

## ANÁLISE DO DESEMPENHO DO MODELO DE KOSTIAKOV NA DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE BÁSICA DE INFILTRAÇÃO EM PLINTOSSOLO PÉTRICO CONCRECIONÁRIO

Divonzil Gonçalves Cordeiro<sup>1</sup>, Michele Ribeiro Ramos<sup>2</sup>, Alexandre Uhlmann<sup>3</sup>, Daniel Pettersen Custodio<sup>4</sup>, Talita Maia Freire<sup>5</sup>, Lorena Santos da Silva<sup>6</sup>

**RESUMO** – Ainda são poucas as informações sobre as características físico-hídricas dos solos do Tocantins, apesar de ser um dado fundamental para recomendações de manejo. Os testes de infiltração de água foram realizados em um solo Plintossolo Pétrico concrecionário, uma classe de solos amplamente utilizada para fins agrícolas, mas ainda muito pouco conhecida. Este levantamento foi realizado em uma área degradada do Plintossolo Pétrico, em uma fazenda pecuária localizada no município de Brejinho de Nazaré/TO. Os dados foram coletados em solos localizados em um sistema integrado com sorgo e espécies lenhosas nativas. Antigamente, essa área era uma pastagem degradada. Para a medição da condutividade hidráulica, foi utilizado um conjunto de anéis triplos concêntricos acoplados a um sistema de abastecimento de água semiautomático (protótipo desenvolvido pelos pesquisadores da Embrapa Pesca e Aquicultura). Os dados brutos de campo foram ajustados ao modelo de Kostiakov para estimar a taxa de infiltração básica, que variou de 3,0 a 5,8 cm.h<sup>-1</sup>.

Palavras chave: água do solo, plintossolo, taxa de infiltração da água do solo.

### **PERFORMANCE ANALYSIS OF THE KOSTIAKOV MODEL IN DETERMINING THE BASIC INFILTRATION SPEED IN PLINTOSSOLO PETRICO CONCRECIONARIO**

**ABSTRACT** - There is still little information on the physical-hydric characteristics of soils in the Tocantins, despite being an utmost information for management recommendations. Water infiltration tests were carried out on a Plintossolo Pétrico concrecionario, a widely used soil class for agriculture purposes, but still very little known. This survey was carried in a degraded area of Plintossolo Pétrico, on a cattle-raising farm located in Brejinho de Nazaré/TO. Data were taken from soils spotted within an integrated system with sorghum and native woody species. Formerly, this area was a degraded pasture. For measuring hydraulic conductivity, a set of concentric triple rings coupled with a semi-automatic water supply system (a prototype developed by the researchers at Embrapa Pesca e Aquicultura) was employed. The raw field data were adjusted to the Kostiakov model to estimate the basic Infiltration rate, which has varied from 3,0 to 5,8 cm.h<sup>-1</sup>.

*Keywords:* plintossolo, soil water, soil water infiltration rate.

<sup>1</sup> Pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura. Email [divonzil.cordeiro@embrapa.br](mailto:divonzil.cordeiro@embrapa.br)

<sup>2</sup> Professora na Universidade Estadual do Tocantins. Email [micheleribeiroramos2@gmail.com](mailto:micheleribeiroramos2@gmail.com)

<sup>3</sup> Pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura. Email: [alexandre.uhlmann@embrapa.br](mailto:alexandre.uhlmann@embrapa.br)

<sup>4</sup> Analista da Embrapa Pesca e Aquicultura. Email: [daniel.custodio@embrapa.br](mailto:daniel.custodio@embrapa.br)

<sup>5</sup> Mestranda em Agroenergia na Universidade Federal do Tocantins. Email: [talitamaiafreire@gmail.com](mailto:talitamaiafreire@gmail.com)

<sup>6</sup> Eng. Agrônoma na Universidade Estadual do Tocantins. Email: [lorennasantoscampos@gmail.com](mailto:lorennasantoscampos@gmail.com)



## INTRODUÇÃO

A infiltração é o processo de entrada da água através da superfície no solo e do seu movimento na subsuperfície. O conhecimento desse processo para as atividades agropecuárias é essencial para recomendações de procedimentos de manejo e conservação de solo e água. Estas informações são também importantes para o planejamento de sistemas de irrigação e cálculo das taxas de recarga de água subterrânea de escoamento superficial de chuva (Eilers, 2004).

