

Estimativa da velocidade de infiltração básica em solos sob regeneração vegetativa

Estimación de la velocidad de infiltración básica en suelos bajo regeneración vegetativa

Estimative of the basic infiltration velocity in soils under vegetative regeneration

Diely Cristina Pereira

diely.pereira@yahoo.com.br

Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, PR

Marcos Marcondes Carneiro

mmc.dcp@gmail.com

Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, PR

Luciane Gryczak

luciane.gryczak@uol.com.br

Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, PR

Maria Ligia Cassol Pinto

ligialhc@gmail.com

Universidade Estadual de Ponta Grossa, UEPG, Ponta Grossa, PR

Resumo: A infiltração é responsável pela disponibilização de água no solo, principal agente dos processos morfopedogenéticos. O objetivo foi verificar a infiltração de água, estimando a velocidade de infiltração básica (VIB) em solos sob condições de regeneração natural da vegetação, na Floresta Nacional de Piraí do Sul (PR). Utilizaram-se infiltrômetros duplos de anéis concêntricos, com leitura da lâmina de água infiltrada por 2 horas, em três solos distintos, nas posições alta e média vertente, relacionando-as com os condicionantes geoecológicos e pedológicos. A VIB diminuiu em direção ao terço inferior da vertente, sendo calculados os valores 47,8 cm.h⁻¹ para Latossolos, 29,6 cm.h⁻¹ e 33,8 cm.h⁻¹ para Cambissolos da média vertente, configurando zonas de recarga hídrica e de boa disponibilidade de água à vegetação florestal.

Palavras-chave: Recarga hídrica; Morfopedogênese; Topossequência.

Resumen: La infiltración es responsable de la disponibilidad de agua en el suelo, principal agente de los procesos morfopedogenéticos. El objetivo fue verificar la infiltración de agua, estimando la velocidad de infiltración básica (VIB) en suelos que están en condiciones de regeneración natural de la vegetación, en la Floresta Nacional de Piraí do Sul (PR). Se utilizaron infiltrómetros dobles de anillos concéntricos, con lectura de la lámina de agua infiltrada por 2 horas, en tres suelos distintos, en las posiciones tercio superior y medio de la vertiente, relacionándolas con los condicionantes geoecológicos y pedológicos. La VIB disminuyó hacia el tercio inferior

de la vertiente, siendo calculados los valores 47,8 cm.h⁻¹ para Oxisol, 29,6 cm.h⁻¹ y 33,8 cm.h⁻¹ para Inceptisol de la media vertente, configurando zonas de recarga hídrica y de buena disponibilidad de agua a la vegetación forestal.

Palabras-clave: Recarga hídrica; Morfopedogenese; Toposequencia.

Abstract: The infiltration is responsible for the water availability in the soil, and it was the main agent of the morphogenetic processes. We aimed to verify the water infiltration by estimating the rate of basic infiltration (VIB) in soils under natural vegetation regeneration conditions, in the Piraí do Sul National Forest (PR). Concentric cylinders infiltrometers were used to read the infiltrated water column each 2 hrs on three soils in the upper and middle hillside, in order to relate them to geocological, and pedological conditions. VIB decreased towards the lower third of the slope, with observed values of 47.8 cm.h⁻¹ for Oxisol, 29.6 cm.h⁻¹, and 33.8 cm.h⁻¹ for Inceptisol in middle slope, configuring zones of water recharge and good availability of water to the forest vegetation.

Keywords: Water recharge; Morphopedogenesis; Toposequence.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A interação da água com a cobertura pedológica influencia os aspectos do comportamento dos solos e do relevo, desde o intemperismo do material de origem até as taxas de transporte e deposição de sedimentos, atuando tanto na formação dos solos como na modelação das vertentes. Esses processos têm como ponto de partida o ciclo hidrológico, que no solo, referem-se ao balanço entre a evapotranspiração, infiltração, percolação e escoamento superficial (AMORIM; SILVA; PRUSKI, 2009).

Dentre os processos, a infiltração da água no solo é um dos mais importantes, pois sua taxa determina a carga hídrica que o solo suporta e, conseqüentemente, o escoamento superficial, refletindo as condições internas do sistema. A taxa de infiltração, condições de umidade instantâneas, as forças matriciais são capazes de indicar, com certa propriedade, o potencial hidrológico e os caminhos preferenciais dos fluxos no solo (REICHARDT; TIMM, 2004)

Tendo em vista os usos dos solos, suas características e a relação destes com as águas superficiais, há que se ter em conta a preocupação com a sua qualidade e funcionalidade, uma vez que as atividades agrossilvopastoris, ao longo do tempo, podem acarretar problemas ambientais como decapamento das suas camadas superficiais, processos erosivos, perda de nutrientes, responsáveis pelo assoreamento e eutrofização dos cursos fluviais (BIGARELLA, 1985; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Neste sentido, o presente artigo teve por objetivo compreender a taxa de infiltração de água, estimando a velocidade de infiltração básica (VIB) em solos sob condições de regeneração natural da vegetação, na Floresta Nacional de Piraí do Sul (PR), após o corte raso de talhões de *Pinus sp* em 2015. Desde então, as áreas da FLONA estão em processo de regeneração natural, que implica numa boa relação entre a oferta de água e nutrientes

para a vegetação pioneira e a estabilidade de processos superficiais de perda de solo. Tendo em consideração a sazonalidade climática, o conhecimento sobre o processo de infiltração é relevante para o entendimento da influência mútua relevo-solo-plantas e para as condições hidrológicas locais.

