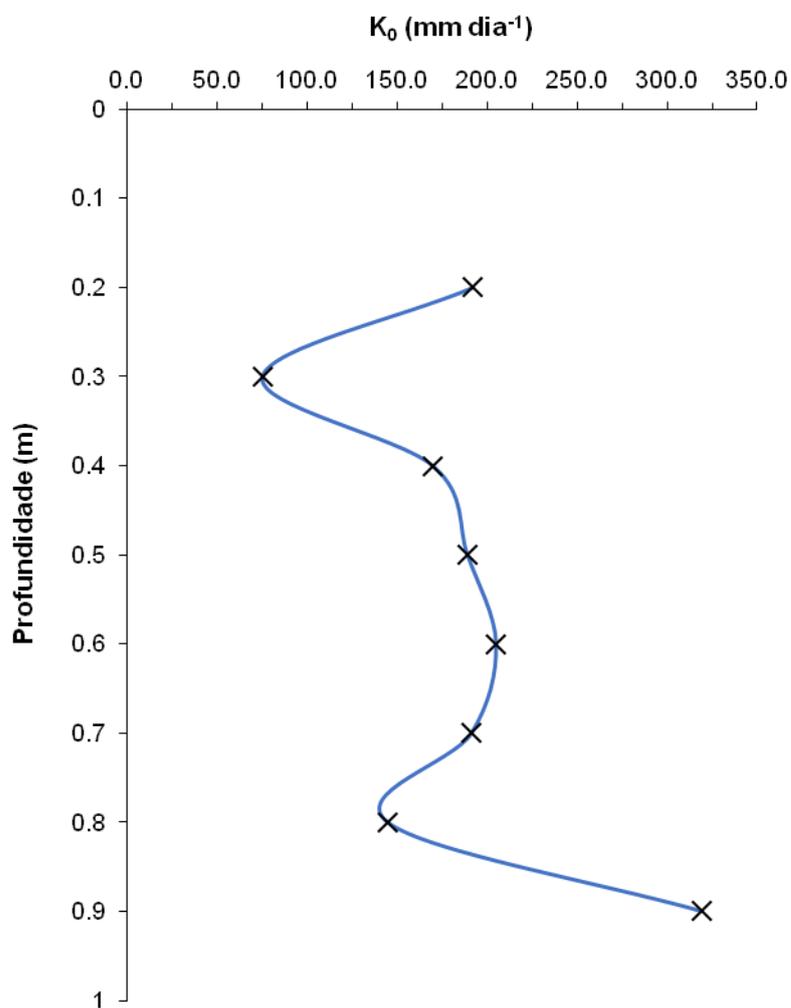
Assim, verifica-se a importância de trabalhos realizados em outros tipos de solos coesos, que podem fornecer informações de alta relevância para o manejo dos recursos água e solo.

A figura 10 demonstra o comportamento do parâmetro  $K_0$  ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) no perfil do solo, onde está evidenciada a redução do seu valor nas profundidades de 0,30 e 0,80 m. Esse resultado, observado na profundidade 0,30 m, não pode ser associado aos atributos físicos (Tabela 2) determinados para o horizonte no qual se encontra essa profundidade (BA); porém, provavelmente, essa redução é manifestada pelo caráter coeso existente nos solos dos Tabuleiros Costeiros. Já a profundidade 0,80 m (horizonte  $Bt_1$ ) manifesta esse comportamento possivelmente devido à redução da PT, com a quantidade de microporos superando a de macroporos; porém, esse fato não é demonstrado nas outras profundidades as quais também pertencem ao mesmo horizonte.

Uma das desvantagens apresentada pelo método do perfil instantâneo reside no fato de que a umidade obtida no tempo zero muitas vezes é menor que o conteúdo de água na saturação ( $\theta_s$ ), determinada com amostras com estrutura indeformada, em laboratório. Dessa forma, o parâmetro  $K_0$  obtido não pode ter a interpretação física da condutividade hidráulica saturada e, assim, a equação  $K(\theta) = K_0 \cdot \exp^{\gamma(\theta - \theta_0)}$  fica limitada a ser utilizada apenas no intervalo de umidade na qual foi obtida (Ghiberto e Moraes, 2011). Essa situação é verificada no presente trabalho, o

qual apresentou valores de umidade no tempo zero de redistribuição inferiores aos da  $\theta_s$ .

Esse comportamento, no entanto, é comum, uma vez que, no laboratório, consegue-se 100 % de saturação, devido às condições de contorno. Por outro lado, no campo é mais realístico, pelo que há uma tendência em se utilizar medidas feitas no campo.



