

## CONSTRUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO AUTOMÁTICO PARA DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

ARISTIDES FRAGA LIMA FILHO<sup>1</sup>, RODRIGO SERAFIM DA COSTA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Doutor, Instituto Federal da Bahia, (71) 2102-9581, aristides@ifba.edu.br

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, (71) 2102-9581, rodrigoserafimunivasf@gmail.com

Apresentado no  
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015  
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

**RESUMO:** O conhecimento do movimento da água no solo é de grande interesse para as ciências que lidam com o solo. Dentre os métodos conhecidos para a determinação da velocidade de infiltração da água no solo destaca-se o método do “infiltrômetro de anel”, cujo procedimento consiste em cravar no solo, até a profundidade de 15 cm, dois anéis concêntricos e medir periodicamente a lâmina infiltrada até que a taxa de infiltração se torne constante. Apesar da simplicidade de operação, os métodos manuais demandam muito tempo e esforço, assim a automação surge como um facilitador na coleta de dados. Foi utilizado o microcontrolador Arduino com um sensor ultrassônico posicionados na parte superior de um reservatório de água conectado por mangueira aos cilindros cravados no solo. Foram feitos diversos testes em campo comparando o sistema automático com o convencional, encontrando-se valores de VIB de 5,04 e 6,79 mm h<sup>-1</sup> respectivamente para os métodos convencional e automático em solo nu de textura areno-argilosa e valores de 11,47 e 11,88 mm h<sup>-1</sup> respectivamente para os métodos convencional e automático no mesmo solo porém em condição de mata. Os resultados foram bastante promissores, comprovando a eficácia do equipamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Arduino, sensor ultrassônico, VIB.

### AUTOMATIC EQUIPMENT FOR DETERMINATION WATER INFILTRATION IN THE SOIL

**ABSTRACT:** The knowledge of water movement in the soil is of great interest to the sciences that deal with the ground. Among the known methods for the determination of water infiltration rate into the soil it stands out the method of "ring infiltrometer" whose procedure is to crimp the soil to a depth of 15 cm, two concentric rings and periodically measuring the blade infiltrated by the infiltration rate becomes constant. Despite the simplicity of operation, manual methods require much time and effort, so the automation comes as a facilitator in gathering data. Arduino microcontroller was used with an ultrasonic sensor placed on top of a water tank connected to the hose for cylinder fixed in the ground. Several tests were done in the field comparing with the conventional automatic system, lying VIB values of 5.04 and 6.79 mm h<sup>-1</sup> respectively, for the automatic and conventional methods bare soil sandy-loam texture and values 11.47 and 11.88 mm h<sup>-1</sup> respectively for conventional and automated methods on the same ground but in forest condition. The results were very promising, proving the effectiveness of the equipment.

**KEYWORDS:** Arduino, ultrasonic sensor, VIB

## INTRODUÇÃO

A infiltração da água no solo é um fenômeno físico que consiste na penetração da água de forma descendente, iniciando pela superfície atingindo as camadas mais profundas. Isto acontece por ação da gravidade e pode ser influenciado pelas propriedades intrínsecas do solo e pelo modo como a água atinge sua superfície.

O conhecimento do movimento da água no solo é de grande interesse para as ciências que lidam com o solo, principalmente com o movimento da água dentro deste. É de vital importância saber o comportamento da água e o efeito que esta produz no solo. Uma das características mais importantes a se estudar é a sua velocidade de infiltração, que é muito útil para a engenharia agrícola, geologia, engenharia civil, aquicultura (construção de viveiros) e principalmente para definir técnicas de conservação do solo.

A taxa de infiltração de água permite quantificar o percentual de chuva que infiltra no solo e seu possível escoamento superficial, provocado pela mesma, assim como se pode também avaliar o tempo em que a água permanecerá estagnada em poças, mantendo o solo alagado (FORSYTHE, 1975). Segundo BERTOL et al. (2000), quando a taxa de infiltração é muito baixa aumenta o risco de erosão do solo.