Imediatamente após a aplicação de água ou da irrigação em um solo, a velocidade de infiltração é máxima, e diminui conforme as propriedades e condições do solo, até tornar-se constante. Assim, Bernardo et al. (2008) define a VIB – velocidade básica de infiltração, a partir do momento em que esta velocidade de infiltração é constante. A VIB é fundamental para recomendações de um manejo adequado da irrigação, subsidiando a escolha do melhor sistema de irrigação, e dos quantitativos de água ideais a serem suportados pelo solo para as diferentes culturas.

O processo de infiltração de água no solo em áreas nativas já é bastante complexo, e pode variar quantitativamente e qualitativamente de acordo com as características intrínsecas do solo tanto físicas quanto químicas, da vegetação e do regime pluviométrico (Silva, 2012). Dentre estas características destacam-se a textura, a estrutura, teor de matéria orgânica, densidade e teor de umidade do solo.

A textura do solo é uma característica pouco variável no tempo e pouco afetada pelo manejo (Reinert et al., 2001), assim, as modificações físicas do solo são associadas à sua estrutura. Ambas as características influenciam expressivamente a movimentação de água no solo, uma vez que determinam a quantidade de macroporos presentes em seu perfil, que por sua vez são extremamente importantes na condutividade hidráulica do solo. Além disso, a continuidade desses poros interfere significativamente no processo de infiltração (Fiorin, 2008).

A densidade do solo é um parâmetro que indica o nível de compactação do solo, e é muito utilizado nas avaliações do estado estrutural dos solos (Scapini, 1998). O aumento da densidade diminui a infiltração de água no solo, e os valores críticos dessa propriedade variam de acordo com a classe textural do solo indicando os limites críticos no seu manejo (Panachuki et al., 2011).

De acordo com Reicherdt et al. (2003), as ações antrópicas provocam alterações muito significativas nas características do solo, e na maioria das vezes ocorre uma

degradação destas propriedades quando da sua utilização nas atividades agrossilvopastoris, principalmente nos atributos relacionado à agregação e à compactação. Elevados valores de densidade do solo e reduzidos valores de macroporosidade em solos sob plantio direto sugerem que a infiltração neste sistema seja menor que em solos com preparo convencional, onde a superfície normalmente é menos compactada.

O manejo do solo afeta a capacidade de infiltração à medida que interfere em algumas propriedades do solo e nas condições de superfície e fatores naturais (Pinheiro et al., 2009), como a temperatura da água, a carga hidráulica, o nível de compactação do solo e a cobertura vegetal. Barreto et al. (2018), realizaram estudos em solos no oeste da Bahia, concluindo que os valores da VIB apresentaram diferença significativa na comparação entre solos compactados e solos submetidos ao processo de aração, no entanto os resultados para infiltração acumulada não apresentaram diferença significativa.

Em áreas nativas Pinheiro et al. (2009) observaram maior complexidade no processo e a estabilização da infiltração da água ocorreu em torno de 60 min. enquanto para outros sistemas como: cultivo convencional, direto e pastagem, a estabilização iniciou com 30 min. No caso das áreas antropizadas, outros fatores se somam, sistema de manejo utilizado, culturas implantadas, tempo de utilização, histórico da utilização de máquinas e implementos entre outros.

Além desses fatores, o movimento de água no solo é influenciado pelas forças de pressão e gravitacional (Brito et al., 2014)

A taxa de infiltração de água o solo é considerado um bom indicativo da qualidade física do solo (Bertol et al., 2000). Quando as taxas de infiltração se apresentam em níveis muito reduzidos, ocorre um aumento dos riscos de erosão, de déficit hídrico e nutricional nas plantas, fazendo com que as raízes se desenvolvam superficialmente, reduzindo a produtividade (Moraes et al., 1995).

Para se determinar a capacidade de infiltração de água no solo, foram definidos diversos métodos, como, o do infiltrômetro de anel, os simuladores de chuva ou infiltrômetro de aspersão, o método do balanço volumétrico, o método foi infiltrômetro de sulcos, entre outros. Dentre estes métodos, o mais indicado por representar melhor as condições das chuvas naturais é o do simulador de chuvas ou infiltrômetro de aspersão (Costa et al., 1999). No entanto, as dificuldades operacionais para sua utilização em campo tem sido a razão da sua pouca utilização. Ainda, de acordo com o Angelotti Neto & Fernandes (2005), apesar de ser

muito empregado o método dos anéis concêntricos, pode possibilitar diversos erros originários a partir da instalação dos equipamentos. Mesmo assim, é um dos métodos mais simples e de menor custo entre os acima citados.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o ajuste do modelo matemático proposto por Kostiakov para a velocidade de infiltração de água no solo com os dados de campo obtidos através do sistema de anéis concêntricos proposto por Bernardo et al. (2008) adaptado para um conjunto denominado Sistema de Tríplexes Anéis Concêntricos Semiautomatizados em solo Plintossolo

Pétrico concrecionário em área de pastagem degradada em fase de recuperação no Projeto Campo Sustentável.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

O trabalho foi conduzido na área de agricultura da Fazenda Guará, localizada no município de Brejinho de Nazaré/TO, região sul do estado, coordenadas UTM 22L 0752262 S e 876408 5 W, conforme figura 1 abaixo.