**Figura 10.** Comportamento da  $K_0$  (mm dia<sup>-1</sup>) em profundidade para um Argissolo Amarelo Distrocoeso sob pastagem localizado em Tabuleiro Costeiro de Cruz das Almas, BA, determinada pelo método do perfil instantâneo.

## 5. CONCLUSÕES

i. A condutividade hidráulica saturada foi menor nas profundidades de 0,30 e 0,80 m do Argissolo Amarelo Distrocoeso avaliado.

ii. A existência de camadas adensadas nas profundidades de 0,30 e 0,80 m, típicas de solos de Tabuleiros Costeiros, retardou a condução e movimentação de água no solo.

iii. A determinação da condutividade hidráulica não saturada pelo método do perfil instantâneo permitiu avaliar as diferenças e possíveis alterações que ocorrem na estrutura do perfil do solo.

iv. O método do perfil instantâneo a campo não permitiu avaliar corretamente a função  $K(\theta)$  para umidades do solo próximas à saturação, já que o processo de drenagem interna da água no solo ocorreu rapidamente.

v. A declividade da curva de  $\ln K$  versus  $\theta$  foi menor na profundidade de 0,70 m, indicando menor diminuição de  $K$  com a redução de  $\theta$ . Em escala crescente situaram-se as profundidades de 0,60, 0,80, 0,50, 0,20, 0,30, 0,90 e 0,40, esta última apresentando a maior diminuição de  $K$  com a redução de  $\theta$ .

## 6. REFERÊNCIAS

ALAGNA, V. et al. The impact of the age of vines on soil hydraulic conductivity in vineyards in Eastern Spain. **Water**, v.10, p.1-11, 2017.

AMARAL FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do Solo: Conceitos e aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008. 290p.

ANTONINO, A. C. D. et al. Determinação da condutividade hidráulica e da sorvidade de um solo com infiltrômetro a disco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p.247-253, ago. 2001.

BACCHI, O. O. S.; CORRENTE, J. E.; REICHARDT, K. Análise comparativa de dois métodos simplificados de determinação da condutividade hidráulica de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.249-252, 1991.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil physics**. 4.ed. New York: Wiley, 1972. 529p.

BEUTLER, A. N. et al. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.829-834, 2002.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis – physical and mineralogical methods**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. Part 1, p.363-375.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 704p.

BRITO, A. dos S. et al. Variação diurno-noturna do potencial mátrico e gradiente de potencial total da água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.128-134, fev. 2014.

BRITO, A. dos S. **Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da permeabilidade ao ar em função dos conteúdos de água e ar no solo**. 144f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2010.

BRITO, A. S., LIBARDI, P. L.; GHIBERTO, P. J. Water balance components in soils cropped to sugarcane, with and without nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.295-303, 2009.

BUCKINGHAM, E. **Studies on the movement of soil moisture**. Washington: U.S.D.A. Bureau of soils. 1907. 61p.

CADIMA, A. Z.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica em um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, no campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.4, p.63-66, 1980.

CARVALHO, L. A. de et al. Caracterização hidráulica de um Latossolo Vermelho associada à caracterização pedológica do perfil. **Ciência Rural**, v.37, p.1008-1013, 2007.

CARVALHO, L. A. de. **Condutividade hidráulica do solo no campo: simplificações do método do perfil instantâneo**. 89p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2002.

CINTRA, F. L. D. **Disponibilidade de água no solo para porta-enxerto de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro**. 90 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 1997.

CINTRA, F. L. D; LIBARDI, P. L.; MORAES, S. O; MARCIANO, C. R. **Condutividade hidráulica de solo coeso dos Tabuleiros Costeiros cultivado com citros**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 16 p. (Embrapa-CPATC. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 22).

CORRÊA, M. M. et al. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.297-313, 2008.

COSTA, M. A. P. de C. **Condução e retenção de água em Latossolo Amarelo Álico coeso do Recôncavo baiano**. 1993. 121 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Bahia, Escola de Agronomia, Cruz das Almas, BA, 1993.

DIRKSEN, C. Unsaturated hydraulic conductivity. IN: SMITH, K. A.; MULLINS, C. E. **Soil analysis: physical methods**. New York: Marcel Dekker, 1991. p.209-269.

ELHAKEEM, M. et al. Understanding saturated hydraulic conductivity under seasonal changes in climate and land use. **Geoderma**, v.315, p.75-87, 2018.