Para LIBARDI (2005), durante o processo de infiltração, estando o solo inicialmente seco, a capacidade de infiltração tende a decrescer com o tempo, atingindo um valor final, conhecido como capacidade de infiltração mínima ou velocidade de infiltração básica (VIB).

Segundo POTT et al. (2005), em projetos de drenagem o conhecimento da VIB é essencial para o dimensionamento dos drenos. Já no caso de construção de fossas sépticas e aterros sanitários, a determinação deste parâmetro ajuda na definição do local de construção, diminuindo assim, a contaminação das águas superficiais. A determinação da VIB também pode ser importante para a localização de represas e canais de condução de água, que deverão apresentar baixos valores de infiltração, minimizando as perdas por percolação.

Dentre os métodos conhecidos para a determinação da velocidade de infiltração da água no solo destaca-se o método do “infiltrômetro de anel” ou “cilindro infiltrômetro” por ser simples e de fácil execução, cujo procedimento consiste em cravar no solo, até a profundidade de 15 cm, dois anéis concêntricos e medir periodicamente a lâmina infiltrada no anel menor até que a taxa de infiltração se torne constante, sendo atingida então a velocidade de infiltração básica (BERNARDO et al. 2008, LOPES et al. 2009, MAÑAS, 2005). A função do anel externo (diâmetro maior) é evitar que ocorra fluxo lateral de água do anel interno (diâmetro menor), garantindo assim que a infiltração da água ocorra dentro desse anel, apenas na vertical (LOPES et al. 2009).

Apesar da simplicidade de operação, os métodos manuais como o do cilindro infiltrômetro, demandam muito tempo e muitos autores mencionam a necessidade de se pensar em automação com a finalidade de agilizar a obtenção dos dados e reduzir os erros de leitura (LIZARRAGA et al., 2002; JOHNSON et al., 2005; SPONGROVÁ et al., 2009).

Por outro lado CICHOTA et al (2003), citam que em virtude da alta variabilidade espacial dos solos, existem muitas dúvidas quanto à adequação de experimentos para determinar a taxa de infiltração da água no solo, especialmente quanto ao número de testes a ser feito com qualquer método. Assim, para experimentos em que são necessários muitos testes, ou em áreas muito heterogêneas onde há necessidade de se avaliar a taxa de infiltração para cada local específico, torna-se muito laborioso usar o cilindro infiltrômetro.

São vários os modelos de infiltrômetro automáticos, que utilizam diferentes materiais e sistemas. CHÁVEZ et al. (2010) desenvolveram uma unidade de automação digital que mede a altura da coluna de água em um recipiente, empregando um sensor de pressão diferencial (modelo MPX2010DP) conectado a um circuito elétrico e com acondicionamento

de sinal com memória volátil programada com interface USB. Esta unidade se acopla a um infiltrômetro portátil de carga constante. O equipamento foi comparado ao infiltrômetro manual e apresentou desvio padrão de 0,2 cm para uma faixa de medição de 0 a 85 cm de coluna de água, o que é um bom resultado.

LIZARRAGA et al. (2002) aperfeiçoaram o cilindro infiltrômetro inserindo uma boia comum acoplada a uma válvula de forma a manter constante o nível da água dentro do cilindro cravado no solo, essa válvula é conectada a um depósito de água externo de PVC, com capacidade para 45 litros. À medida que a água se infiltra no solo o nível de água do depósito diminui e este rebaixamento da coluna de água é medido por uma boia flutuante conectada a um contador de pulsos instalado em uma caixa registradora que fica em cima do depósito de água. Essa caixa contém um circuito eletrônico que armazena os pulsos gerados pela boia flutuante. Uma calibração é necessária para correlacionar os pulsos com a redução do nível da água. Os dados são armazenados em uma memória volátil, sendo enviados para um registrador, que por sua vez possui um programa para processar os dados. Os resultados mostraram que não houve diferença significativa entre o método manual e o dispositivo automático, sendo testado em dezoito solos diferentes.

