

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

**DETERMINAÇÃO DA TAXA DE INFILTRAÇÃO DO SOLO
UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO**

DANIEL ADRIANO DOS MONTES



Daniel Adriano dos Montes

**DETERMINAÇÃO DA TAXA DE INFILTRAÇÃO DO SOLO
UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Sidney Pereira

Montes Claros

Instituto de Ciências Agrárias – UFMG

2017

Daniel Adriano dos Montes. DETERMINAÇÃO DA TAXA DE INFILTRAÇÃO DO SOLO UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO

Aprovado pela banca examinadora constituída por:

Prof. Dr. Flávio Gonçalves Oliveira – ICA/UFMG

Prof.^a Dr. Irene Menegali – ICA/UFMG



Prof. Dr. Sidney Pereira – Orientador ICA/UFMG

Montes Claros, 28 de NOVEMBRO de 2017.

RESUMO

A tecnologia no setor agrícola vem sendo desenvolvida e empregada de forma crescente como forma de aumentar a produtividade. Na irrigação existem várias tecnologias que têm sido desenvolvidas a fim de se ter maior eficiência e menor índice de desperdício de água. Um importante fator que tem contribuído com o avanço tecnológico é o uso dos microcontroladores que permitem a automação de processos com alta confiabilidade e praticidade. O objetivo desse trabalho foi desenvolver e avaliar um dispositivo para determinação da velocidade de infiltração básica (VIB) do solo utilizando um microcontrolador, a fim de se proporcionar precisão, praticidade, confiabilidade nos dados coletados e baixo custo de instalação. Os testes de campo foram realizados em uma área próxima ao Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, em solos com textura média e arenosa. Primeiramente foi feita a programação do dispositivo e em seguida, para teste do sistema, foram realizadas análises da velocidade de infiltração básica do solo utilizando o dispositivo acoplado ao infiltrômetro de anel. Para verificação e comparação da eficiência do dispositivo, também foram realizadas leituras manuais pelo método convencional no mesmo instante das automáticas. No total foram realizados cinco testes com cada método. Para determinação do valor da VIB foi utilizada a equação potencial de Kostiaikov. Os resultados encontrados através do método convencional e do método com o dispositivo foram respectivamente 30,9 e 31,0 mm h⁻¹ no teste 1; 30,7 e 30,9 mm h⁻¹ no teste 2; 63,8 e 63,5 mm h⁻¹ no teste 3; 123,7 e 123,3 mm h⁻¹ no teste 4; e 9,8 e 9,8 mm h⁻¹ no teste 5. Após a obtenção dos resultados, aplicou-se o teste de correlação de Pearson para medir o grau de correlação linear entre os dois métodos, a fim de se determinar a eficiência e precisão do dispositivo desenvolvido. O teste apresentou resultado de 0,99 apontando uma forte correlação linear entre os dois métodos. Conclui-se que o dispositivo de medição automática desenvolvido pode ser utilizado na determinação da velocidade de infiltração básica do solo, pois se mostrou eficiente e preciso nos testes realizados além de apresentar baixo custo de aquisição.

Palavras-chave: Velocidade de infiltração básica do solo, Infiltrômetro de anel, Arduino.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelos mais comuns da plataforma Arduino no mercado.	13
Figura 2 – Sensor ultrassônico HC-SR04.	13
Figura 3 – Arduino Uno R3.	15
Figura 4 – Programação do dispositivo.	16
Figura 5 – Dispositivo de medição desenvolvido.	16
Figura 6 – Montagem do dispositivo junto ao infiltrômetro de anel.	17
Figura 7 – Vista superior do dispositivo instalado.	18
Gráfico 1 – Velocidade de Infiltração em função do tempo, obtido pelo método automático e convencional no primeiro teste.	21
Gráfico 2 – Velocidade de Infiltração em função do tempo, obtido pelo método automático e convencional no segundo teste.	21
Gráfico 3 – Velocidade de Infiltração em função do tempo, obtido pelo método automático e convencional no terceiro teste.	22
Gráfico 4 – Velocidade de Infiltração em função do tempo, obtido pelo método automático e convencional no quarto teste.	22
Gráfico 5 – Velocidade de Infiltração em função do tempo, obtido pelo método automático e convencional no quinto teste.	23