Relações água-solo e condicionantes no processo de infiltração

Os processos que compõem o ciclo hidrológico, sendo eles a pluviosidade, a interceptação da vegetação, a infiltração, a evapotranspiração, envolvem o fluxo de água no solo. Estes podem ser descritos como um balanço entre as quantidades que entram e saem de um volume de solo, em um determinado tempo. Assim, durante uma chuva, parte da água é interceptada pela vegetação, parte dela evapora, retornando a atmosfera. Sobre este aspecto, Thomaz (2005) verificou que média de interceptação da chuva na capoeira é de 52,4% e na Floresta Secundária é de 23%. Já Souza et al. (2016) observaram que, em áreas de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana, a vegetação intercepta 14% do total precipitado. Os autores citados justificam os resultados pelos estágios sucessionais: onde há diversos estratos vegetativos, alta biodiversidade e dossel pouco denso, a interceptação torna-se maior.

Para a parte da água chuva que atravessa o dossel e entra pelos poros superficiais, tem-se o processo de infiltração. De acordo com Horton (1933, 1936), o solo atua como uma superfície que separa a água precipitada, em duas partes: (a) a que infiltra no solo; e (b) a que escoar pela superfície. Sendo assim, a taxa na qual a superfície do solo pode absorver a água da chuva corresponde a capacidade de infiltração.

O movimento do fluxo é devido às forças gravitacionais e capilares, resultantes da interação entre as partículas sólidas e líquidas (LIBARDI, 2005). A força gravitacional é componente de pressão dos fluxos para o centro de gravidade terrestre, impulsionando-os para profundidades maiores. No entanto, a força matricial do solo faz com que estes fluxos sejam no sentido de diminuição da sua energia potencial, tomando assim os mais variados caminhos (HILLEL, 1998).

Em macroporos predomina a drenagem por gravidade, enquanto que, nos microporos prevalece o movimento por capilaridade (BEVEN; GERMAN, 1982), que estão dependentes de variáveis como: a macroporosidade, selamento superficial, tipo de manejo, cobertura vegetal, entre outros como apontam Alves Sobrinho et al. (2003), Bono et al. (2012) e Cunha et al. (2015).

A estimativa da infiltração é medida pela sua velocidade básica (VIB) - quando esta torna-se constante. O comportamento da infiltração é descrito por uma curva em função do tempo. Nos tempos iniciais, a taxa de infiltração é maior e a medida que os poros do solo vão sendo preenchidos, a infiltração tende a estabilidade. Isto porque um maior teor inicial de umidade do solo diminui o efeito das forças capilares e majora o efeito da gravidade, aumentando a velocidade com que a frente de molhamento se move (GRAY; NORUM, 1967).

De acordo com Brandão et al. (2006), têm condicionantes da velocidade média em perfil como a textura, estrutura e densidade do solo e aqueles geocológicos, como vegetação, declividade e relevo. No perfil pedológico, as diferenças texturais e estruturais podem modificar o arranjo de poros e a água pode encontrar caminhos preferenciais para o seu movimento ou mesmo retenção, condicionando a infiltração. Ferreira (2016) esclarece que a textura dos horizontes do solo, o arranjo estrutural e o adensamento dos agregados respondem diretamente ao tamanho, organização e estabilidade das partículas do solo e do espaço poroso, o qual poderá ser ocupado pela água e movimento dos gases e solutos.

Schoeneberger e Wysocki (2005) argumentam que a hidrologia de subsuperfície é fundamental para compreensão da morfologia e da geografia dos solos. Para os autores, a estratigrafia, composição, porosidade, espessura e orientação de materiais regolíticos influenciam o movimento interno da água. Aqui, resgatam-se as propriedades geomorfológicas das rochas (PENTEADO, 1980) como coesão e a natureza de cimentação, permeabilidade e a porosidade entre os minerais e maciez e seus planos de sedimentação, cujos processos pedogenéticos podem ser reflexo do material de origem.

Contribuindo com a discussão, Morais (2012) elencou os indicadores geomorfológicos que influenciam a entrada de água na vertente e os fluxos superficiais e subsuperficiais. Para ele, as formas de vertente e seus segmentos determinam as áreas de convergência e divergência de fluxos, definindo maior ou menor infiltração. Dentro desta lógica, os segmentos côncavos e suaves convergem os fluxos, tanto superficiais quanto subsuperficiais, e tornam-se pontos de exfiltração. Em contrapartida, em vertentes convexas ou retilíneas, suaves e longas, o escoamento superficial tende a ocorrer quando a capacidade de infiltração do solo é excedida.