De maneira similar, CERQUERA et al. (2010) desenvolveram um sistema eletrônico digital que automatiza o método do cilindro infiltrômetro, empregando um sensor ultrassônico de distância, que tem a função de acompanhar a infiltração da lâmina de água. Uma eletroválvula é conectada a um tanque de abastecimento e um microcontrolador também é utilizado. Para a recepção, análise e interpretação dos dados foi desenvolvido um software (InfilSuelos, versão 1.0), em linguagem Basic 6.0, criando um ambiente de fácil interação. Para a validação do equipamento foram feitos três testes de campo comparando o equipamento com o método manual, encontrando-se um erro máximo de 12% na medida da velocidade de infiltração da água no solo.

Esses sistemas automáticos apesar de eficientes, precisos e diminuírem o trabalho de campo, chegam a custar R\$ 60.000,00, dificultando em muito a sua aquisição. Objetivou-se com este trabalho construir um equipamento de baixo custo, preciso, utilizando os cilindros já conhecidos na literatura, com boias de nível constante, conectadas via mangueira a um recipiente alimentador contendo um sistema com capacidade de aquisição, armazenamento e análise dos dados de infiltração da água no solo, reduzindo a interferência do operador.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os testes de campo foram realizados em solo Latossolo Vermelho-Amarelo, álico, de textura areno-argilosa pertencente ao Instituto Federal da Bahia, Campus Simões Filho, a trinta quilômetros de Salvador, em local de coordenadas geográficas 12° 48' 18" Latitude Sul e 38° 23' 00" Longitude Oeste. Simões Filho apresenta clima Tropical quente e úmido, classificado como Am, segundo Koppen, com temperaturas médias anuais de 24,7°C, sua precipitação média anual é em torno de 1.700 a 2.000 mm, sendo sua precipitação máxima anual de 2.300 a 3.500 mm e a precipitação mínima anual de 800 a 1.200 mm. As chuvas ocorrem predominantemente nos meses de abril, maio e junho, sendo o mês de maio notadamente o mais chuvoso. O período seco compreende-se entre setembro a novembro.

Os anéis concêntricos foram confeccionados no Laboratório de Metalurgia do IFBA, Campus Salvador, sendo o menor de 25 cm de diâmetro e o maior de 50 cm, ambos com altura de 30 cm, para a prática dos testes de infiltração. Os testes foram feitos em dois locais distintos, distantes aproximadamente trinta metros um do outro: i) solo nu próximo a canteiros de hortaliças, local de passagem de operários e ii) solo de mata, onde não há cultivos e sem trânsito de pessoas ou máquinas. Os testes foram feitos até se obterem três leituras

consecutivas de mesmo valor, onde assumiu-se que foi atingida a velocidade de infiltração básica (BERNARDO et al. 2008, LOPES et al. 2009, LIBARDI 2005). Em cada teste foram anotados os valores de tempo e lâmina infiltrada de duas maneiras, da forma tradicional e utilizando-se a leitura automática feita pelo sensor ultrassônico monitorado pela placa de Arduino (figura 1A e 1B).

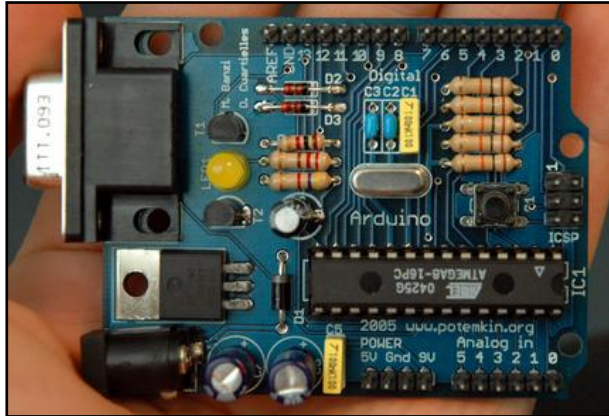


Figura 1A - placa de Arduino



Figura 1B – sensor ultrassônico HC-SR04

Os tempos para aferição tradicional do nível da água iniciaram com intervalo de 2 minutos, posteriormente passou-se para 5 minutos, depois aumentou-se o intervalo para 10 minutos, depois para 15 minutos e finalmente para 30 minutos. Os dados de lâmina infiltrada (mm) e tempo (horas) foram anotados em uma tabela para posterior manipulação matemática. Para o tratamento dos dados usou-se a equação potencial mais conhecida (equação 1) que é a de Kostiakov (REICHARDT e TIMM, 2004):

$$I = k T^a \quad (\text{equação 1})$$

Em que:

I = infiltração acumulada (mm);

k = constante dependente do solo (adimensional);

T = tempo de infiltração (hora);

a = constante dependente do solo (adimensional, variando de 0 a 1 em valor absoluto).