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	14
Equação 2	19
Equação 3	19
Equação 4	19
Equação 5	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado da análise da textura do solo dos quatro primeiros testes.23

Tabela 2 – Resultado da análise da textura do solo do último teste.23

Tabela 3 – Preço médio dos equipamentos que compõem o dispositivo e preço médio total do dispositivo.24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VIB – Velocidade de Infiltração básica do solo

VI – Velocidade de infiltração

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Importância da Irrigação.	11
2.2 Taxa de infiltração básica do solo.	11
2.3 Arduino	12
2.4 Sensor ultrassônico HC-SR04	13
3 MATERIAL E MÉTODOS	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5 CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

A crise hídrica é um dos principais problemas discutidos nos tempos atuais em várias partes do mundo. Nos últimos anos, o Brasil tem passado por um crítico período de seca, principalmente no nordeste, marcado pelos baixos índices de precipitação (MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016).

Outro fator alvo de muitas discussões no País é o Produto Interno Bruto (PIB) que tem apresentado resultado decrescente nos últimos anos. Em 2016 a economia do País teve uma queda de 3,6%, totalizando R\$ 6,266 trilhões (SARAIVA; SALES, 2017). Um dos pilares da economia brasileira que amenizou o impacto da redução do PIB foi o agronegócio, que apresentou crescimento de 4,48% no mesmo ano (CEPEA, 2017). Com os problemas enfrentados pela seca em grande parte do país, frente ao crescimento produtivo do setor agrícola, gera-se um grande paradoxo: como é possível produzir cada vez mais, mesmo com baixos índices de precipitação? A resposta para tal argumento está aliada ao avanço tecnológico na agricultura, onde é fundamental destacar a técnica da irrigação, que vem sendo aprimorada com o passar dos anos.

A tecnologia no setor agrícola vem sendo desenvolvida e empregada de forma crescente como forma de aumentar a produtividade. Pesquisas nas áreas de mecanização agrícola, melhoramento genético, geoprocessamento, agricultura de precisão, entre outras, têm contribuído bastante com o crescimento produtivo na agricultura. Um crescente avanço tecnológico que tem ganhado seu espaço é a automação de processos, promovendo precisão e rapidez, e conseqüentemente a maximização produtiva dos diversos sistemas agrícolas (GUIMARÃES; BAUCHSPIESS, 2012).

Na irrigação existem várias tecnologias desenvolvidas a fim de se ter melhor eficiência e menor índice de desperdício de água. Nos tempos atuais existem inúmeros softwares capazes de auxiliar no manejo, controle e monitoramento da irrigação. Um importante fator que tem contribuído com o avanço dessas tecnologias é o uso dos microcontroladores.

O primeiro microcontrolador, o *TMS 1000* de 4 bits, foi criado em 1974 pela *Texas Instruments*, poucos anos depois da criação do primeiro microprocessador desenvolvido pela *INTEL*. Três anos depois, a *INTEL* também lança o seu primeiro microcontrolador, o 8048. Com o passar dos anos, vários microcontroladores foram desenvolvidos e existem atualmente no mercado diversos fabricantes, como por exemplo, a *Mircoship*, *ATMEL*, *HOLTEK* e a *Motorola* (NETO; MONTEIRO; QUEIROGA, 2012).

Na agricultura, os microcontroladores têm sido empregados no controle de irrigação; controle de pragas; previsão de geadas e enchentes; monitoramento de dados climatológicos; variáveis como umidade, salinidade, pH, temperatura, taxa de crescimento, taxa de massa verde e fotossíntese, entre outros. Suas diversas aplicações permitem a automação de sistemas gerando continuamente amostras, dados e resultados com extrema confiabilidade e precisão, diferente de processos manuais que estão susceptíveis aos diversos tipos de falhas humanas (NETO; CRUVINEL, 1997).