ELLIES, A.; GREZ, R.; RAMIRES, C. G. La conductividad hidraulica en fase saturada como herramienta para el diagnostico de la estructura del suelo. **Agro Sur**, v.25, p.51- 56, 1997.

FERNANDES, M. A. **Condutividade hidráulica não saturada de um solo arenoso: Aplicação do infiltrômetro de disco**. 161f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2011.

FERREIRA, S. T. **Avaliação da relação entre a condutividade hidráulica do solo saturado com parâmetros físicos de um Latossolo Vermelho Distrófico submetido a dois diferentes manejos**. 101f. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2008.

FILIZOLA, H. F. et al. Os fragipãs e duripãs das depressões dos tabuleiros costeiros do nordeste brasileiro: uma proposta de evolução. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.947-963, 2001.

FONSÊCA, M. H. P.; GUERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D.; BARRETO, A. N. Uso de propriedades físico-hídricas do solo na identificação de camadas adensadas nos Tabuleiros Costeiros, Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.368-373, 2007.

GEE, G. W.; OR, D. Particle size analysis. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis: Part 4: physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p.255-294. (SSSA Book Series, 5).

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

GOHARDOUST, M. R. et al. Hydraulic conductivity of stratified unsaturated soils: Effects of random variability and layering. **Journal of Hydrology**, v.546, p.81-89, 2017.

GONÇALVES, A. D. M. de A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1174-1184, 2013.

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. The solid phase: 2.2. Particle density. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part 4. Physical methods. Madison: SSSA, 2002. ch.2, p.229-240. (Book Series, 5).

GUERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D. de; BARROS JUNIOR, G. Condutividade hidráulica não saturada de um fragipânico coeso determinada pelo método do perfil instantâneo. **Principia**, n.14, p.48-55, 2006.

HARUNA, S. I. et al. Soil hydraulic properties: Influence of tillage and cover crops. **Pedosphere**, v.28, p.430-442, 2018.

HILLEL D. **Introduction to environmental soil physics**. New York: Academic Press, 2003. 494 p.

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

HOREL, A. et al. Effects of land use and management on soil hydraulic properties. **De Gruyter – Open Geosciences**, v.7, p.742-754, 2015.

IBRAHIM, M. M.; ALIYU, J. Comparison of methods for saturated hydraulic conductivity determination: field, laboratory and empirical measurements. **British Journal of Applied Science & Technology**, v.15, p.1-8, 2016.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Dados meteorológicos do município de Cruz das Almas – Bahia. Estações e Dados**. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg\\_dspDadosCodigo\\_sim.php?QTQwNg==](http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTQwNg==)>.

Acesso em: 20 de jun. de 2018.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos tabuleiros costeiros, In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996, **Anais...** Aracaju: Embrapa-CPATC; Embrapa-CNPMF; AGRUFBA/IGUFBA, 1996. 80p,

JANDEL SCIENTIFIC. **User's manual**. California: 1991. 280p.

JONG van LIER, Q.; 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 Ciência do Solo**, v.23, p.1005-1014, 1999.

KLUTE, A.; DIRKSEN, C. H. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. Cap.28, p.687-732.

KOOREVAAR, P.; MENELIK, G.; DIRKSEN, C. 1983. Elements of soil physics. New York: Elsevier, 1983. 228p. (Developments in Soil Science, 13).

LIBARDI, P.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D. P.; BIGGAR, J. W. Simple field methods for estimating soil hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, vol.44, p.3-7, 1980.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo, EDUSP, 2018. 329p.

LIMA NETO, J. de A. et al. Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do estado de alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1001-1011, 2009.

LIRA, R. de A. et al. Uso agrícola e atributos físico-hídricos de solo coeso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, p.2277-2289, 2016.

LLANILLO, R. F. et al. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v.27, p.205-220, 2006.

LUCENA, C. C. de; CARVALHO, J. E. B. de; XAVIER, F. A. da S. **Manejo de coberturas vegetais em pomares de citros nos Tabuleiros Costeiros**. Cruz das Almas, BA: Embrapa, 2017. 48p.

LUCIANO, R. V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; KURTZ, C.; FAYAD, J. A. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.9, p.9-19, 2010.

MELO FILHO, J. F. **Variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica em função da umidade de um Latossolo sob condições de campo**.

145f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 2002.

MESQUITA, M. da G. B. de F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v.34, p.963-969, 2004.

MOREIRA, N. B. et al. Análise espaço-temporal de componentes do balanço hídrico em um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.60-72, 2014.