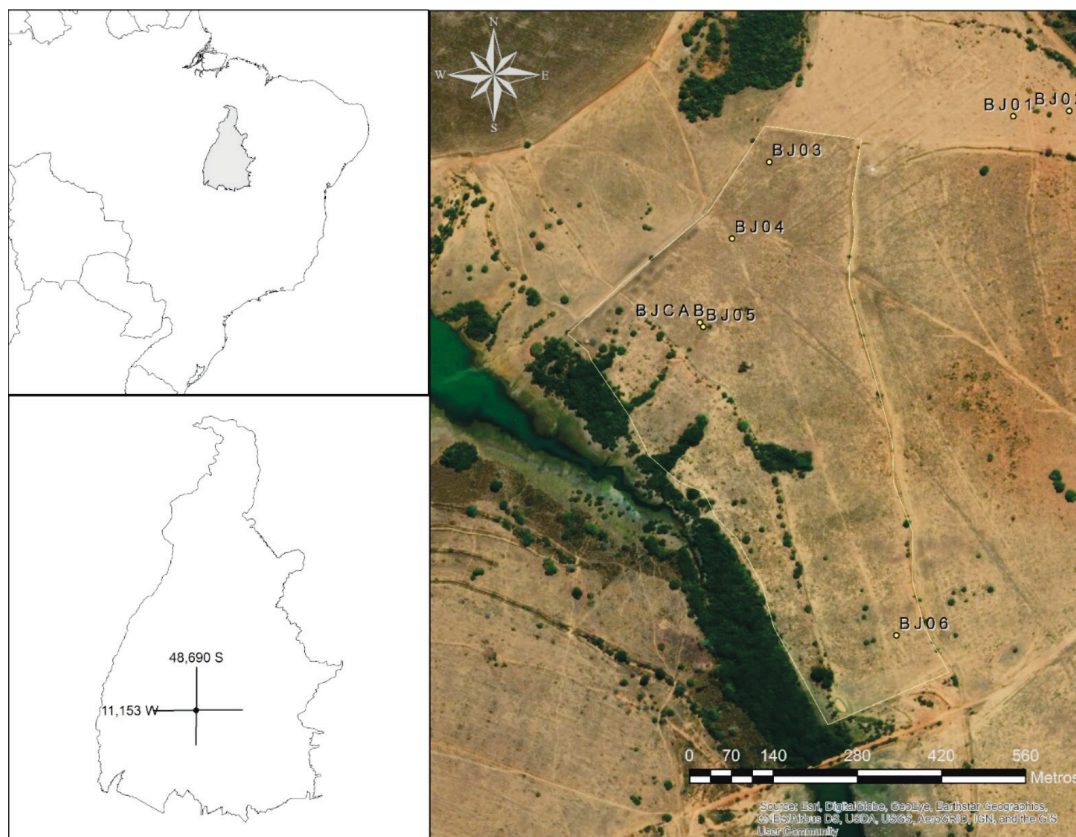


Figura 1. Localização da área de estudo em Plintossolo Pétrico concrecionário no município de Brejinho de Nazaré/TO.

O clima é o tropical, caracterizado por chuvas no verão, e inverno seco, cuja classificação é do tipo Aw segundo Köppen, e a precipitação média da região é de aproximadamente 1300 mm. O solo foi classificado como Plintossolo Pétrico concrecionário textura franco arenosa (SIBCS, 2018).

A área objeto dos ensaios, foi inserida num programa de recuperação de áreas degradadas denominado

Projeto Campo Sustentável, que havia sido utilizada por alguns anos como pastagem, e estava em processo avançado de degradação. A área foi preparada de acordo com o protocolo previsto no referido projeto, recebendo ações de aração, gradagem, correção do solo e adubação, além da abertura de covas para o plantio das mudas. Para o reflorestamento foram utilizadas mudas de espécies nativas e outras de grande importância econômica como o



mogno, além do cultivo do sorgo forrageiro (silagem) para complementação da alimentação dos animais. Os ensaios foram realizados 60 dias após o plantio das mudas.