De modo geral, os microcontroladores permitem a automação de processos com alta confiabilidade e a um baixo custo de investimento e manutenção, proporcionando uma ótima relação de custo benefício.

O objetivo desse trabalho foi desenvolver e avaliar um dispositivo para determinação da velocidade de infiltração básica do solo utilizando um microcontrolador, a fim de se proporcionar precisão, praticidade, confiabilidade nos dados coletados e baixo custo de instalação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 IMPORTÂNCIA DA IRRIGAÇÃO

A irrigação é uma técnica milenar que visa à alta produtividade agrícola mesmo em tempos de seca. Além da maior produção, a irrigação permite a criação de empregos, aumento da renda per capita, grande crescimento de bens de consumo e serviços, diminuição do êxodo rural e menores perdas de água quando bem manejada, contribuindo com o meio ambiente (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Sistemas de irrigação mal projetados podem ofertar menos água do que uma determinada cultura precisa ou podem também fazer o inverso, aplicando mais água que o necessário, provocando perdas desnecessárias. Neste último caso, a cultura também pode sofrer estresse hídrico diminuindo seu potencial produtivo. Além dos danos à cultura, o excesso de água provoca fenômenos indesejados como empocamento, que conseqüentemente pode provocar processos erosivos no solo dependendo da declividade do terreno (BRANDÃO et al., 2006).

2.2 TAXA DE INFILTRAÇÃO BÁSICA DO SOLO

Para se projetar um sistema de irrigação eficiente é necessário conhecer algumas variáveis importantes, entre elas pode-se destacar a velocidade de infiltração básica do solo. A velocidade ou taxa de infiltração básica é a quantidade de água que infiltra no solo por unidade de tempo, geralmente expressa por mm h^{-1} , quando esta atinge um nível de estabilidade. Na ocorrência de chuva ou irrigação, a velocidade de infiltração é máxima no início do processo e com o passar do tempo, é decrescente até atingir um valor mínimo e constante (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). A velocidade de infiltração de água no solo varia de acordo com as características do solo. As principais características que influenciam no processo são: a umidade inicial do solo, a variabilidade espacial, a textura e estrutura do solo, a matéria orgânica e o ar comprimido (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI; 2006).

Na parte de irrigação, o conhecimento da taxa de infiltração básica do solo permite dimensionar sistemas com enfoque no uso eficiente da água, permitindo saber se o solo suporta a intensidade de aplicação projetada, evitando assim perdas desnecessárias, tais como escoamento superficial e processos erosivos no solo. Atualmente, sabe-se que, 70% do

consumo mundial de água derivada dos mananciais é destinada à agricultura irrigada (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). Portanto o correto dimensionamento desses sistemas é essencial para contribuir com a preservação e conservação dos recursos hídricos e do solo.

Existem atualmente diversos métodos para determinação da taxa de infiltração básica. Os métodos mais comuns são os infiltrômetros de anel e os simuladores de chuva.

O infiltrômetro de anel é um método muito utilizado, mas que é ainda aplicado na maioria das vezes de forma manual, estando sujeito ao erro humano. O método consiste no posicionamento de dois anéis no solo, sendo um de diâmetro maior e outro menor. O anel menor apresenta geralmente diâmetro de 300 mm e o anel maior o dobro do diâmetro. Os anéis são então cravados no solo e preenchidos com água. O anel externo tem apenas o objetivo de direcionar a infiltração do anel interno no sentido vertical, já que ele reduz o efeito da dispersão lateral da água ao criar uma espécie de camada previamente umedecida ao redor do anel interno. Deve-se então manter uma camada de água dentro dos anéis e observar a variação de lâmina d'água no interior do anel interno com o passar do tempo. A análise deve ser feita até que a taxa de infiltração atinja um valor constante com o passar do tempo. O método do infiltrômetro é geralmente associado ao modelo de *Kostiakov* para cálculo da VIB (BRANDÃO et al., 2006).

