

## DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO PARA AUTOMAÇÃO DE UM INFILTRÔMETRO DE MUNTZ

### Autores

Nayara Ellen de Barros Santos<sup>1</sup>

Álvaro Manoel de Souza Soares<sup>2</sup>

### Resumo

O infiltrômetro cilíndrico de Muntz é um dispositivo dedicado ao cálculo da capacidade de infiltração de água em determinado tipo de solo. O dispositivo é composto por dois anéis cilíndricos, circuncêntricos que são preenchidos com água, onde mede-se o tempo que esse volume de água leva para ser absorvido pelo solo. As medidas (volume absorvido×tempo) são realizadas manualmente e este projeto propõe uma modernização, para esse tipo de instrumento, com a automação do infiltrômetro. O infiltrômetro, portanto, mede a quantidade de água absorvida pelo solo num determinado intervalo de tempo, ou seja, mede o deslocamento da superfície da água, dentro do cilindro e gera um gráfico, deste deslocamento, no tempo. As medidas foram feitas, acoplado-se um sensor de medida de distância (HC-SR04) à uma placa microprocessada, Arduino UNO. Esses dados são armazenados em um módulo de cartão SD e pós processados para a obtenção da velocidade média de infiltração da água, no solo, permitindo que se obtenha a classe de permeabilidade do solo. Resultados preliminares, mostram que o projeto atingiu seus objetivos, aumentando a precisão na obtenção das medidas, diminuindo a insalubridade de sua obtenção e agilizando o processo de redução de dados para a classificação do solo.

**Palavras-chaves:** Infiltrômetro de Muntz. Automação. Classificação do solo.

### *LOW-COST DEVICE FOR AUTOMATING A MUNTZ INFILTRMETER*

### **Abstract**

*The Muntz cylindrical infiltrometer is a device dedicated to calculating the water infiltration capacity in a given type of soil. The device is composed of two cylindrical, circumcentric rings that are filled with water, where the time that this volume of water takes to be absorbed by the soil is measured. The measurements (absorbed volume x time) are performed manually and this project proposes a modernization for this type of instrument, with the automation of the infiltrometer. The infiltrometer, therefore, measures the amount of water absorbed by the soil in a given time interval, that is, it measures the displacement of the surface of the water, inside the cylinder and generates a graph, of this displacement, in time. Measurements were made by attaching a distance measurement sensor (HC-SR04) to a microprocessor board, Arduino UNO. These data are stored in an SD card module and post-processed to obtain the average water infiltration velocity in the soil, allowing the soil permeability class to be obtained. Preliminary results show that the project reached its objectives, increasing the precision in obtaining the measurements, reducing the unhealthiness of obtaining them and streamlining the data reduction process for soil classification.*

**Keywords:** *Muntz infiltrometer. Automation. Soil classification.*

<sup>1</sup> Graduanda em Agronomia pela Universidade de Taubaté – UNITAU. E-mail: nayara.ebsantos@unitau.br

<sup>2</sup> Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA e docente na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP. E-mail: alvaro.soares@unesp.br

## INTRODUÇÃO

A capacidade do solo em absorver água é uma característica física de grande importância e pode ser levada em consideração, tanto para construções de barragens, aterros sanitários, fossas sépticas, canais para distribuição de água, estimativa de escoamento superficial como para a implantação de um sistema de irrigação por aspersão, gotejamento ou micro aspersão na agricultura. No entanto, a sua determinação, ou seja, a obtenção dos dados que representam a Capacidade de Infiltração de um solo, apresenta alguns desafios que merecem atenção.

O infiltrômetro de duplo anel, ou infiltrômetro de Muntz, (Figura 1), é um instrumento simples usado para determinar a taxa de infiltração de água no solo, sendo composto por dois cilindros concêntricos, tendo o anel externo de aço dimensões de 500x300x2mm e o anel interno de aço, dimensões de 250x300x2mm. O uso de um infiltrômetro, em essência, baseia-se em aplicar uma certa quantidade de água dentro dos cilindros e sobre a superfície do solo e medir o tempo necessário para que o solo a absorva.