#### *Equipamento utilizado*

Para a coleta de dados foram instalados os três pares de anéis concêntricos distantes aproximadamente 20 metros um do outro. Os anéis foram confeccionados em ferro fundido, com diâmetro de 30 e 50 cm, altura de 30 cm e com um dos lados em bisel. Antes da fixação, a área foi umedecida rapidamente, de modo a evitar o trincamento do solo na fase de inserção dos anéis. Em seguida foram instalados todos os acessórios para abastecimento automático de água em cada um dos anéis, como mangueiras, boias, engates rápidos e registros, que foram conectados aos respectivos tubos de abastecimento, centralizados em local apropriado na área de estudo. Todo o sistema foi checado para detecção e eliminação de possíveis vazamentos. As boias foram reguladas para definição de uma carga hidráulica padrão de 10 cm. Os anéis internos foram revestidos com manta plástica para evitar a infiltração antes do tempo determinado. Em seguida o sistema foi aberto para enchimento dos anéis internos até a estabilização da boia instalada. Em seguida os tubos de abastecimento dos anéis internos foram preenchidos até a marca inicial para as futuras medições.

No início da avaliação do processo de infiltração, os anéis internos receberam uma quantidade inicial de água, balde de 20 litros aplicado manualmente, para evitar a infiltração lateral. Na sequência o abastecimento foi realizado automaticamente também nestes anéis, a partir de outro tanque reservatório preparado para esta finalidade. No início da avaliação o plástico interno foi retirado, ao mesmo tempo em que o anel externo recebia 20 litros d'água, para início das medições. Devido às altas temperaturas que ocorrem na região, os anéis foram recobertos com mantas plásticas, de modo a minimizar os efeitos da evaporação nas medições a serem realizadas.

A coleta de dados foi realizada através de fita medidora nos tubos de abastecimento, nos intervalos de 1, 2, 3, 5, 10, 15 e 30 minutos com 3 repetições para cada um dos tempos até o intervalo de 30 minutos, a partir do qual as medições foram efetuadas sempre a cada 30 minutos. Considerou-se estabilidade o momento em houve a repetição de 2 valores iguais na taxa de infiltração.

#### *Modelo matemático utilizado*

O modelo escolhido foi proposto por Kostikov, descrito por PREVEDELLO (1996), para cálculo da

infiltração acumulada e velocidade de infiltração, onde os parâmetros utilizados não têm significado físico próprio, e, são avaliados a partir de dados experimentais, e foram representados pela equação exponencial a seguir:

$$I = k \cdot T^n \quad (1)$$

onde:

I = lâmina infiltrada no tempo (cm);

T = tempo;

k = constante dependente do solo

n = constante dependente do solo variando de 0 a 1

A partir da derivação da Equação 1, obteve-se a equação 2 que define a velocidade de infiltração (VI):

$$VI = 60 \cdot k \cdot n \cdot T^{n-1} \quad (2)$$

onde:

VI = taxa de infiltração da água no solo (cm.h<sup>-1</sup>);

T = tempo (min);

K = constante dependente do solo

n = constante dependente do solo variando de 0 a 1

Este modelo é limitado à situação em que há disponibilidade de dados de infiltração observados para a determinação dos parâmetros k e n, pois os mesmos são calculados com base nos dados experimentais coletados em campo. Para determinação dos coeficientes e expoentes das equações potenciais, utilizou-se o método de regressão linear, aplicando-se os logaritmos nos dois lados da equação potencial, que resultou na Equação 3:

$$\text{Log } I = \log a + \log t \quad (3)$$

A equação (3) foi transformada em uma equação linear (4) como apresentada abaixo:

$$I = A + Bn \quad (4)$$

na qual o n está definido pela equação (5),

$$n = [\sum xy - ((\sum x \cdot \sum y) / N)] / [\sum x^2 - ((\sum x)^2 / N)] \quad (5)$$

onde o N representa o número de leituras efetuadas.