2.3 ARDUINO

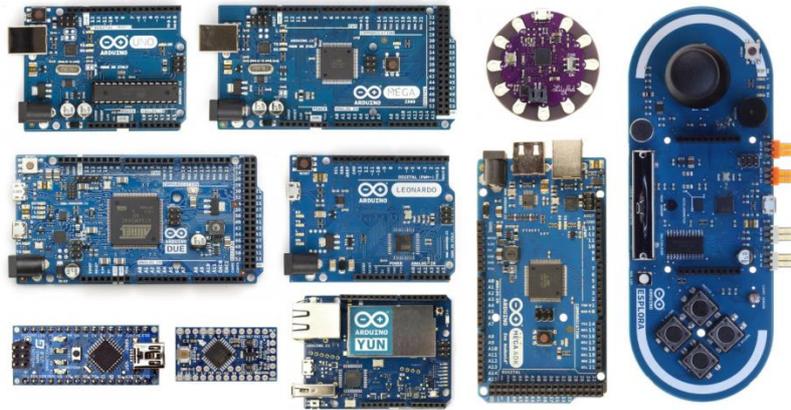
O Arduino é o resultado de um projeto italiano iniciado em 2005 e consta em uma plataforma eletrônica de código aberto, composto pela parte de hardware e software de fácil utilização. Esse microcontrolador tem sido utilizado em diversos projetos por programadores, estudantes, amadores e até mesmo profissionais de diversas áreas (ARDUINO.CC, 2015).

Existem atualmente diversos modelos e placas da plataforma Arduino no mercado (FIGURA 1), das quais podemos citar o Arduino Uno R3, Arduino Mega, Arduino Duemilanove, Arduino Nano entre outros.

As plataformas Arduino são compostas por microcontroladores ATMEL AVR de 8 bits, e possuem pinos de entrada e saída analógicos e digitais. O dispositivo ainda possui entrada USB, permitindo interação com computadores e outros dispositivos. A fonte de alimentação dessas placas deve ser de 5 a 35 V (dependendo do modelo da placa) em corrente contínua mínima de 300 mA, e a dos circuitos do sistema entre 3,3 a 5 V. A plataforma Arduino pode ainda ser combinada com outras extensões, denominadas Shields, formando

sistemas mais complexos e permitindo outros recursos como conexão de rede, comunicação via Bluetooth, entre outros (GONZAGA, 2015).

Figura 1 – Modelos mais comuns da plataforma Arduino no mercado.



Fonte: Thomsen, 2014.

2.4 SENSOR ULTRASSÔNICO HC-SR04

O HC-SR04 é um sensor ultrassônico usado para medição de distâncias com ótima precisão em até 4 m (FIGURA 2). O sensor possui um circuito com emissor e receptor em seu sistema e também a presença de quatro pinos, sendo estes o *VCC*, *ECHO*, *GND* e *Trigger*. O HC-SR04 deve ser alimentado em corrente contínua de 5 V e sua corrente de operação é de 2 mA, com ângulo de efeito de 15° (NAKATANI; GUIMARÃES; NETO, 2014).

Figura 2 – Sensor ultrassônico HC-SR04.



Fonte: Do autor, 2017.

A medição de distância acontece quando o pino *trigger* recebe um pulso de 5 V fazendo com que haja uma transmissão de 8 ciclos de pulsos ultrassônicos a 40 kHz. Quando

há uma resposta pelo sinal refletido, o pino *Echo* fica no estado *high* e sofre um *delay* correspondente à distância captada. A distância é calculada por uma simples equação (Equação 1) que leva em consideração a velocidade do som (340 m s^{-1}) e o tempo correspondente em *high* (NAKATANI; GUIMARÃES; NETO, 2014).

$$\text{Cálculo da distância} = \frac{\text{tempo em High} * \text{Velocidade do som}}{2} \quad (\text{Equação 1})$$

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os testes de campo foram realizados em uma área próxima ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, em solos com textura média e arenosa. O local situa-se no município de Montes Claros. O município se localiza a 16° 44' 06'' S e 43° 51' 42'' W, possui altitude média de 648 m, com uma área de aproximadamente 3.594,1 km², população estimada de 398.288 habitantes e a precipitação média anual é de 1029 mm (IBGE, 2016).