No que diz respeito a cobertura vegetal, que engloba formações nativas e cultivos, sua presença diminui a energia cinética das gotas de chuva o impacto da queda, assim como o selamento e escoamento superficial, além de participar da estruturação dos agregados fornecendo matéria orgânica. Desta forma, ainda que a declividade da vertente favoreça o escoamento, a vegetação pode retardar a sua velocidade pelo atrito entre o serrapilheira e a água (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). Em subsuperfície, os sistemas radiculares em decomposição podem também criar bioporos e facilitar a infiltração de água pelo aumento da porosidade. Acrescenta-se sobre o papel da vegetação no balanço hídrico do solo, a evapotranspiração, que extrai a água do solo pelos seus processos metabólicos. A influência destes condicionantes tem sido observadas em solos em condições climáticas análogas aqueles do município de Piraí do Sul, como se demonstra no Quadro 1.

Quadro 1. Condicionantes da infiltração analisados em estimativas de taxas de infiltração.

Fonte	Classe de solo	Variáveis	Conclusões
Antoneli e Thomaz (2009)	Argissolos, Nitossolos e Associação Litólica	Usos do solo, sazonalidade climática anual.	Comportamentos variados dos usos frente a infiltração. Pastagem apresentou a menor capacidade de infiltração.
Zaluski e Antoneli (2014)	Cambissolo Háplico	Manejo do solo, cobertura do solo pelas plantas, compactação.	A infiltração média das entrelinhas foi menor que nos camalhões. A morfologia da planta aumenta a cobertura do solo nos camalhões e diminui a compactação.
Mellek et al. (2014)	Cambissolo Húmico	Segmento de vertente, textura e estrutura do solo.	A velocidade de infiltração variou nos segmentos da vertente. As propriedades físicas não variaram mas a estrutura em blocos subangulares favorece a infiltração.
Mínosso, Antoneli e Freitas (2017)	Cambissolo Háplico	Usos do solo, sazonalidade climática anual.	A taxa de infiltração é maior no período de inverno em todos os usos do solo. A agricultura indicou maior variação na infiltração contrapondo com a área urbana.

Org.: Os autores.

Diante da variabilidade espacial intrínseca da infiltração, analisam-se os condicionantes que possuem certa abrangência na vertente, buscando interpretar qual a contribuição destas variáveis neste processo.

MATERIAIS E MÉTODOS

CONSIDERAÇÕES SOBRE A ÁREA DE ESTUDO

A FLONA de Piraí do Sul, na porção leste do Estado do Paraná, abrigava usos agropecuários com foco em plantio de espécies como *Pinus sp.*, *Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa* (Imbuia) entre os anos de 1967 a 1984, com o objetivo da promoção do modelo de silvicultura à época (BARROS; MORO, 2015). Depois de decretada como unidade de conservação (Decreto s/nº, de 02 de junho de 2004), após anos de discussão e planejamento, os pinus foram removidos a corte raso com intuito de reestabelecer o uso múltiplo florestal sustentável.

A técnica do corte raso e a logística para retirada da madeira alteraram significativamente o topo dos solos, seja pela desestruturação superficial, pela compactação devido ao trânsito de máquinas mas, principalmente, pela abertura de caminhos pela vertente que se comportam como rotas preferenciais de escoamento superficial, transporte de sedimentos, expondo pontos de exfiltração (Fig. 1).

Figura 1. Abertura de estradas na vertente para transito de máquinas e retirada da madeira.



Fonte: os autores.

Diante do padrão climático atual subtropical úmido mesotérmico, sem estação seca definida (MAACK, 2002), as precipitações tem relevância na produção ciclagem de materiais no perfil do solo, mas atuam mais intensamente na esculturação da vertente quando esta encontra-se sem cobertura vegetal protetiva de elementos da Floresta Ombrófila Mista.

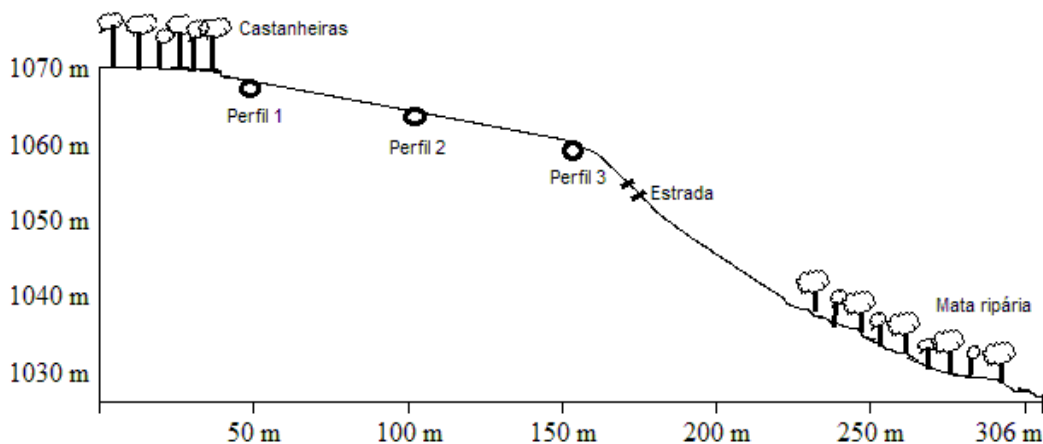
PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Realizou-se uma análise dos dados pluviométricos das estações mais próximas da área de estudo, sendo elas Piraí do Sul e Capinzal localizadas no município de Piraí do Sul e Tabor Fazenda Marão, em Castro (PR), disponíveis no sítio eletrônico da agência Águas Paraná. Foram calculadas as médias pluviométricas mensais aritmeticamente entre os anos de 2000 a 2017.