Assim, a equação (6) final pode ser definida como:

$$A = Y - B.X \quad (6)$$

As equações resultantes não podem ser aplicadas a outros tipos de solo e condições diferentes daquelas que originaram os dados experimentais. Apesar de estritamente empírico, para a maior parte dos intervalos de tempo



de interesse para a irrigação, esta equação representa adequadamente o processo de infiltração da água no solo estudado (HILLEL, 1980).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos com os ensaios de campo e os valores calculados com base no modelo proposto por Kostiakov, para a velocidade inicial de infiltração ( $VI_{inic}$ ), infiltração acumulada ( $I_{acum}$ ), velocidade básica de infiltração (VIB), equação de infiltração e equação da velocidade de infiltração estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores da velocidade de infiltração inicial ( $VI_{inic}$ ), da velocidade básica de infiltração (VIB), da infiltração acumulada ( $I_{acum}$ ) e respectivas equações da Infiltração e Velocidade de Infiltração para o solo estudado

$VI_{inic}$ ( $cm.h^{-1}$ )	$I_{acum}$ ( $cm$ )	Eq. Infiltração ( $cm$ )	Eq. Velocidade Infiltração ( $cm.h^{-1}$ )
12,0	20,0	$I = 0,3116T^{0,8129}$	$VI = 15,1974.T^{-0,1871}$
19,2	17,5	$I = 0,4866.T^{0,6588}$	$VI = 19,2357.T^{-0,3412}$
19,6	35,9	$I = 0,4225.T^{0,7752}$	$VI = 19,6489.T^{-0,2248}$

Com os resultados determinados para a velocidade básica de infiltração (VIB), o solo é classificado de acordo com sua intensidade. Os solos podem ser classificados como solo de VIB: Muito alta, alta, média e baixa. A Tabela 2 abaixo apresenta a classificação do solo de acordo com os valores de velocidade de infiltração básica propostos por Bernardo et al. (2008).

Tabela 2 - Classificação do solo a partir de sua VIB em  $cm.h^{-1}$

Solo	VIB
Solo de VIB muito alta	$> 3,0 cm.h^{-1}$
Solo de VIB alta	$1,5 - 3,0 cm.h^{-1}$
Solo de VIB média	$0,5 - 1,5 cm.h^{-1}$
Solo de VIB baixa	$< 0,5 cm.h^{-1}$

Fonte: Bernardo et al. (2008).

A curva que descreve a infiltração de água no solo caracteriza as forças capilares e gravitacionais, e o efeito de cada uma delas varia ao longo do tempo. Inicialmente, no processo de infiltração, as forças capilares são preponderantes, perdendo a sua efetividade com o passar do tempo, quando predominam no referido processo as forças gravitacionais. Assim, a curva da capacidade de infiltração de água no solo evolui em função das características hidrodinâmicas e tendem a retas quando o fluxo de infiltração se aproxima do regime estacionário (Pinheiro et al., 2009).

A infiltração acumulada obtida em campo se mostrou bastante ajustada à curva calculada com base no modelo proposto por Kostiakov para este solo, demonstrando além do ajuste com o modelo empírico. As Figuras 2A, 2B e 2C comparam as curvas obtidas para a infiltração acumulada com os dados obtidos em campo e as curvas calculadas com base no modelo matemático proposto por Kostiakov nas 3 (três) repetições, demonstrando uma excelente correlação entre os dados de campo e o modelo testado de Kostiakov testado neste trabalho.

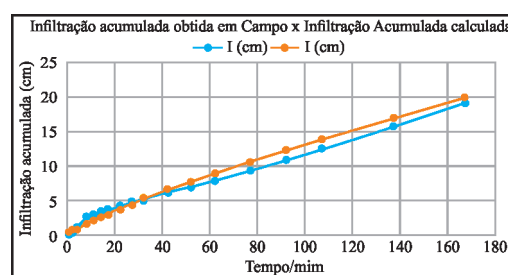


Figura 2a - Infiltração acumulada com dados de campo versus dados calculados com base no modelo matemático proposto por Kostiakov (Repetição 1).

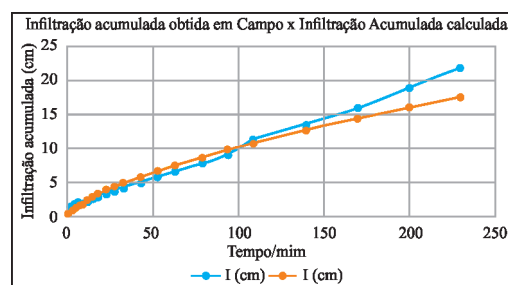


Figura 2B - Infiltração acumulada com dados de campo versus dados calculados com base no modelo matemático proposto por Kostiakov (Repetição 2).



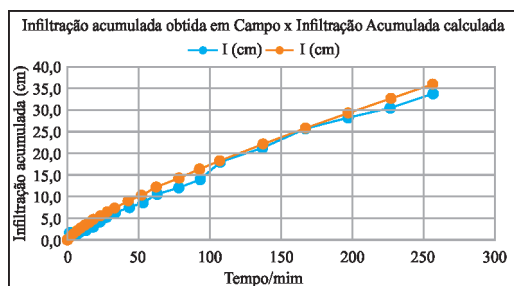


Figura 2C - Infiltração acumulada com dados de campo versus dados calculados com base no modelo matemático proposto por Kostiakov (Repetição 3).