MORETI, D. et al. Condutividade hidráulica e resistência à penetração do solo influenciada por diferentes sistemas de manejo. **Cadernos do Laboratório Geológico de Lage**, v.3, p.29-42, 2006.

OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.197-200, 1968.

PAIVA, A. Q.; SOUZA, L. S.; RIBEIRO, A. C.; COSTA, L. M. Propriedades físico-hídricas de solos de uma toposseqüência de tabuleiro do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.2295-2302, 2000.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, p.211-216, 1988.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Redistribuição da água no solo. In: REICHARDT, K.; TIMM, L. C. (Eds.). **Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. Barueri, Manole, 2012. p.269-291.

REZENDE, J. de O. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI, SPA, 2000. 117p. (Série Estudos Agrícolas).

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

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 531 p.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.91-95, 1986.

SOUZA, L. da S. Uso e manejo dos solos coesos do Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996. **Anais...** Aracaju: Embrapa-CPATC, 1996. p.36-75.

TEIXEIRA, C. F. A.; MORAES, S. O.; SIMONETE, M. A. Desempenho do tensiômetro, TDR e sonda de nêutrons na determinação da umidade e condutividade hidráulica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.161-168, 2005.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W, G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. Ed, rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573p.

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.

VERECKEN, H.; KASTEEL, R.; VANDERBORGHT, J.; HARTER, T. Upscaling Hydraulic properties and soil water flow processes in heterogeneous soils: A review. **Vadose Zone Journal**, v.6, p.1-28, 2007.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, p.20-45, 1980.

WATSON, K. K. An instantaneous profile method for determining the hydraulic conductivity of unsaturated porous materials. **Water Resources Research**, v.2, p.709-715, 1966.

**ANEXOS**

**ANEXO A.** Potencial matricial obtido pelos tensiômetros instalados no perfil instantâneo, para as profundidades de 0,1m a 1m, no tempo de redistribuição.