Os resultados são expressos em  $\text{cm}^3/(\text{cm}^2 \cdot \text{hora})$ , ou mais comumente, em mm/hora e as medidas são realizadas, ao ar livre, de forma manual com medidas envolvendo, réguas, cronômetros, boias etc. Portanto, há uma certa insalubridade para quem faz a coleta de dados em dias ensolarados ou chuvosos, há a necessidade de atenção constante na leitura das medidas manuais e há a precisão das medidas, feitas com base em cronômetros e réguas analógicas. Esses fatores, em conjunto, podem levar à falta de uniformidade nos resultados.

**Figura 1** - Infiltrômetro de Muntz comercial



Fonte: Agriexpo (2020).

Em Moretti Filho e Manfrinato (1965) é apresentado o estudo da capacidade de infiltração do solo para fins de irrigação por aspersão, através de dois métodos conhecidos. O do infiltrômetro cilíndrico de Muntz-modificado e de irrigação por aspersão. No primeiro método é medida a quantidade de água absorvida pelo solo num determinado intervalo de tempo e observou-se que a água essa que se mantém à uma carga constante dentro do cilindro. Já no segundo método, método foi medida a quantidade de água absorvida, por diferença entre a quantidade de água aplicada por aspersão e a enxurrada.

O infiltrômetro cilíndrico usado foi o do tipo de anéis concêntricos e segundo os autores a correlação entre os dados obtidos pelos dois métodos foi de 0,89). As medidas foram obtidas de forma manual onde o infiltrômetro utilizado tinha gravado em suas paredes uma escala graduada que permitia avaliar o volume e o tempo gasto foi medido com o auxílio de um cronômetro.

Fagundes et al. (2006) apresentam a determinação de curvas de infiltração e velocidade de infiltração de água, pelo método de infiltrômetro de anel, especificamente para o solo de cerrado mato-grossense. Segundo os autores o solo foi caracterizado de textura franco-arenosa e sua VIB (velocidade de infiltração básica) foi classificada como muito alta, com valor em torno de 4 cm h<sup>-1</sup>.

José et al. (2013) propõem o cálculo da taxa de infiltração em dois diferentes solos no Estado do Paraná. Os solos são compostos por diferentes teores de argila, um Nitossolo Vermelho e um Latossolo Vermelho. A velocidade de infiltração de água no solo no campo foi obtida por meio do infiltrômetro de anéis concêntricos de carga constante e os dados foram ajustados pelo modelo de Kostiakov. Segundo os autores, o modelo de Kostiakov foi adequado para estimativa da taxa de infiltração de água nos dois solos estudados.

Alves Sobrinho et al. (2002) relatam o desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil, onde as características de precipitação relativas a diâmetro de gotas e energia cinética de impacto das gotas, do infiltrômetro, produzidas sobre solo, são semelhantes àquelas da chuva natural. Segundo os autores, a relação entre a energia cinética da chuva produzida pelo infiltrômetro e a energia cinética da chuva natural, situou-se acima de 90% para intensidades de precipitação de até 100 mm h<sup>-1</sup>.

Silva et al. (2020) apresentam um estudo com o objetivo determinar as curvas de Velocidade de Infiltração (VI) de água no solo pelo método de infiltrômetro de anéis concêntricos, com uso de um microcontrolador Arduino e sensor ultrassônico para medir o rebaixamento da lâmina de água. Segundo os autores, o uso do microcontrolador Arduino em

conjunto com o sensor ultrassônico instalado no infiltrômetro de anéis se mostrou eficiente nas aferições em campo e tornou prática a determinação da infiltração acumulada e da velocidade de infiltração, demonstrando ser uma alternativa econômica e viável tecnicamente principalmente pela quantidade de pontos possíveis de se coletar para cada teste e pela maior confiabilidade agregada aos baixos valores de erro quando comparado à obtenção manual dos dados.

Este trabalho propõe uma modernização em um infiltrômetro cilíndrico de Muntz, que é utilizado no cálculo da capacidade de infiltração de água em determinado tipo de solo para fins de irrigação por aspersão. A modernização proposta, para esse tipo de instrumento, visa automação na aquisição dos dados fornecidos pelo infiltrômetro. Com o infiltrômetro pode-se medir a quantidade de água absorvida pelo solo num determinado intervalo de tempo, ou seja, mede-se o deslocamento da superfície de água, dentro de um cilindro e gera-se um gráfico, deste deslocamento, no tempo.