Vilarinho et al. (2019) encontraram valores de infiltração acumulada de água equivalentes a 38,76 cm para área de pastagem e 11,35 cm para área de cerrado, obtidos ao longo de 156 minutos de ensaios, concluindo que os altos valores de lâmina d'água acumulados na área de pastagem plantada com *Urochloa* sp. foi consequência do grande volume e profundidade das raízes desta gramínea, que por esta razão permitiram uma maior infiltração da água no solo.

Os valores da infiltração acumulada obtidos neste trabalho variaram no intervalo de 17,5 a 35,9 cm de lâmina de água, contra os 11,35 cm obtidos por Vilarinho et al. (2019), também em áreas de pastagem plantadas em Plintossolo Pétrico no cerrado. Uma das hipóteses para as diferenças obtidas neste estudo e os resultados relatados por Vilarinho et al. (2019) seria o fato desta área de estudo já ter recebido a implantação das espécies arbóreas propostas no projeto Campo Sustentável, cujo plantio foi precedida de preparo mecanizado do solo, o que aumentou a porosidade nas camadas superficiais, e consequentemente proporcionaram uma maior capacidade de infiltração de água. Já o tempo médio para estabilização da velocidade de infiltração se mostrou semelhante em ambos os trabalhos, sendo de 175 minutos na área de estudo contra 156 minutos relatados nos trabalhos de Vilarinho et al. (2019).

Com os resultados obtidos e analisados em comparação ao modelo teórico de Kostiakov, e considerando a fundamental importância do conhecimento dos valores da VIB no solo como subsídio para elaboração de projetos de irrigação e drenagem, pode-se recomendar a utilização deste modelo de Kostiakov para subsidiar projetos de irrigação e drenagem a partir da utilização deste modelo empírico para as condições semelhantes aos da área de estudo.

A Figura 3 apresenta as curvas da velocidade de infiltração ajustadas pelo modelo de Kostiakov e suas respectivas correlações com os dados obtidos em campo.

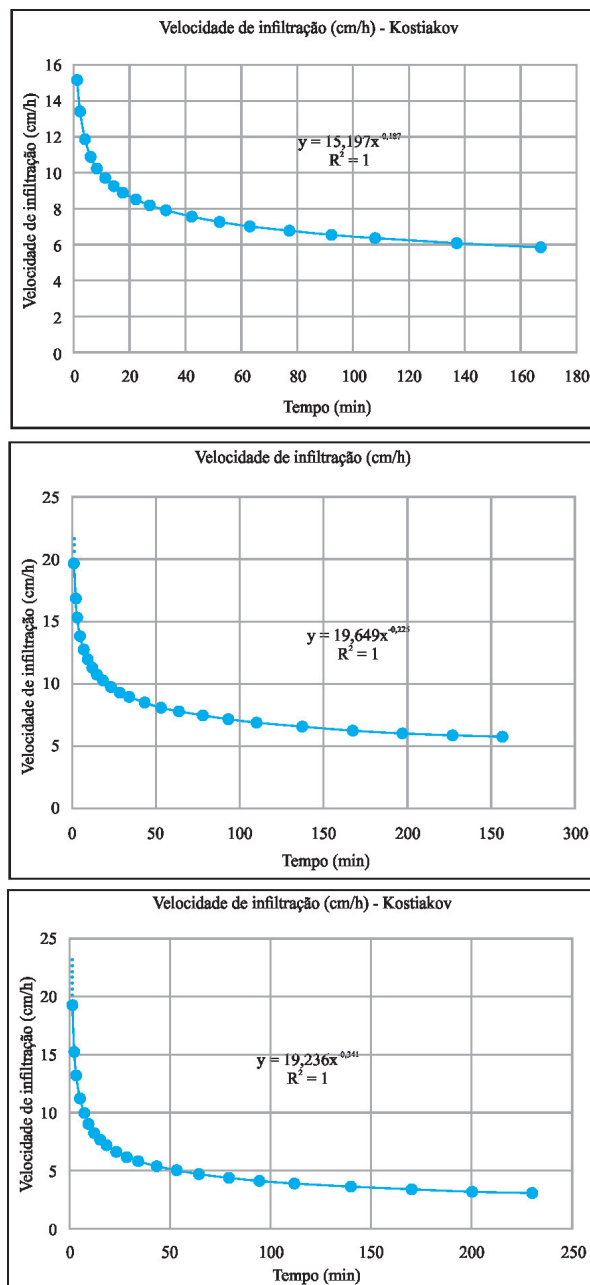


Figura 3. Velocidade de Infiltração calculadas a partir do modelo proposto por Kostiakov e as respectivas correlações com os dados obtidos em campo.