Os valores de “K” e “a” foram obtidos por regressão. Para obtenção da equação da velocidade de infiltração, utilizou-se a derivada da equação de infiltração acumulada em relação ao tempo (equação 2):

$$V_{inst} = \frac{dI}{dT} \quad (\text{equação 2})$$

Em que:

$V_{inst}$  = velocidade instantânea ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$dI/dT$  = derivada da infiltração em relação ao tempo ( $\text{mm h}^{-1}$ );

A primeira modificação feita nos cilindros convencionais foi a sua perfuração para instalação de boias conectadas com mangueira a um reservatório com régua graduada (figura 2), onde as leituras foram feitas nos intervalos de tempo determinados, fazendo-se assim uma adaptação de LIZARRAGA et al. (2002).



Figura 2 – equipamento convencional modificado para teste de infiltração.

Na etapa seguinte fez-se a automação do sistema, instalando o sensor ultrassônico controlado com auxílio do Arduino e posicionando-os na parte superior do reservatório (figura 3A e 3B), sendo ambos colocados dentro de uma caixa fixada acima da lâmina de água do reservatório e com o sensor direcionado para a superfície da água. O microcontrolador Arduino é uma plataforma de *hardware open source* muito usada na fabricação de dispositivos eletrônicos automatizados e que controla, via software, a aquisição dos dados obtidos pelo sensor ultrassônico. As variações de leitura do nível da água do reservatório foram registradas à medida em que a infiltração se processava dentro dos anéis concêntricos. As leituras eram apresentadas diretamente na tela do computador. Dentro da caixa também colocou-se uma bateria de 9V com autonomia de até 4h e um cartão de memória, para utilização em locais onde não houvesse corrente elétrica para se utilizar um computador.

Após diversas tentativas de aquisição de dados de distância, programou-se o Arduino para realizar 20 leituras de distâncias em 6 segundos a cada 2 minutos durante todo o teste de infiltração. A média dessas leituras e o tempo decorrido na realização do teste poderiam ser vistos no computador, em tempo real, para posteriormente se construir a curva de infiltração acumulada e calcular as velocidades de infiltração. Ao atingir a VIB (velocidade de infiltração básica), o Arduino parava de realizar as leituras, o que ocorria após a repetição de três leituras consecutivas iguais.



Figura 3A- sistema completo



Figura 3B- vista superior Arduino e sensor

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o teste feito em solo nu, a velocidade inicial foi de  $170 \text{ mm h}^{-1}$ , diminuindo com o tempo até atingir o valor de  $5,04 \text{ mm h}^{-1}$ , considerada velocidade de infiltração básica (VIB), o que é confirmado por TUCCI (2009), que afirma que a velocidade de infiltração é alta no início e vai diminuindo gradativamente até atingir valor quase constante. O tempo necessário para se atingir a VIB do solo foi de aproximadamente uma hora e quarenta minutos. A figura 4 apresenta os resultados da velocidade de infiltração obtida da forma convencional.