Para a realização das medidas, montou-se um protótipo experimental composto por um sensor ultrassônico de medida de distância (HC-SR04), uma placa microprocessada, Arduino UNO, um display LCD e um cartão de memória SD. Este dispositivo foi integrado à um infiltrômetro de Muntz de forma a realizar as medidas do deslocamento da superfície de água de forma automática. As medidas realizadas são gravadas em um cartão SD e permitem o pós-processamento dos dados.

Resultados preliminares, mostram que o projeto atingiu seus objetivos, aumentando a precisão na obtenção das medidas, diminuindo a insalubridade de sua obtenção e agilizando o processo de redução de dados para a classificação do solo.

## 2. MODELO DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A equação de infiltração da água no solo é baseada na equação de Darcy-Buckinham (Libardi, 1995) para o escoamento vertical da seguinte forma:

$$q = -K \frac{\Delta H}{\Delta Z} \quad (1)$$

Onde q é o Fluxo de água no perfil de solo em (cm/s), H é a Carga hidráulica (cm), Z é a Profundidade da camada de solo (cm) e K é a Condutividade hidráulica do solo (cm/s).

A carga hidráulica (H) é composta da altura devido à pressão negativa (sucção do solo insaturado), e da altura gravimétrica (-z), que é negativa por diminuir com o aumento da profundidade:  $H = (-H_p) + (-z)$ . A taxa de infiltração é definida como a lâmina de água (volume de água por unidade de área) que atravessa a superfície do solo, por unidade de tempo. A taxa

de infiltração pode ser expressa em termos de altura de lâmina d'água ou volume d'água por unidade de tempo ( $\text{mm.h}^{-1}$ ). A equação 2, representa a taxa de infiltração de água no solo, correspondendo à variação de infiltração acumulada ao longo do tempo.

$$TI = \frac{dI}{dt} \quad (2)$$

Onde TI é a Taxa de infiltração da água no solo ( $\text{mm/h}$ ), I é a Infiltração acumulada ( $\text{mm}$ ) e t é o tempo ( $\text{h}$ ). A Tabela 1 (Bernardo et al., 2006) é utilizada para descobrir qual a classe de permeabilidade que cada solo possui.

**Tabela 1.** Classes de permeabilidade do solo à água

Classe Permeabilidade	( $\text{mm.h}^{-1}$ )
Muito Rápida	> 30
Rápida	15 – 30
Moderada	5 – 15
Lenta	< 5

Fonte: Bernardo et. al. (2006).

### 3. MATERIAIS E METODOS

Para a realização e gravação das medidas de distância da superfície da água, montou-se um experimento baseado em uma placa microprocessada Arduino UNO, integrada com um sensor de distância (HC-SR04). Os dados gerados pelo sensor são mostrados em um display LCD (18/2) e armazenados em cartão SD para análises posteriores.

Um protótipo do dispositivo projetado, está ilustrado na Fig.2.

**Figura 2 -** Protótipo montado com o sensor ultrassônico HC-SR04



Fonte: os autores (2020).

Ainda, foi projetado e confeccionado um protótipo, em escala 1:1, do infiltrômetro de Muntz. O protótipo possui as medidas de um infiltrômetro padrão, ou seja, anel externo de aço com dimensões de 500x300x2mm e anel interno de aço, com dimensões de 250x300x2mm e parte inferior em bisel, como ilustra a Figura 2.

**Figura 3-** Protótipo do infiltrômetro de Muntz



(a) Vista de topo

(b) Vista em angulo

(c) Vista do fundo

Fonte: os autores (2020)

Os processos de introdução do infiltrômetro no solo e de introdução da água nos cilindros seguiram a mesma maneira que os do infiltrômetro padrão. Inicialmente, introduz-se 15cm de altura dos dois cilindros no solo, após essa etapa adiciona-se água no cilindro exterior.