O entendimento da morfologia do relevo da área de estudo teve como base o perfil topográfico em ambiente do Sistema de Informações Geográficas, no *software* livre *Global Mapper*, a partir da interpolação manual das curvas de nível da carta topográfica SG-22-X-A-VI-1, para a equidistância de 10 metros.

Nos pontos selecionados para a realização dos experimentos (Fig. 2) fez-se o reconhecimento das características morfológicas dos solos, de acordo com Santos et al. (2015) e coleta de amostras dos horizontes.

Figura 2. Perfil topográfico e localização dos perfis de solo e experimentos de infiltração.



Org.: Os autores.

Para a estimativa da VIB do solo foram amostrados três pontos, localizados em segmentos de vertente convexas. Foi utilizado um infiltrômetro duplo de anéis concêntricos, com diâmetros de 50cm e 25 cm e alturas de 25 cm, enterrados a 3 cm no solo e preenchidos por água até que se obtivesse uma lâmina de água de 10 cm, proporcional a área de solo exposta e carga hidráulica submetida.

As medições da coluna de água infiltrada foram obtidas por uma régua milimétrica posicionada no anel interno e o tempo de infiltração foi cronometrado. A função do anel externo é conter o fluxo lateral para fora do anel interno. Este fluxo lateral é devido a capilaridade, uma vez que o solo insaturado possui forças matriciais maiores do que aquelas adjacentes ao solo saturado no anel interno, criando assim um gradiente hidráulico que expande a zona molhada (BOUWER, 1986).

Os anéis duplos para infiltração são recomendados para medições em solos inundados, pois, se considera uma carga hidráulica acima da superfície, o que pode superestimar a VIB (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). Desta forma, a extrapolação para solos não saturados pode ser realizada com essa ressalva e considerando uma variação mínima da lâmina dentro do anel interno, que alteraram entre 1,5 e 3,5 cm.

Os experimentos foram realizados durante 120 minutos na alta vertente e 90 minutos na média vertente, e as mensurações foram obtidas a cada minuto ou até que o limite mínimo da lâmina fosse atingido.

O modelo matemático para a VIB é baseado na equação de Kostiakov e contribuição de Lewis (1932) que descreve o volume infiltrado em função do tempo, com a atenuação da velocidade de infiltração tender a zero em tempos longos, assim

$$I = k.T^n$$

$$VIB = k.n[-0,01/kn(n - 1)]^{(n-1)/(n-2)}$$

$$VI = k.n.T^{n-1} + VIB$$

onde: *I* é a infiltração acumulada; *VI* é a velocidade de infiltração; *k* é constante dependente do solo (relativo ao início da infiltração); *n* é constante dependente do solo, variando de 0 a 1; *T* é o tempo de infiltração; e *VIB* é a velocidade de infiltração básica do solo.

Os parâmetros k e n foram calculados por regressão linear em planilha eletrônica, assim como o cálculo da VIB para cada experimento e a obtenção dos coeficientes de correlação logarítmicos de ajustes das curvas (R^2).

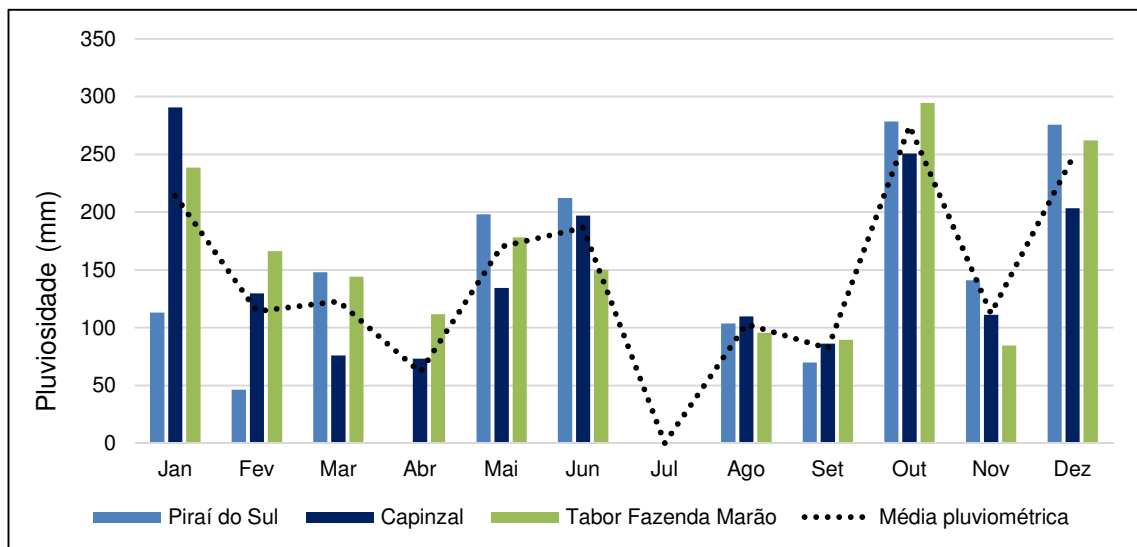
A determinação da textura foi realizada pela análise granulométrica com amostras compostas e deformadas de cada ponto, no horizonte superficial. Os procedimentos seguiram EMBRAPA (2012) com adaptações, com dispersão química com hidróxido de sódio e agitação lenta (60 rpm por 16 horas) e contagem do tempo de sedimentação baseada na Lei de Stokes.