O valor da velocidade básica de infiltração (VIB) calculada com base no modelo empírico proposto por Kostiakov teve seus valores definidos no intervalo de 3,0 a 5,8 cm.h<sup>-1</sup>, caracterizando o solo, quanto à sua capacidade de infiltração, entre alta a muito alta capacidade de infiltração, de acordo com a classificação proposta por Bernardo *et al.* (2008). Quanto à velocidade de infiltração básica, Vilarinho *et al.* (2019) encontrou valores de 9,67 cm.h<sup>-1</sup> na área de pastagem e 1,67 cm.h<sup>-1</sup> na área de cerrado, valores que de acordo com Bernardo *et al.* (2008) se enquadram em solos de muito alta e alta capacidade de infiltração, para a áreas de pastagem e cerrado respectivamente.

Moreira *et al.* (2017) trabalhando em um solo no município de Capitão Poço-PA, encontraram valores de velocidade de infiltração básica (VIB) muito alta (3,82 cm.h<sup>-1</sup>) para área de pastagem degradada também cultivada com *Urochloa* sp e média (1,30 cm. h<sup>-1</sup>) em um sistema agroflorestal.

Em outro estudo realizado no município Diorama-GO em Latossolo Vermelho distroférico, cultivados por um sistema de integração lavoura-pecuária e outra área sob pastagem em estágio de degradação, obtiveram valores de VIB de 68,6 cm.h<sup>-1</sup> e 42,3 cm.h<sup>-1</sup>, respectivamente, classificados como muito altos (Andrade *et al.*, 2020).

Em contrapartida, Ferguim *et al.* (2020), verificaram a taxa de infiltração básica em uma área de pastagem com *Urochloa* sp e áreas com ILPF; IPF, ILF, e o valor da VIB foi inferior na pastagem em comparação aos sistemas integrados. O modelo proposto por Kostiakov apresentou maior ajuste aos dados de velocidade de infiltração obtidos no campo, resultado semelhante ao encontrado nesse trabalho.

Os resultados obtidos demonstram a praticidade e eficácia do Sistema de Tríplex Anéis Concêntricos Semiautomatizados (TACS) para a determinação em campo da velocidade de infiltração de água no solo, facilitando o desenvolvimento das atividades e otimizando o tempo necessário para estas determinações.

As principais vantagens na utilização deste equipamento seriam: otimização do tempo para a realização das leituras e respectivas repetições em campo; mesma temperatura do solo e da água durante o processo de infiltração; condições de umidade do solos semelhantes em todas as avaliações, carga hidráulica constante nos anéis internos e maior precisão nas leituras de infiltração, necessidade de maiores intervalos de tempo para realização das repetições, ocorrendo a possibilidade de ser necessário

mais de um retorno a campo devido ao tempo dispendido em cada avaliação, desta maneira reduzindo os custos de coleta de dados.

Os dados obtidos nestes ensaios se aplicam aos Plintossolos Pétricos concrecionários da área avaliada, indicada pelas coordenadas geográficas já apresentadas, para as mesmas condições de uso e manejo descritos.

## CONCLUSÕES

Os valores da VIB calculados para a área estudada ficaram definidos no intervalo de 3,0 a 5,8 cm.h<sup>-1</sup>, classificando o solo quanto à capacidade de infiltração entre a faixa de alta e muito alta capacidade de infiltração.

Os dados obtidos em campo com o Sistema de Tríplex Anéis Concêntricos Semiautomatizados - TACS demonstraram a viabilidade do sistema proposto, proporcionando maior facilidade na coleta de dados durante o processo de infiltração de água no solo, otimizando o tempo necessário para a coleta de dados em campo e reduzindo a influência de variáveis que pudessem influenciar na qualidade dos resultados finais.

O modelo matemático proposto por Kostiakov se mostrou ajustado para os resultados obtidos no solo Plintossolo Pétrico concrecionário, nas condições de uso e manejo característicos da área de estudo.