Esse processo faz com que a infiltração ocorra verticalmente e que a água do cilindro inferior não transfira de forma lateral e não haja superestimativa na taxa de infiltração. Na sequência a água no cilindro interior é adicionada logo após o dispositivo de medição ser iniciado. Um disco de isopor é posicionado na superfície da água, utilizando como guia uma haste de metal na posição vertical que o transpassa bem ao centro e se fixa no solo também ao centro do cilindro interno. Assim, o sensor ultrassônico captará o deslocamento do disco de isopor de acordo com a movimentação vertical do nível da água.

Os dados adquiridos pelo sensor ultrassônico são armazenados, pelo microcontrolador (Arduino UNO R3), em um cartão SD. Adiciona-se mais água toda vez que o nível de água nos anéis cilíndricos se encontrarem baixo e assim que atingir um valor constante de infiltração, o experimento é concluído e os dados armazenados permitirão o cálculo da VIB (Velocidade de Infiltração Básica) daquele solo.

A Figura 4, ilustra o experimento *in loco*.

**Figura 4** - Montagem in loco do dispositivo e teste do sistema de aquisição de dados

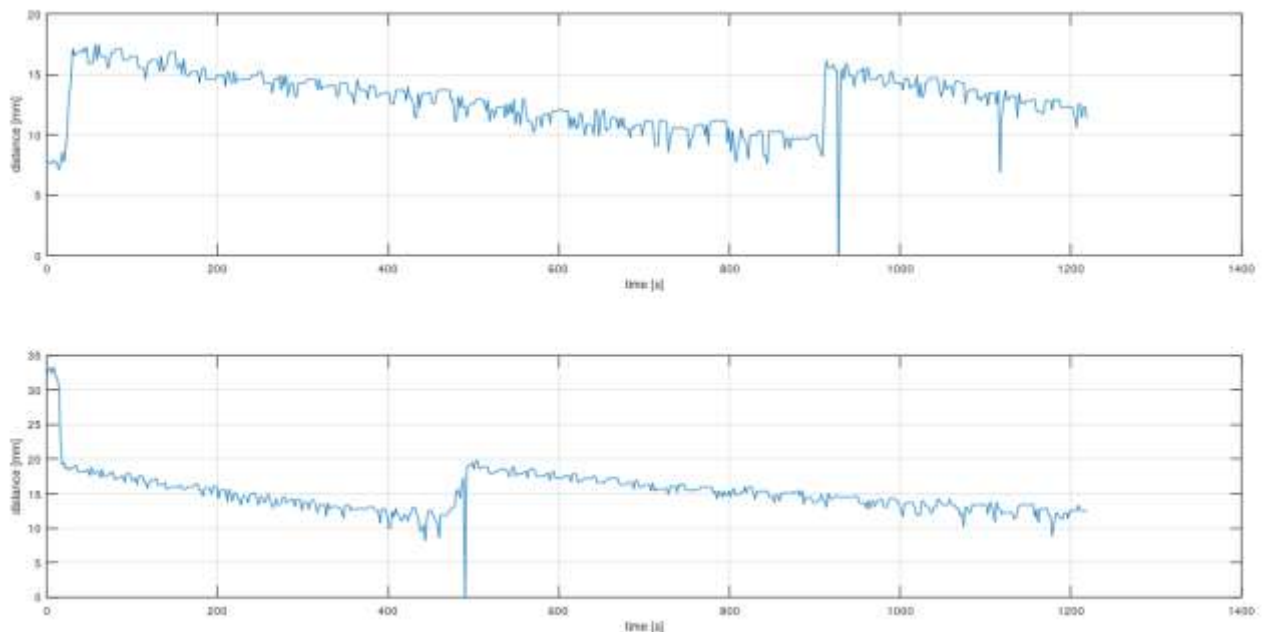


Fonte: os autores (2020)

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a montagem do experimento, com o protótipo do infiltrômetro e o protótipo do sistema de aquisição de dados, contendo o sensor Ultrassônico HSCR04, realizou-se dois ensaios, em campo. Os resultados preliminares destes ensaios são apresentados na Figura 5, que ilustra os gráficos da distância da superfície da água no infiltrômetro, no tempo.