A densidade aparente e umidade gravimétrica para a camada superficial do solo até 10cm de profundidade foram obtidas pelo método do anel volumétrico com amostras de solo indeformadas de acordo com EMBRAPA (2017), em cada ponto amostrado.

RESULTADOS

A média pluviométrica anual verificada entre os anos de 2000 a 2017 foi de 1.562,3 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo dos meses e maiores concentrações nos meses de verão, principalmente janeiro ($\bar{X}=225\text{mm}$). Os registros de 2017 demonstram a mesma tendência, entretanto, no mês de outubro, após o inverno relativamente seco, as chuvas alcançaram maiores médias totais mensais do que o habitual com $\bar{X}=274,56\text{mm}$ (Fig. 3) superando as máximas registradas em janeiro.

Figura 3. Médias pluviométricas mensais para o ano de 2017.



Fonte: Águas Paraná (2017).

As chuvas do mês de outubro prosseguiram em novembro, no entanto, não influenciaram negativamente os experimentos de infiltração realizados no dia 24 de novembro de 2017. No período antecedente, de 17 a 23 de novembro, a média de chuvas foi de 12,18 mm.

Os solos submetidos aos experimentos apresentam características muito distintas entre si, apesar da origem comum do Complexo Granítico Cunhaporanga (MINEROPAR, 2001). Suas características físico-químicas expressam os processos pedomorfogênicos ocorridos, resultando em solos espessos mesmo em média vertente. Apresentam-se as descrições de cada perfil na tabela 1.

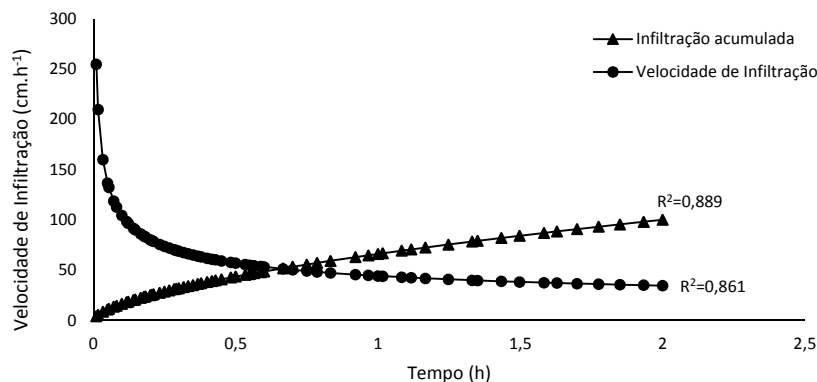
Tabela 1. Características dos solos na vertente experimental.

Perfil 1- Espessura total 200+ cm						
Espessura Horizonte A (cm)	Estrutura	U pré experimento (%)	U pós experimento (%)	Densidade aparente (kg dm ⁻³)	Teor de argila* (%)	Classe de solo
60	moderada granular pequena	27,75	42,46	941,52	61,3	Latossolo
Perfil 2- Espessura total 170 cm						
Espessura Horizonte A (cm)	Estrutura	U pré experimento (%)	U pós experimento (%)	Densidade aparente (kg dm ⁻³)	Teor de argila (%)	Classe de solo
40	moderada granular média	16,68	61,02	1191, 0	48,4	Cambissolo
Perfil 3- Espessura total 200+ cm						
Espessura Horizonte A (cm)	Estrutura	U pré experimento (%)	U pós experimento (%)	Densidade aparente (kg dm ⁻³)	Teor de argila (%)	Classe de solo
47	moderada granular média	21,44	50,6	1087,52	53,2	Cambissolo

Nota: Os parâmetros verificados se restringem a camada superficial; U= umidade gravimétrica; *média de duas amostras

Na alta vertente, sob vegetação de castanheiras, no primeiro ponto de experimento calculou-se VIB de 47,8 cm.h⁻¹, compatível com o modelo de Kostiakov-Lewis, com a estabilidade de infiltração ocorrida próximo ao tempo de 50 minutos (Fig. 4).