Tempo de redistribuição (h)	Potencial mátrico (cm de coluna de água)									
	Profundidades (m)									
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
1,0	-16,1	0,2	-2,4	-5,0	2,48	2,40	31,30	3,50	-5,4	-1,7
1,2	-28,7	-3,6	-18,8	-17,6	-10,1	-10,2	11,17	-9,1	-9,2	-3,0
1,3	-35,0	-18,7	-21,3	-21,4	-13,9	-15,2	6,10	-11,6	-15,5	-8,0
1,5	-35,0	-18,7	-21,3	-21,4	-13,9	-15,2	2,32	-15,4	-15,5	-9,3
1,7	-35,0	-21,2	-21,3	-21,4	-13,9	-16,5	-4,0	-15,4	-18,0	-13,0
1,8	-35,0	-21,2	-22,6	-22,6	-13,9	-17,8	-5,2	-19,2	-23,0	-14,3
2,0	-35,0	-21,2	-21,3	-22,6	-13,9	-17,8	-5,2	-19,2	-23,0	-14,3
2,2	-35,0	-21,2	-21,3	-22,6	-15,2	-19,0	-11,5	-21,7	-25,6	-18,1
2,3	-35,0	-21,2	-22,6	-22,6	-15,2	-19,0	-11,5	-21,7	-26,8	-18,1
2,5	-35,0	-21,2	-22,6	-23,9	-15,2	-20,3	-10,3	-21,7	-26,8	-18,1
2,7	-35,0	-21,2	-22,6	-22,6	-13,9	-20,3	-11,5	-21,7	-29,3	-18,1
3,0	-35,0	-21,2	-22,6	-26,4	-17,7	-20,3	-12,8	-24,2	-29,3	-20,6
3,5	-38,8	-25,0	-26,3	-30,2	-20,2	-22,8	-16,6	-24,2	-29,3	-21,9
4,0	-38,8	-25,0	-27,6	-26,4	-17,7	-22,8	-17,8	-26,7	-29,3	-26,9
4,5	-35,0	-23,7	-26,3	-26,4	-17,7	-22,8	-15,3	-25,5	-30,6	-23,1
5,0	-36,3	-25,0	-27,6	-26,4	-17,7	-21,5	-12,8	-21,7	-30,6	-21,9
5,5	-40,0	-26,3	-27,6	-27,7	-20,2	-22,8	-17,8	-28,0	-35,6	-26,9
6,0	-40,0	-26,3	-27,6	-26,4	-20,2	-25,3	-22,9	-31,8	-38,2	-31,9
6,5	-40,0	-26,3	-27,6	-27,7	-21,5	-27,8	-30,4	-39,3	-43,2	-38,2
7,0	-38,8	-26,3	-27,6	-27,7	-21,5	-26,6	-29,2	-35,6	-43,2	-37,0
7,5	-38,8	-26,3	-27,6	-27,7	-21,5	-26,6	-27,9	-33,0	-40,7	-39,5
8,0	-37,5	-26,3	-27,6	-27,7	-21,5	-27,8	-27,9	-35,6	-43,2	-39,5
8,7	-38,8	-25,0	-27,6	-27,7	-21,5	-27,8	-30,4	-36,8	-45,7	-40,8
23,2	-42,6	-30,0	-32,6	-31,5	-26,5	-32,9	-30,4	-38,1	-50,8	-45,8
27,2	-41,3	-30,0	-33,9	-31,5	-26,5	-32,9	-30,4	-38,1	-47,0	-42,0
32,7	-45,1	-31,3	-33,9	-32,7	-29,0	-35,4	-44,3	-43,1	-55,8	-57,1
47,7	-46,3	-35,1	-37,7	-32,7	-31,5	-39,2	-46,8	-40,6	-53,3	-50,8
56,7	-45,1	-33,8	-37,7	-37,8	-34,1	-43,0	-49,3	-48,2	-65,9	-64,7
71,7	-46,3	-35,1	-41,5	-40,3	-35,3	-46,7	-43,0	-46,9	-58,3	-58,4
95,7	-48,9	-37,6	-44,0	-42,8	-39,1	-46,7	-48,1	-50,7	-63,4	-64,7
120,2	-52,6	-41,4	-47,8	-47,8	-41,6	-51,8	-50,6	-51,9	-64,6	-63,4
144,2	-52,6	-42,6	-51,5	-50,4	-45,4	-55,6	-54,4	-57,0	-67,1	-64,7
168,2	-60,2	-42,6	-56,6	-55,4	-51,7	-59,3	-56,9	-57,0	-74,7	-77,3
192,2	-57,7	-48,9	-57,8	-56,7	-49,2	-61,9	-60,7	-60,8	-68,4	-69,7
216,2	-58,9	-50,2	-57,8	-60,4	-51,7	-63,1	-58,2	-63,3	-70,9	-71,0
240,0	-60,2	-52,7	-62,9	-63,0	-58,0	-69,4	-65,7	-65,8	-74,7	-74,8
288,0	-61,5	-57,8	-66,7	-66,7	-64,3	-73,2	-74,5	-70,8	-79,7	-78,6
312,0	-65,2	-60,3	-71,7	-71,8	-69,3	-78,2	-77,1	-74,6	-87,3	-87,4
336,0	-67,8	-65,3	-73,0	-73,0	-70,6	-79,5	-78,3	-75,9	-87,3	-87,4
360,0	-69,0	-66,6	-73,0	-74,3	-69,3	-80,8	-80,8	-75,9	-83,5	-77,3
384,0	-67,8	-64,1	-75,5	-74,3	-70,6	-82,0	-83,4	-78,4	-86,0	-81,1
408,0	-74,1	-72,9	-80,5	-80,6	-79,4	-88,3	-87,1	-82,2	-92,3	-88,6
456,0	-74,1	-71,6	-83,0	-84,4	-79,4	-89,6	-89,7	-84,7	-92,3	-87,4
480,0	-75,3	-75,4	-88,1	-88,2	-87,0	-92,1	-90,9	-84,7	-94,9	-93,7
504,0	-76,6	-76,7	-86,8	-88,2	-85,7	-93,4	-93,4	-88,5	-93,6	-91,2
528,0	-76,6	-76,7	-89,3	-89,4	-88,2	-97,1	-94,7	-89,7	-96,1	-92,4
552,0	-80,4	-77,9	-94,4	-91,9	-92,0	-98,4	-94,7	-89,7	-99,9	-96,2
576,0	-80,4	-77,9	-93,1	-112,1	-107,1	-107,2	-102,3	-96,0	-98,6	-94,9
600,0	-80,4	-81,7	-94,4	-95,7	-104,6	-99,7	-99,7	-94,8	-98,6	-94,9
624,0	-91,7	-103,1	-107,0	-108,3	-105,9	-109,7	-103,5	-101,1	-111,2	-111,3
648,0	-89,2	-99,3	-104,5	-107,1	-102,1	-106,0	-104,8	-98,6	-107,5	-105,0
672,0	-76,6	-66,6	-88,1	-90,7	-85,7	-99,7	-102,3	-92,3	-91,1	-79,8
696,0	-91,7	-90,5	-103,2	-105,8	-102,1	-107,2	-107,3	-98,6	-102,4	-101,2
720,0	-94,2	-105,6	-110,8	-112,1	-109,7	-112,3	-108,6	-107,4	-112,5	-116,4