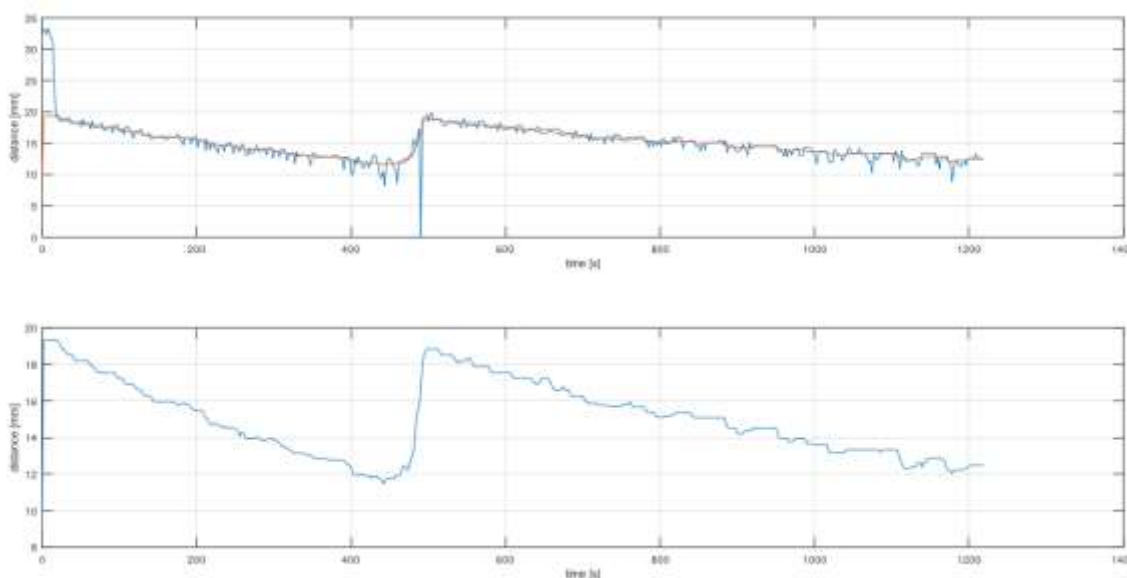
**Figura 4** - Resultados preliminares dos ensaios.



Fonte: os autores (2020).

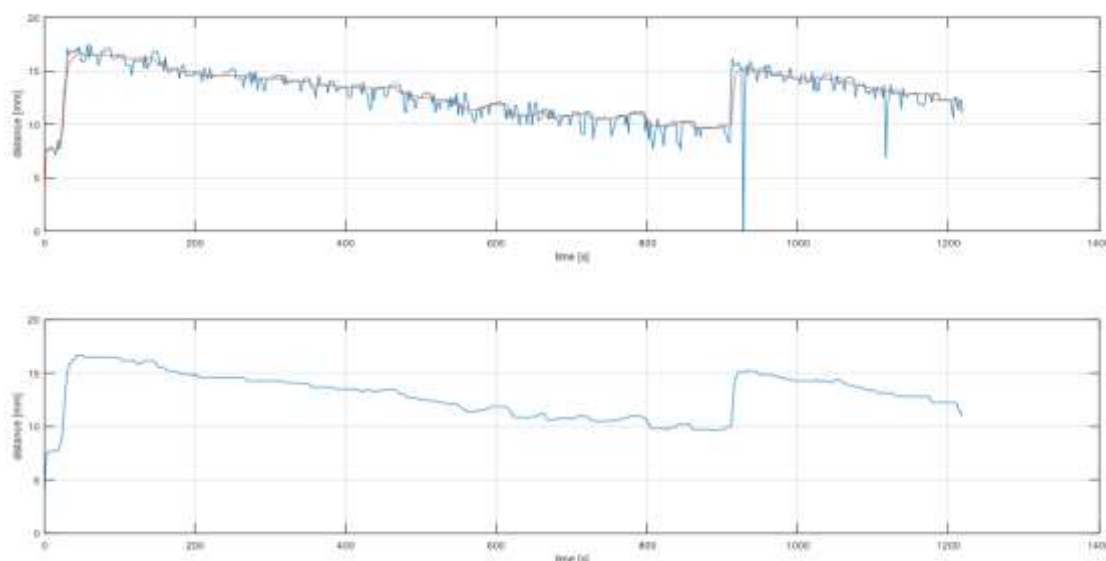
As amostras foram adquiridas, com um intervalo de 2 (dois) segundos entre amostras e durante um intervalo de 20 (vinte) minutos. Após a obtenção dos dados, notou-se uma certa oscilação na aquisição dos mesmos e o aparecimento de ruídos espúrios às amostras. Para remover esses ruídos, foi feita a filtragem dos dados utilizando-se o software Octave®. O Octave® é uma ferramenta, open-source, distribuída livremente na Internet. Com este software foi possível realizar a filtragem dos dados e o cálculo da velocidade de infiltração de água, no solo. As figuras 6 e 7, ilustram a comparação entre os dados antes e após a filtragem.