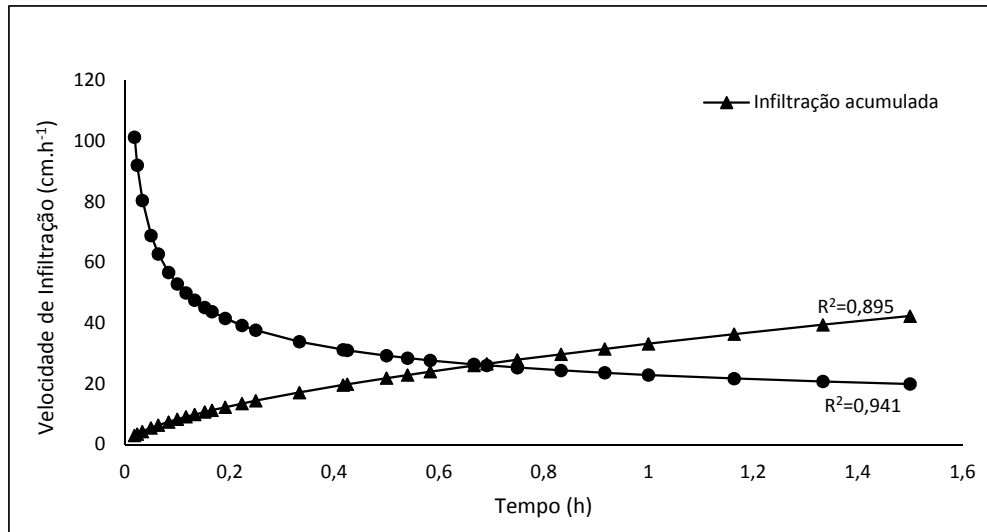
Figura 4. VIB estabelecida para o primeiro ponto de experimento na alta vertente Perfil 1.



Fonte: os autores

No segundo ponto, no terço médio da vertente, no qual houve retirada de *Pinus sp.* mas ainda havia biomassa em decomposição, a VIB calculada foi de 29,6 cm.h⁻¹, alcançando a estabilidade da infiltração próximo aos 50 minutos de observação (Fig. 5).

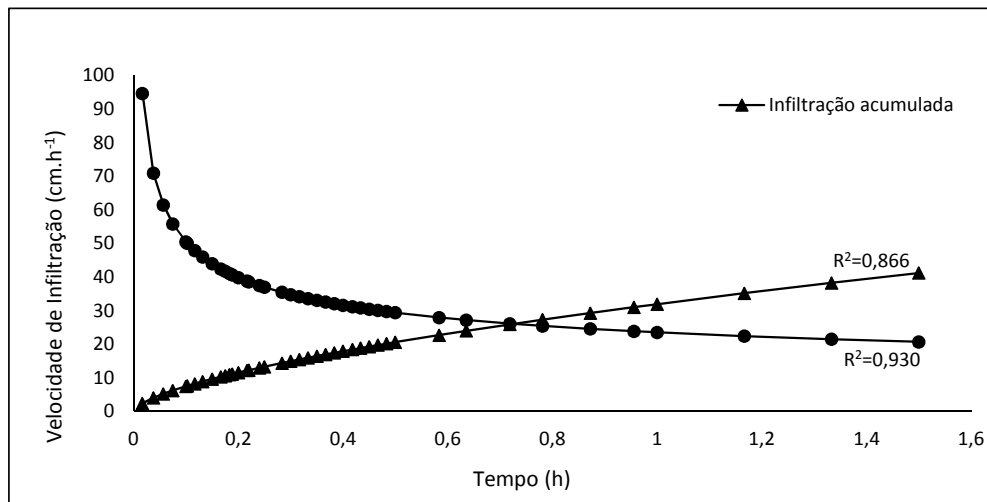
Figura 5. VIB estabelecida para o segundo ponto de experimento n vertente Perfil 2.



Fonte: os autores

O terceiro ponto analisado, embora também tenha sido ocupado por *Pinus sp.* apresentou VIB calculada de 33,8 cm.h⁻¹. Esta diferiu do modelo de Kostiakov-Lewis que demonstra ser alcançada próxima aos 18 minutos de experimento. O valor coerente com o modelo gráfico ajustado e com coeficiente de ajuste adequado é de aproximadamente de 25,4 cm.h⁻¹, ocorrido entre 50 e 55 minutos (Fig. 6).

Figura 6. VIB estabelecida para o terceiro ponto de experimento na vertente Perfil 3.



Fonte: os autores

DISCUSSÃO

No período que antecedeu ao dia dos experimentos registraram-se chuvas intensas mas que cessaram nas 72 horas anteriores à coleta. Diante da umidade antecedente exposta na tabela 1, considerou-se que houve boa drenagem na vertente e o experimento não foi comprometido, visto que as curvas da velocidade de infiltração descrevem bem o processo observado em campo.

Desta forma, afirma-se que a VIB não seja afetada pela sazonalidade climática anual uma vez que ela demonstra a velocidade de infiltração em condições de saturação. Concorda-se portanto com Minosso, Antoneli e Freitas (2017), que atribuíram à condição climática e à umidade antecedente as variações taxa de infiltração acumulada. No entanto, as condições geoecológicas, como os usos do solo são mais preponderantes para a determinação das VIBs, pelo nível de cobertura do solo, material orgânico a ser disponibilizado ao solo e relações da vegetação com espaço poroso.

Neste sentido, o tempo para se atingir a VIB foi o maior no perfil 1, demonstrando uma boa capacidade de drenagem que certamente é favorecida pela estrutura granular pequena, textura muito argilosa e pela presença de raízes que alcançam todo o perfil observado. O perfil 1 localiza-se na alta vertente e a cobertura vegetal predominante é formada por castanheiras associadas a um pequeno sub-bosque, há pelo menos 40 anos. Durante este tempo, o solo não foi manejado para a agricultura, preservando suas características intrínsecas.

A presença do horizonte O de 7cm de espessura, com serapilheira, raízes abundantes e densidade aparente leve, típica de horizontes ricos em matéria orgânica, como se expõe na tabela 1, proporciona uma cobertura eficiente para a infiltração de água. Neste caso, observou-se umidade alta pós experimento, de pelo menos, 150 cm.