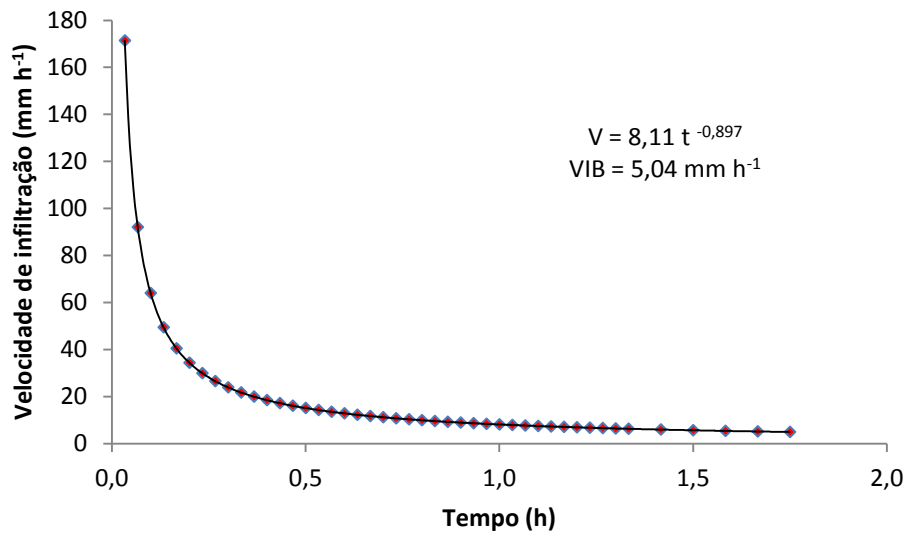


FIGURA 4. Velocidade de Infiltração ( $\text{mm h}^{-1}$ ) em função do tempo (horas) para leituras convencionais em solo nu em Simões Filho-BA.

Para o teste feito no mesmo local, porém com obtenção automática de dados (figura 5), a velocidade inicial foi de  $130 \text{ mm h}^{-1}$ , diminuindo com o tempo até atingir o valor de  $6,79 \text{ mm h}^{-1}$  (VIB), valor ligeiramente maior que o obtido da forma convencional, porém ambos são considerados típicos de solos de textura franco-arenosa-argilosa, de acordo com LIBARDI (2005) e BERNARDO et al. (2008). Segundo esses autores a VIB encontrada é considerada média (entre  $5$  e  $15 \text{ mm h}^{-1}$ ), característica de solos com boa drenagem.

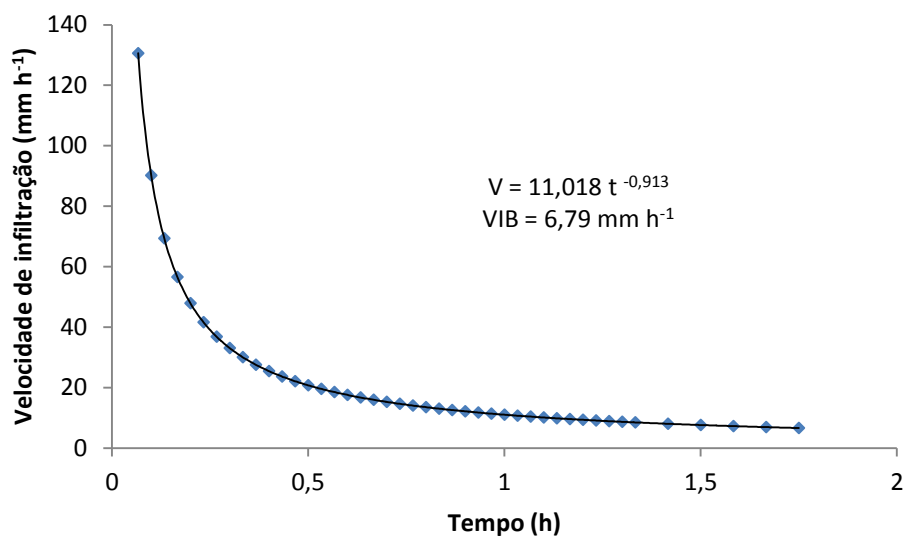


FIGURA 5. Velocidade de Infiltração (mm h<sup>-1</sup>) em função do tempo (horas) para leituras automáticas com Arduino em solo nu em Simões Filho-BA.

A determinação da velocidade de infiltração na área de mata apresentou valores maiores que os do local anterior, provavelmente devido à manutenção das condições originais de drenabilidade mantidas assim ao longo do tempo, assim como devido à presença de bastante matéria orgânica nos horizontes superficiais e por ser um local onde não há compactação do solo. A figura 6 apresenta os valores de infiltração, inicialmente em torno de 29 mm h<sup>-1</sup> e diminuindo até valores de 11,47 mm h<sup>-1</sup>. Esta variação menor das velocidades provavelmente seja devido ao conteúdo inicial de água no solo, pois no solo de mata há muita cobertura morta e a área é constantemente sombreada, o que favorece a manutenção da umidade do solo, pois de acordo com PANACHUKI et al. (2006), a velocidade de infiltração é muito influenciada pelas condições da superfície, do perfil e conteúdo inicial de água do solo.