## LITERATURA CITADA

- ANDRADE, V.D.; FERREIRA, U.S.; PONCIANO, V.F.G.; PONCIANO, I.M. Capacidade de infiltração no solo em área de pastagem degradada e sistema ILP no primeiro ano. *Brazilian Journal of Development*, v.6, n.2, p.6083-6087, 2020.
- ANGELOTTI NETO, A.A.; FERNANDES, E.J. Avaliação da taxa de infiltração de água em um latossolo vermelho submetido a dois sistemas de manejo. *Irriga*, v.10, n.2, p.107-115, 2005.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. *Manual de irrigação*. 8.ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2008. 625p.
- BERTOL, L.; ALMEIDA, E.X.; JURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas à diferentes níveis de oferta de forragem Capim Elefante Anão cv Mott. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.5, p.1047-1054, 2000.
- BRITO, A.S.; LIBARDI, P.L.; MOTA, J.C.A.; KLEIN, V.A. Variação diurno-noturna do potencial mátrico e gradiente



- de potencial total da água no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.38, n.1, p.128-134, 2014.
- COSTA, E.L.; SILVA, A.M.; COLOMBO, A.; ABREU, A.R. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.2, p.131-134, 1999.
- EILERS, V.H.M. Estimativa de recarga de águas subterrâneas utilizando o método do balanço hídrico. *Águas Subterrâneas [S.l.]*, n.1, 2004. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23458>. Acesso em: 27 abr. 2021.
- FIORIN, T.T. *Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções*. 2008. Dissertação (Doutorado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008
- FORSYTHE, W.M. Las propiedades físicas, los factores físicos de crecimiento y la productividad del suelo. *Fitotecnica Latinoamericana*, v.4, p.165-176, 1967.
- FURQUIM, L.C.; SOUZA, E.J.; SILVA, N.F.; NUÑEZ, D.N.C.; CABRAL, J.S.R.; SANTINI, J.M.K.; LEÃO, B.C.S.; STONE, L.F. Infiltração de água e resistência do solo à penetração em sistemas de cultivos integrados e em área de pastagem degradada. *Colloquium Agrariae*, v.16, n.5, p.82-95, 2020.
- HILLEL, D. *Applications of soil physics*. New York, Academic Press, 1980.
- MORAES, M.H.; BENEZ, S.H.; LIBARDI, P.L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de planta de soja. *Bragantia*, n.54, p.393-403, 1995.
- MOREIRA, W.K.O.; SILVA, E.G.; LIMAS, N.T.; ALVES, J.D.N.; RAYOL, B.P. velocidade de infiltração básica da água no solo em diferentes agroecossistemas amazônicos. *Agrarian Academy - Centro Científico Conhecer*, v.4, n.7, p.463-473, 2017.
- PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.5, p.1777-1786, 2011.
- PREVEDELLO, C.L. *Física do solo com problemas resolvidos*. Curitiba-PR, 1996. 446p.
- PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L.P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. *Revista Ambiente e Água*, v.4, n.2, p.188-199, 2009. (DOI:10.4136/ambiente-agua.97)
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, v.14, n.27, p.29-48, 2003.
- REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SILVA, V.R. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; ROSA, G.M.; CERETTA, C.A. Eds. *Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul*. Santa Maria, 2001. 165p.
- SCAPINI, C.A. Medição da densidade e porosidade do solo pelo método do cilindro e torrão parafinado em sistemas de preparo do solo e pastejo animal. *Anais... II Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo*. Santa Maria-RS, 1998.
- SILVA, I.C. Estudo da capacidade de infiltração de água diante de diferentes usos do solo no município de Itapororoca/PB. *Revista Geonorte*, Edição Especial, v.1, n.4, p.648-662, 2012.
- SIBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAUJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.
- SOUZA, D.B.; ALVES, D.K.R.; SANTOS, G.A.; BRITO, H.A.; ROCHA, K.S.; SANTOS, L.M.N.; ANDRIGUETTI, M.A. Determinação da velocidade de infiltração básica (Vib), sob método do infiltrômetro de anéis concêntricos em diferentes tipos de solo na região oeste da Bahia. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, Ano 03, v.04, n.12, p.170-193, 2018. (DOI: 10.32749)
- VILARINHO, M.K.; NASCIMENTO, J.C.; SILVA, T.J.S.; ISQUIERDO, E.P.; CAIDEIRA, D.S.A.; OLIVEIRA, C.P. Velocidade de infiltração básica de um plintossolo petrico concrecionario situado em áreas de pastagens e cerrado. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.13, n.2, p.3336-3345, 2019. (DOI: 10.7127/rbai.v13n2001042)

Recebido para publicação em 02/02/2021, aprovado em 27/04/2021 e publicado em 18/05/2021.