**Figura 5** - Comparação entre os dados adquiridos antes e após o procedimento de filtragem (amostra 1)



Fonte: os autores (2020).

**Figura 6** - Comparação entre os dados adquiridos antes e após o procedimento de filtragem (amostra 2)



Fonte: os autores (2020).



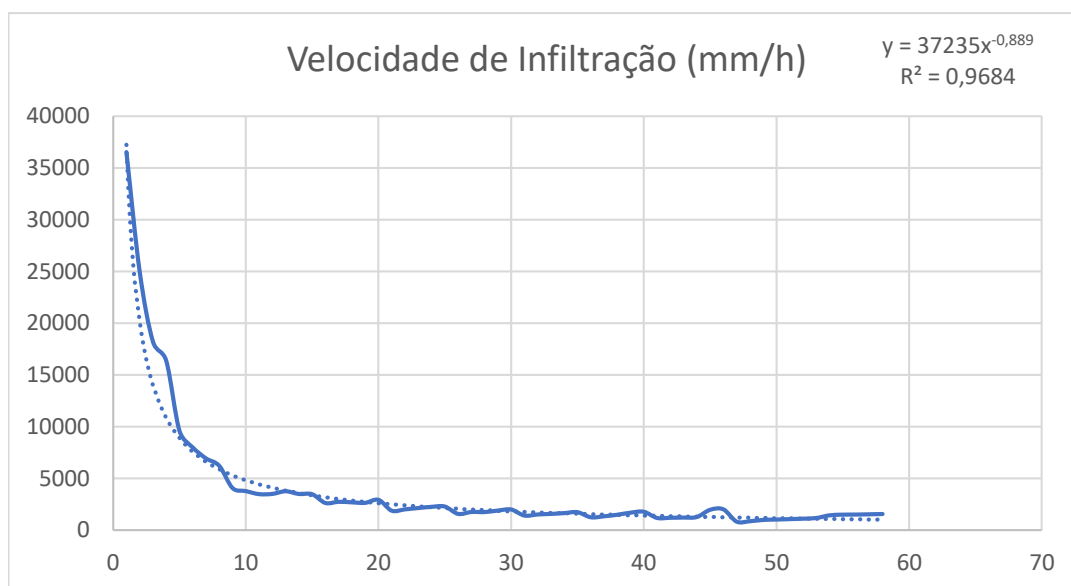
Para suavizar as amostras foi utilizado um filtro de mediana, disponível no Octave® e que não introduz amostras sintéticas aos dados, uma vez que, substitui a amostra espúria por uma outra que está próxima a ela.

O experimento foi realizado em diferentes tipos de solos, no entanto, os dados apresentados referem-se a um latossolo, situado na cidade de São Bento do Sapucaí – SP.

Para a aquisição das amostras, optou-se por realiza uma medida à cada 20 (vinte) segundos até o término do teste. Assim, cada aquisição levou, aproximadamente, 19 (dezenove) minutos com a aquisição de 59 (cinquenta e nove) amostras até sua conclusão.

As figuras 8 e 9 ilustram o gráfico de infiltração, o qual representa a velocidade de infiltração em relação ao tempo e os dados numéricos obtidos no experimento, respectivamente.