PEREIRA e TEIXEIRA FILHO (2009), assim como VILARINHO et al. (2013) também afirmam que os fatores que influenciam na velocidade de infiltração são os materiais de superfície, cobertura vegetal, topografia, porosidade, matéria orgânica e o uso da terra com seus respectivos manejos.

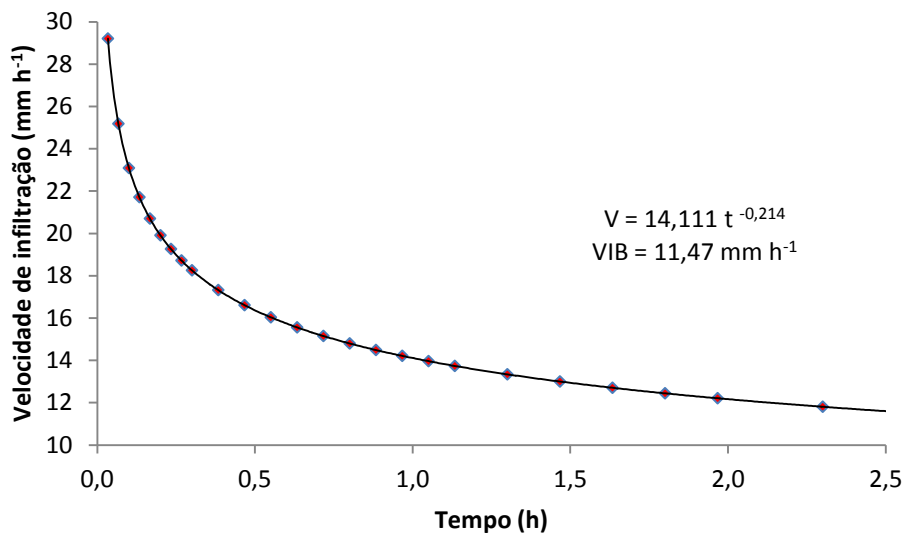


FIGURA 6. Velocidade de Infiltração (mm h<sup>-1</sup>) em função do tempo (horas) para leituras convencionais em solo de mata em Simões Filho-BA.

Para o teste feito com Arduino na mata (figura 7), a velocidade inicial foi de 38 mm h<sup>-1</sup>, diminuindo com o tempo até atingir o valor de 11,88 mm h<sup>-1</sup>, valores muito próximos dos encontrados pelo método tradicional. De acordo com o fabricante o erro proporcionado pelo Arduino é de +- 0,2 mm. Portanto, os resultados obtidos se aproximam muito dos dados medidos pela forma convencional, mostrando que o equipamento teve bom desempenho.