**ANEXO B.** Potencial total da água no solo ( $\phi_t$ ) determinados em função do tempo, nas profundidades de 0,1 a 1m

Tempo de redistribuição (h)	Potencial total (cm de coluna de água)									
	Profundidades (m)									
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
1,0	-26,1	-20,0	-32,4	-45,0	-50,0	-60,0	-70,0	-80,0	-95,4	-101,7
1,2	-38,7	-23,6	-48,8	-57,6	-60,1	-70,2	-70,0	-89,1	-99,2	-103,0
1,3	-45,0	-38,7	-51,3	-61,4	-63,9	-75,2	-70,0	-91,6	-105,5	-108,0
1,5	-45,0	-38,7	-51,3	-61,4	-63,9	-75,2	-70,0	-95,4	-105,5	-109,3
1,7	-45,0	-41,2	-51,3	-61,4	-63,9	-76,5	-74,0	-95,4	-108,0	-113,0
1,8	-45,0	-41,2	-52,6	-62,6	-63,9	-77,8	-75,2	-99,2	-113,0	-114,3
2,0	-45,0	-41,2	-51,3	-62,6	-63,9	-77,8	-75,2	-99,2	-113,0	-114,3
2,2	-45,0	-41,2	-51,3	-62,6	-65,2	-79,0	-81,5	-101,7	-115,6	-118,1
2,3	-45,0	-41,2	-52,6	-62,6	-65,2	-79,0	-81,5	-101,7	-116,8	-118,1
2,5	-45,0	-41,2	-52,6	-63,9	-65,2	-80,3	-80,3	-101,7	-116,8	-118,1
2,7	-45,0	-41,2	-52,6	-62,6	-63,9	-80,3	-81,5	-101,7	-119,3	-118,1
3,0	-45,0	-41,2	-52,6	-66,4	-67,7	-80,3	-82,8	-104,2	-119,3	-120,6
3,5	-48,8	-45,0	-56,3	-70,2	-70,2	-82,8	-86,6	-104,2	-119,3	-121,9
4,0	-48,8	-45,0	-57,6	-66,4	-67,7	-82,8	-87,8	-106,7	-119,3	-126,9
4,5	-45,0	-43,7	-56,3	-66,4	-67,7	-82,8	-85,3	-105,5	-120,6	-123,1
5,0	-46,3	-45,0	-57,6	-66,4	-67,7	-81,5	-82,8	-101,7	-120,6	-121,9
5,5	-50,0	-46,3	-57,6	-67,7	-70,2	-82,8	-87,8	-108,0	-125,6	-126,9
6,0	-50,0	-46,3	-57,6	-66,4	-70,2	-85,3	-92,9	-111,8	-128,2	-131,9
6,5	-50,0	-46,3	-57,6	-67,7	-71,5	-87,8	-100,4	-119,3	-133,2	-138,2
7,0	-48,8	-46,3	-57,6	-67,7	-71,5	-86,6	-99,2	-115,6	-133,2	-137,0
7,5	-48,8	-46,3	-57,6	-67,7	-71,5	-86,6	-97,9	-113,0	-130,7	-139,5
8,0	-47,5	-46,3	-57,6	-67,7	-71,5	-87,8	-97,9	-115,6	-133,2	-139,5
8,7	-48,8	-45,0	-57,6	-67,7	-71,5	-87,8	-100,4	-116,8	-135,7	-140,8
23,2	-52,6	-50,0	-62,6	-71,5	-76,5	-92,9	-100,4	-118,1	-140,8	-145,8
27,2	-51,3	-50,0	-63,9	-71,5	-76,5	-92,9	-100,4	-118,1	-137,0	-142,0
32,7	-55,1	-51,3	-63,9	-72,7	-79,0	-95,4	-114,3	-123,1	-145,8	-157,1