**Figura 7** - Gráfico de dispersão sobre a Velocidade de Infiltração.



Fonte: os autores (2020)

**Figura 8** - Dados obtidos com o sensor Ultrassônico.

Tempo Ac (seg)	Tempo Ac [min]	Leitura [cm]	Recarga [cm]	Dif. Leitura [cm]	IAC [mm]	VI [mm/min]	VI [mm/h]
0,00	0,00	18,35	0	0	0	0	0
20,00	0,33	19,62	0	0,00	202,9	608,7	36522
40,00	0,67	19,95	0	0,00	277,5	416,25	24975
60,00	1,00	19,31	0	0,00	303,4	303,4	18204
80,00	1,33	19,95	0	0,00	363,6	272,7	16362
100,00	1,67	20,27	0	0,00	266,1	159,66	9579,6
120,00	2,00	19,96	0	0,00	266,1	133,05	7983
140,00	2,33	20,27	0	0,31	269,2	115,3714286	6922,285714
160,00	2,67	20,91	0	0,64	275,6	103,35	6201
180,00	3,00	20,29	0	20,29	202,9	67,63333333	4058
200,00	3,33	20,91	0	20,91	209,1	62,73	3763,8
220,00	3,67	21,20	0	0,29	212	57,81818182	3469,090909
240,00	4,00	21,80	0	1,20	232,7	58,175	3490,5
260,00	4,33	21,21	0	0,00	270,8	62,49230769	3749,538462
280,00	4,67	20,92	0	0,00	271,1	58,09285714	3485,571429
300,00	5,00	21,40	0	0,01	288,4	57,68	3460,8
320,00	5,33	22,07	0	0,00	232,4	43,575	2614,5
340,00	5,67	22,55	0	0,77	257,7	45,47647059	2728,588235
360,00	6,00	21,99	0	0,00	267,5	44,58333333	2675
380,00	6,33	21,78	0	0,00	277,5	43,81578947	2628,947368
400,00	6,67	23,26	0	1,17	324,3	48,645	2918,7
420,00	7,00	21,80	0	21,80	218	31,14285714	1868,571429
440,00	7,33	24,30	0	1,75	244,4	33,32727273	1999,636364
460,00	7,67	22,95	0	0,00	271,7	35,43913043	2126,347826
480,00	8,00	24,40	0	1,74	299	37,375	2242,5
500,00	8,33	22,95	0	0,00	315,5	37,86	2271,6
520,00	8,67	22,55	0	22,55	225,5	26,01923077	1561,153846
540,00	9,00	24,88	0	0,87	261,5	29,05555556	1743,333333
560,00	9,33	23,43	0	0,00	270,2	28,95	1737
580,00	9,67	24,99	0	0,88	303,4	31,3862069	1883,172414
600,00	10,00	25,47	0	0,77	330,7	33,07	1984,2
620,00	10,33	24,11	0	24,11	241,1	23,33225806	1399,935484
640,00	10,67	24,99	0	0,00	267,5	25,078125	1504,6875
660,00	11,00	24,28	0	0,00	285,9	25,99090909	1559,454545
680,00	11,33	24,40	0	0,12	309	27,26470588	1635,882353
700,00	11,67	24,88	0	0,00	335,4	28,74857143	1724,914286
720,00	12,00	24,70	0	24,70	247	20,58333333	1235
740,00	12,33	24,28	0	0,00	273,1	22,14324324	1328,594595
760,00	12,67	25,16	0	0,00	312,2	24,64736842	1478,842105
780,00	13,00	25,55	0	0,00	363,6	27,96923077	1678,153846
800,00	13,33	27,89	0	0,69	393,1	29,4825	1768,95
820,00	13,67	26,63	0	26,63	266,3	19,48536585	1169,121951
840,00	14,00	25,76	0	0,00	277,2	19,8	1188
860,00	14,33	26,43	0	0,09	288	20,09302326	1205,581395
880,00	14,67	20,17	6,26	0,00	307,8	20,98636364	1259,181818
900,00	15,00	21,49	0	0,89	489,2	32,61333333	1956,8
920,00	15,33	20,92	0	0,01	511,2	33,33913043	2000,347826
940,00	15,67	21,20	0	21,20	212	13,53191489	811,9148936
960,00	16,00	20,82	0	0,02	227,4	14,2125	852,75
980,00	16,33	22,36	0	0,00	266,1	16,29183673	977,5102041
1000,00	16,67	22,36	0	0,68	281,7	16,902	1014,12
1020,00	17,00	21,09	0	0,00	299	17,58823529	1055,294118
1040,00	17,33	21,68	0	0,00	317,8	18,33461538	1100,076923
1060,00	17,67	22,09	0	0,02	341,5	19,33018868	1159,811321
1080,00	18,00	22,26	0	0,00	426,8	23,71111111	1422,666667
1100,00	18,33	22,66	0	0,00	454,1	24,76909091	1486,145455
1120,00	18,67	22,66	0	0,00	465,8	24,95357143	1497,214286
1140,00	19,00	23,24	0	0,00	481,5	25,34210526	1520,526316
1160,00	19,33	22,95	0	0,00	499	25,81034483	1548,62069