Santos et al. (2018) demonstraram que as relações entre floresta natural e plantio de *Pinus* e os atributos físicos do solo, como macro e bioporos, correlacionam-se positivamente com as taxas de infiltração. Assim como neste estudo, os autores obtiveram expressivas taxas de infiltração para áreas de floresta natural e sob plantio de pinus, 60,2 cm.h⁻¹ e 34,5 cm.h⁻¹ respectivamente. Tais taxas reforçam a qualidade de zonas de recarga hídricas exercidas pelas florestas, principalmente aquelas situadas em áreas de topos. A alta vertente é essencialmente zona de infiltração e quando associada a um solo espesso, com textura muito argilosa, a tendência é que a água alcance grandes profundidades percorrendo as canículas criadas pela decomposição de material orgânico, ou mesmo os microporos do perfil.

O solo do perfil 2 também esteve sob cultivo de *Pinus sp* durante as últimas quatro décadas sem ser manejado. Após o corte raso realizado em 2015, muito da estrutura superficial foi alterada em função da logística de retirada de troncos e trânsito de maquinários.

Embora apresentando VIB considerada alta, a estabilidade de infiltração foi alcançada mais rapidamente em relação aos outros perfis, com fatores de ajustes adequados ao modelo de Kostiakov-Lewis e coerente à VIB calculada. O experimento feito próximo a trincheira possibilitou a verificação da movimentação de água no solo - embora tenha

criado uma zona de alívio - que escoa subsuperficialmente no sentido da declividade quando encontra o saprólito a 93 cm de profundidade.

O perfil foi considerado razoavelmente drenável, na medida que o saprólito impede a movimentação plena da água, ainda que a presença de raízes seja positiva para a infiltração. Esta condição explica sua pequena espessura em relação aos demais perfis, e baixa expressividade dos processos pedogenéticos, típica de Cambissolos.

O perfil 3 possui as mesmas condições geoecológicas do perfil 2, também classificado como Cambissolo. As características pedológicas como maior percentual de argila e menor densidade aparente em relação ao perfil 2 contribuem para justificar a maior taxa de infiltração. Nos solos com maior teor de argila, o espaço macroporoso tende a ser diminuto, enquanto que os microporos são muito mais abundantes. Esta configuração do espaço poroso permite a retenção da água pela adesão à superfície, aumentando a infiltração, característica essa marcada pela natureza quimicamente ativa das partículas de argila.

Estas propriedades do solo contribuíram para uma expressiva VIB em perfil registrada pelo modelo de Kostiakov-Lewis, incrementada no sentido da pendente da vertente. No entanto, a VIB calculada de 33,8 cm.h⁻¹ não é compatível com a modelada, aproximando de 25,4 cm.h⁻¹. O experimento realizado na borda do perfil permitiu a observação da movimentação da água verticalmente, que aumentou significativamente seu teor de umidade até aproximadamente 150 cm. O bulbo de molhamento era uniforme, no entanto as raízes direcionavam os fluxos.

Assim como observado por Antoneli e Thomaz (2009) e Zaluski e Antoneli (2014), os usos do solo na vertente contribuíram para uma alta VIB, já que a cobertura florestal fornece matéria orgânica para estruturação de agregados e organização do espaço poroso e também direciona os fluxos no sentido das raízes. Verificou-se, em acordo com Mellek et al. (2014), que a VIB foi alcançada mais rapidamente nos trechos inferiores da vertente, mesmo que a estrutura nos três perfis sejam similares, indicando que eventos de alta pluviosidade podem ter consequências mais significativas ao escoamento superficial nestes segmentos.

CONCLUSÕES

O método do infiltrômetro usado para estimar a taxa de infiltração é simples e permite obter resultados aceitáveis em relação a modelos que empregam tecnologias mais avançadas como o Permeâmetro de Gelfh.

Os resultados encontrados expressam as características de cada classe de solo, das condições do topo do solo em diferentes posições na vertente, com a VIB diminuindo ao longo do perfil. Entende-se, pois, que há influência dos processos e dos indicadores geomorfológicos na diferenciação pedológica na vertente na qual os fluxos superficiais e sub-superficiais obedecem o sentido e aumento da declividade e as propriedades físicas do solo.

A textura dos solos e a serapilheira foram importantes para a estabilização da VIB uma vez que a argila permite a retenção da água pela adesão a sua superfície e as raízes direcionam os fluxos até maiores profundidades.

Neste sentido, verifica-se que a boa qualidade físico-hídrica dos solos permite maior armazenamento de água e boa circulação interna, configurando como uma zona de recarga hídrica que possibilita uma alta disponibilidade de água à vegetação. As altas taxas de infiltração são proporcionais à diminuição da taxa de escoamento superficial que acarreta menores perdas de solo e nutrientes, além da manutenção da material orgânico nas camadas superficiais do solo.

REFERÊNCIAS

ALVES SOBRINHO, Teodorico; VITORINO, Antônio. C. T.; SOUZA, Luiz. C. F.; GONÇALVES, Manuel. C.; CARVALHO, Daniel. F.. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 191-196, 2003.