47,7	-56,3	-55,1	-67,7	-72,7	-81,5	-99,2	-116,8	-120,6	-143,3	-150,8
56,7	-55,1	-53,8	-67,7	-77,8	-84,1	-103,0	-119,3	-128,2	-155,9	-164,7
71,7	-56,3	-55,1	-71,5	-80,3	-85,3	-106,7	-113,0	-126,9	-148,3	-158,4
95,7	-58,9	-57,6	-74,0	-82,8	-89,1	-106,7	-118,1	-130,7	-153,4	-164,7
120,2	-62,6	-61,4	-77,8	-87,8	-91,6	-111,8	-120,6	-131,9	-154,6	-163,4
144,2	-62,6	-62,6	-81,5	-90,4	-95,4	-115,6	-124,4	-137,0	-157,1	-164,7
168,2	-70,2	-62,6	-86,6	-95,4	-101,7	-119,3	-126,9	-137,0	-164,7	-177,3
192,2	-67,7	-68,9	-87,8	-96,7	-99,2	-121,9	-130,7	-140,8	-158,4	-169,7
216,2	-68,9	-70,2	-87,8	-100,4	-101,7	-123,1	-128,2	-143,3	-160,9	-171,0
240,0	-70,2	-72,7	-92,9	-103,0	-108,0	-129,4	-135,7	-145,8	-164,7	-174,8
288,0	-71,5	-77,8	-96,7	-106,7	-114,3	-133,2	-144,5	-150,8	-169,7	-178,6
312,0	-75,2	-80,3	-101,7	-111,8	-119,3	-138,2	-147,1	-154,6	-177,3	-187,4
336,0	-77,8	-85,3	-103,0	-113,0	-120,6	-139,5	-148,3	-155,9	-177,3	-187,4
360,0	-79,0	-86,6	-103,0	-114,3	-119,3	-140,8	-150,8	-155,9	-173,5	-177,3
384,0	-77,8	-84,1	-105,5	-114,3	-120,6	-142,0	-153,4	-158,4	-176,0	-181,1
408,0	-84,1	-92,9	-110,5	-120,6	-129,4	-148,3	-157,1	-162,2	-182,3	-188,6
456,0	-84,1	-91,6	-113,0	-124,4	-129,4	-149,6	-159,7	-164,7	-182,3	-187,4
480,0	-85,3	-95,4	-118,1	-128,2	-137,0	-152,1	-160,9	-164,7	-184,9	-193,7
504,0	-86,6	-96,7	-116,8	-128,2	-135,7	-153,4	-163,4	-168,5	-183,6	-191,2
528,0	-86,6	-96,7	-119,3	-129,4	-138,2	-157,1	-164,7	-169,7	-186,1	-192,4
552,0	-90,4	-97,9	-124,4	-131,9	-142,0	-158,4	-164,7	-169,7	-189,9	-196,2
576,0	-90,4	-97,9	-123,1	-152,1	-157,1	-167,2	-172,3	-176,0	-188,6	-194,9
600,0	-90,4	-101,7	-124,4	-135,7	-154,6	-159,7	-169,7	-174,8	-188,6	-194,9
624,0	-101,7	-123,1	-137,0	-148,3	-155,9	-169,7	-173,5	-181,1	-201,2	-211,3
648,0	-99,2	-119,3	-134,5	-147,1	-152,1	-166,0	-174,8	-178,6	-197,5	-205,0
672,0	-86,6	-86,6	-118,1	-130,7	-135,7	-159,7	-172,3	-172,3	-181,1	-179,8
696,0	-101,7	-110,5	-133,2	-145,8	-152,1	-167,2	-177,3	-178,6	-192,4	-201,2
720,0	-104,2	-125,6	-140,8	-152,1	-159,7	-172,3	-178,6	-187,4	-202,5	-216,4