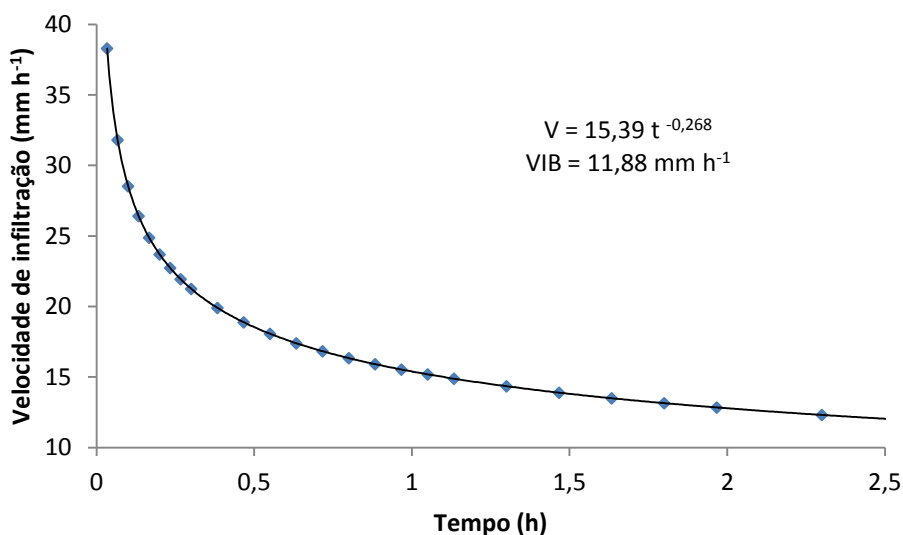


FIGURA 7. Velocidade de Infiltração (mm h<sup>-1</sup>) em função do tempo (horas) para leituras automáticas com Arduino em solo de mata em Simões Filho-BA.

## CONCLUSÕES

O Arduino pode ser utilizado para obtenção da curva de infiltração de água no solo com resultados satisfatórios, em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura areno-argilosa.

## REFERÊNCIAS

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 8. ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2008. 625 p.

BERTOL, I.; ALMEIDA, E. X.; JURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem Capim Elefante Anão cv Mott. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.35, n.5. p.1047-1054, 2000.

CERQUERA, Y. A., LÓPEZ, G.A. y RAMOS, L.J. Diseño de un Sistema Electrónico Digital para Automatizar La Prueba de Capacidad de Infiltración del Suelo en Campo  
Revista Ingenieria y Region No. 7 Año 2010

CICHOTA, R., van LIER, Q.J., ROJAS, C.A.L. Variabilidade espacial da taxa de infiltração em argissolo vermelho. R. Bras. Ci. Solo, 27:789-798, 2003

FORSYTHE, W. Física de suelos. Manual de laboratório. San Jose: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1975. 212 p.

JOHNSON, D. O., F. J. ARRIAGA, and B. LOWERY. 2005. Automation of a falling head permeameter for rapid determination of hydraulic conductivity of multiple samples. Soil Sci. Soc. Am. J. 69: 828-833.

LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: EDUSP, 2005. 335p.

LIZARRAGA, A. E., LAFARGA, R.A. y R. Gazol LOSTAO. 2002. Desarrollo de un infiltrómetro automático y su aplicación en campo. Investigación agraria. Producción y Protección Vegetales 17: 131-142.

LOPES, J.D.S, de LIMA, F.Z., OLIVEIRA, F.G. Irrigação por aspersão convencional. Viçosa, MG: Aprenda fácil, 2009. 333p.

MAÑAS, S.O.F.M., Calera Belmonte, A., López Fuster, M., 2005. Agua y Agronomía. Madrid, España: Mundi-Prensa Libros. 606 pp.

PANACHUKI, E; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. Acta Scientiarum Agronomy, v.28, n.1, p.129- 137, 2006.

PEREIRA, V. R.; TEIXEIRA FILHO, T. Identificação das áreas susceptíveis aos processos erosivos em duas bacias do Sistema Cantareira por meio de diferentes cenários. Acta Scientiarum Agronomy, v. 31, n. 1, p.155- 163, 2009.

POTT, C. A; ROSIM, D. C; DE MARIA, CLERICI, I. Velocidade de Infiltração de água (VIB): Para que serve e como avaliar essa importante propriedade dos solos. O Agrônomo, v. 57, p.27-28, 2005.

REICHARDT, K. & TIMM, L.C. Solo, planta e atmosfera: processos de aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

SPONGROVÁ, K., C. KECHAVARZI, M. DRESSER, S. MATULA, and R. J. GODWIN. 2009. Development of an automated tension infiltrometer for field use. Vadose Zone J. 8: 810-817.

TUCCI, CEM, 2009. Hidrologia: ciência e Aplicação. 4ª Ed. Porto Alegre: UFRGS, 943 p.

VILARINHO, MKC., KOETZ, MK., SCHLICHTING, AF., SILVA, MC., SILVA, BEM. Determinação da taxa de infiltração estável de água em solo de cerrado nativo. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.7, nº. 1, p. 17 - 26, 2013.