Fonte: os autores (2020)

O latossolo analisado obteve uma taxa de infiltração muito alta, sendo maior que  $30\text{mm}/h$ , mostrando ser um solo com a classe de permeabilidade muito rápida, como descreve a tabela 1 e compatível com o solo analisado. Os testes realizados permitiram conferir a utilização do dispositivo de automação acoplado ao infiltrômetro cilíndrico de Muntz e atestar sua eficácia no uso deste tipo de experimento, ao ar livre.

## CONCLUSÕES

O infiltrômetro cilíndrico de Muntz é um dispositivo dedicado ao cálculo da capacidade de infiltração de água em determinado tipo de solo. O dispositivo é composto por dois anéis cilíndricos, circuncêntricos que são preenchidos com água, onde mede-se o tempo que esse volume de água leva para ser absorvido pelo solo. As medidas (volume absorvido×tempo) são realizadas manualmente e este projeto propôs uma modernização, para esse tipo de instrumento, com a automação do infiltrômetro.

O objetivo da automação é uma melhora na precisão dos dados obtidos para os cálculos finais e na condição, por vezes insalubre, da realização da coleta de dados que se passa ao ar livre. A solução proposta é simples, não invasiva, de custo reduzido, mas bastante eficiente.

Com o protótipo proposto, pode-se realizar a aquisição de dado em qualquer tipo de solo, independente das condições climáticas do dia, tornando o uso do infiltrômetro prático e confiável.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, pela Bolsa de Iniciação Científica concedida para a realização do projeto.

## REFERENCIAS

AGRIEXPO. Infiltrômetro de anel duplo MÜNTZ. Disponível em: <https://www.agriexpo.online/pt/prod/sdec-france/product-175739-70072.html>.

ALVES SOBRINHO, T.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, 2002.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A., MANTOVANI, E.C. (2006) **Manual de irrigação**, 8 ed. Viçosa: UFV, 545p.

FAGUNDES, E. A. A. et al. Determinação da Infiltração e Velocidade de Infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT. (2012), **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia**, v.8, N.14; p.369-378.

JOSÉ, J. V.; REZENDE, R.; MARQUES, P. A. A.; FREITAS, P. S. L.; ALVES, D. S. Determinação da Velocidade de Infiltração Básica de Água em Dois Solos do Noroeste do Estado do Paraná, **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.6, n.1, p. 155-170, 2013.

LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba – ESALQ/ESALQ. 1995, 497 p.

MORETTI FILHO, J.; MANFRINATO, H. A. Determinação da capacidade de infiltração do solo para fins de irrigação por aspersão. Cadeira de Engenharia Rural da E. S. A. Luiz de

Queiroz, SCIELO. 1965. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/aesalq/a/LmXqSqKykKCLFdv86hp46vn/?format=pdf&lang=pt>.

SILVA, M. C. A.; TARGA, M. S.; CEZAR, V. R. S. Sistema arduino e sensor ultrassônico para automação da determinação da taxa de infiltração de água no solo, Revista Ambiental Água, v. 7, 2020.

LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba – ESALQ/ESALQ. 1995, 497 p.