**ANEXO C.** Gradiente de potencial total por profundidade, em função do tempo.

Tempo de redistribuição (h)	Gradiente de potencial total							
	Profundidades (m)							
	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
1,0	0,32	1,05	0,88	0,75	1,00	1,00	1,27	1,09
1,2	0,50	1,70	0,57	0,63	0,98	0,95	0,98	0,69
1,3	0,32	1,13	0,63	0,69	0,98	0,82	1,10	0,82
1,5	0,32	1,13	0,63	0,69	1,07	1,01	1,01	0,69
1,7	0,32	1,01	0,63	0,76	0,50	0,95	1,70	0,88
1,8	0,38	1,07	0,57	0,76	0,57	1,07	1,89	0,76
2,0	0,32	1,07	0,63	0,76	0,57	1,07	1,89	0,76
2,2	0,32	1,07	0,69	0,82	0,82	1,13	1,70	0,82
2,3	0,38	1,07	0,63	0,82	0,82	1,13	1,76	0,82
2,5	0,38	1,13	0,63	0,82	0,76	1,07	1,83	0,82
2,7	0,38	1,07	0,57	0,88	0,88	1,07	1,89	0,82
3,0	0,38	1,26	0,76	0,69	0,76	1,20	1,83	0,82
3,5	0,38	1,26	0,69	0,63	0,82	1,07	1,64	0,88
4,0	0,44	1,07	0,50	0,82	1,01	1,20	1,58	1,01
4,5	0,57	1,13	0,57	0,82	0,88	1,13	1,76	0,88
5,0	0,57	1,07	0,50	0,76	0,76	1,01	1,89	1,01
5,5	0,38	1,07	0,63	0,76	0,88	1,26	1,89	0,95
6,0	0,38	1,01	0,63	0,95	1,13	1,32	1,76	1,01
6,5	0,38	1,07	0,69	1,01	1,45	1,58	1,64	0,95
7,0	0,44	1,07	0,69	0,95	1,39	1,45	1,70	1,07
7,5	0,44	1,07	0,69	0,95	1,32	1,32	1,64	1,32
8,0	0,50	1,07	0,69	1,01	1,32	1,39	1,76	1,20
8,7	0,44	1,13	0,69	1,01	1,45	1,45	1,76	1,20
23,2	0,50	1,07	0,69	1,07	1,20	1,26	2,02	1,39
27,2	0,63	1,07	0,63	1,07	1,20	1,26	1,83	1,20
32,7	0,44	1,07	0,76	1,13	1,76	1,39	1,58	1,70
47,7	0,57	0,88	0,69	1,32	1,76	1,07	1,32	1,51
56,7	0,63	1,20	0,82	1,26	1,76	1,26	1,83	1,83
71,7	0,76	1,26	0,69	1,32	1,39	1,01	1,76	1,58
95,7	0,76	1,26	0,76	1,20	1,45	1,20	1,76	1,70
120,2	0,76	1,32	0,69	1,20	1,45	1,01	1,70	1,58
144,2	0,95	1,39	0,69	1,26	1,45	1,07	1,64	1,39
168,2	0,82	1,64	0,76	1,20	1,26	0,88	1,89	2,02
192,2	1,01	1,39	0,57	1,26	1,58	0,95	1,39	1,45
216,2	0,95	1,51	0,69	1,13	1,32	1,01	1,64	1,39
240,0	1,13	1,51	0,76	1,32	1,39	0,82	1,45	1,45
288,0	1,26	1,45	0,88	1,32	1,51	0,88	1,26	1,39
312,0	1,32	1,58	0,88	1,32	1,39	0,82	1,51	1,64
336,0	1,26	1,39	0,88	1,32	1,39	0,82	1,45	1,58
360,0	1,20	1,39	0,82	1,32	1,58	0,76	1,13	1,07
384,0	1,39	1,51	0,76	1,39	1,64	0,82	1,13	1,13
408,0	1,32	1,39	0,95	1,39	1,39	0,69	1,26	1,32
456,0	1,45	1,64	0,82	1,26	1,51	0,76	1,13	1,13
480,0	1,64	1,64	0,95	1,20	1,20	0,63	1,20	1,45
504,0	1,51	1,58	0,95	1,26	1,39	0,76	1,01	1,13
528,0	1,64	1,64	0,95	1,39	1,32	0,63	1,07	1,13
552,0	1,70	1,70	0,88	1,32	1,13	0,57	1,26	1,32
576,0	1,64	2,71	1,70	0,76	0,76	0,44	0,82	0,94
600,0	1,70	1,70	1,51	1,20	0,76	0,76	0,94	1,01
624,0	1,76	1,26	0,94	1,07	0,88	0,57	1,39	1,51
648,0	1,76	1,39	0,88	0,94	1,13	0,63	1,13	1,32
672,0	1,58	2,21	0,88	1,45	1,83	0,63	0,44	0,38
696,0	1,58	1,76	0,95	1,07	1,26	0,57	0,76	1,13
720,0	1,83	1,32	0,95	1,01	0,95	0,76	1,20	1,45
<b>Média</b>	<b>0,86</b>	<b>1,33</b>	<b>0,77</b>	<b>1,05</b>	<b>1,19</b>	<b>0,99</b>	<b>1,48</b>	<b>1,18</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,521</b>	<b>0,324</b>	<b>0,210</b>	<b>0,243</b>	<b>0,337</b>	<b>0,265</b>	<b>0,361</b>	<b>0,335</b>