AMORIM, Ricardo Santos; SILVA, Demetrius David; PRUSKI, Fernando Falco. Principais Modelos para estimar perda de solos em áreas agrícolas. In: PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para controle de erosão hídrica**. 2.ed. Viçosa-MG: Ed. UFV, 2009.

ANTONELI, Valdemir; THOMAZ, Edivaldo Lopes. Comparação de infiltração de água no solo mensurada em período seco e úmido, em diferentes usos da terra na bacia do arroio Boa Vista, Guamiranga, Paraná. **Ambiência**, v. 5, n. 2, p. 301-318, 2009.

BARROS, Karina Ferreira de; MORO, Rosemeri Segecin. Conectividade estrutural entre a Floresta Nacional de Piraí do Sul e seu entorno, Paraná, Brasil. **Geoinfã**, v. 7, n. 1, p. 210-233, 2015.

BERNARDO, Salassier; SOARES, Antonio Alves MANTOVANI, Everardo Chartuni. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa-MG: Ed. UFV, 2006.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008.

BIGARELLA, João José. **Visão integrada da problemática da erosão**. Curitiba: Associação de Defesa e Educação Ambiental e Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1985.

BRANDÃO, Viviane Santos; CECILIO, Roberto Avelino; PRUSK, Fernando Falco; SILVA, Demetrius David. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa-MG: Ed. UFV, 2006.

BONO, José Antônio Maior; MACEDO, Manuel Claudio Mota; TORMENA, Cassio Antonio; NANNI, Marcos Rafael; GOMES, Eder Pereira; MULLER, Marcelo Marques Lopes. Infiltração de Água no solo em um Latossolo Vermelho da Região Sudeste dos Cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1845-1853, 2012.

BOUWER, Herman. Intake Rate: Cylinder Infiltrometer. In: KLUTE, Arnold. **Methods of soil analysis: Part 1. Physical and Mineralogical Methods**. 2.ed.. Madison: Soil Science Society American, 1986.

CUNHA, Jorge. L.X.L.; COELHO, Maria. E.H.; ALBUQUERQUE, Abel. W. de; SILVA, Cícero A.; SILVA JUNIOR, Antônio B. da; CARVALHO, Islan D.E. de. Water infiltration rate in Yellow Latosol under different soil management systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1021-1027, 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Padronização de Métodos para Análise Granulométrica no Brasil**. Comunicado Técnico. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-publicacao/950832/padronizacao-de-metodos-para-analise-granulometrica-no-brasil>. Acessado em: 15 out. 2017.

_____. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. Brasília, 2017.

- FERREIRA, Mozart Martins. Caracterização física do solo. In: JONG VAN LIER, Quirijn de. **Física do Solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. p. 1-27.
- GRAY, Don. M.; NORUM, D.I. The Effect of Soil Moisture on Infiltration as Related to Runoff and Recharge. In: HYDROLOGY SYMPOSIUM, 6, 1967, Saskatchewan. **Proceedings ...** p.133-153.
- HILLEL, Daniel. **Environmental soil physics**. Boston: Elsevier, 1998.
- HORTON, Robert. E. The role of infiltration in the hydrologic cycle. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 14, p. 446-460, 1933.
- _____. Hydrologic inter-relations of water and soils. **Proceedings of the Soil Science Society of America**, v. 1, p. 401-429, 1936.
- KOSTIAKOV, A.N. On the dynamics of the coefficient of water - percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of ameliation. **Society of Soil Science**, v. 14, p. 17-21, 1932.
- LIBARDI, Paulo Leonel. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Ed USP, 2005.
- MAACK, Reinhard. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 3.ed. Curitiba: Imprensa Oficial Paraná, 2002.
- MELLEK, José Elias; RIZZI, Nivaldo Eduardo; RIBEIRO, Jean Carlos; CORDEIRO, Camila Rocha Rodrigues; ANDRADE, Elvis Roberto de. Velocidade de infiltração da água em cambissolos de textura argilosa sob Floresta Ombrófila Mista. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p. 1923-1938, 2014.
- MINOSSO, Joslaine; ANTONELI, Valdemir; FREITAS, Andreza Rocha de. Variabilidade sazonal da infiltração de água no solo em diferentes tipos de uso na região sudeste do Paraná. **Geographia Meridionalis**, v. 3, n. 1, p. 86-103, 2017.
- MORAIS, de Fernando. Infiltração: uma variável geomorfológica. **Caderno de Geografia**, v. 22, n. 38, p. 73-87, 2012.
- PENTEADO, Margarida Maria. **Fundamentos de geomorfologia**. 3.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1980.
- REICHARDT, Klaus; TIMM, Luís Carlos. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004.
- SCHOENEBERGER, Philip J; WYSOCKI, Douglas A. Hydrology of soils and deep regolith: A nexus between soil geography, ecosystems and land management. **Geoderma**, v. 126, p. 117-128, 2005.
- ZALUSKI, Patrícia; ANTONELI, Valdemir. Variabilidade na Infiltração da Água no Solo em área de Cultivo de Tabaco na Região Centro-Sul do Paraná. **Caderno de Geografia**, v. 23, n. 41, p. 34-47, 2014.

Data de submissão: 18/maio/2018

Data de aceite: 25/jan./2019