A plataforma Arduino utilizada no projeto foi a Uno R3 (FIGURA 3). A plataforma possui dimensões de 6,8 x 5,3 cm, entrada USB, quatorze pinos de entrada/saída digitais e seis pinos de entrada analógica.

Figura 3 – Arduino Uno R3.



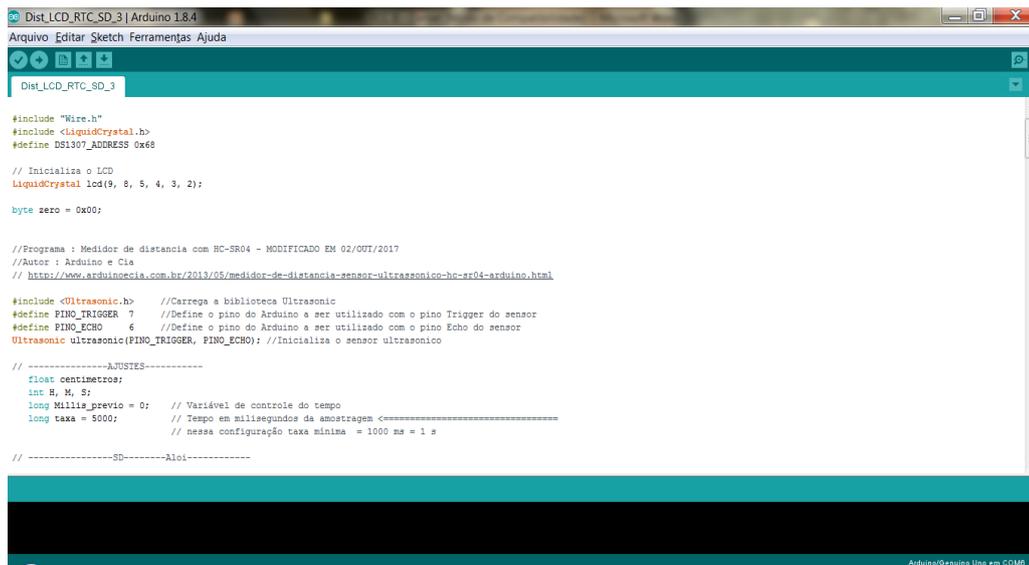
Fonte: ARDUINO.CC, 2015.

Primeiramente foi feita a programação do dispositivo (FIGURA 4) através da IDE (*Integrated Development Environment*) versão 1.8.4 do Arduino, obtido pelo download no site dos criadores. Através da linguagem semelhante a C/C++, o sensor foi programado para monitorar e armazenar a variação da lâmina d'água ao longo do tempo, a ser interpretado e calculado posteriormente.

O dispositivo de medição da taxa de infiltração do solo foi feito através de um sistema integrado entre o Arduino, o sensor HC-SR04 e um *shield RTC*. O *shield* teve a função de exibir o tempo real e armazenar os dados de distância coletados do teste em um cartão SD. Para a conexão do Arduino, do sensor HC-SR04 e do *Shield RTC* foram utilizados uma *protoboard* (placa que permite confecção de circuitos elétricos) e *jumpers* (pequenos fios de conexão). A fim de se facilitar o monitoramento do teste, foi acoplado ao sistema também

um *Display LCD* 16x2, como mostra a Figura 5, para visualização da distância detectada e da hora em tempo real. Na programação do sistema, o dispositivo foi programado para detectar a altura da lâmina de água a cada segundo e exibir o valor no *Display LCD*, porém o armazenamento desses dados no cartão SD foi feito a cada 5 segundos a fim de se facilitar o processamento posteriormente.

Figura 4 – Programação do dispositivo.



```

Dist_LCD_RTC_SD_3 | Arduino 1.8.4
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

Dist_LCD_RTC_SD_3

#include "Wire.h"
#include <LiquidCrystal.h>
#define DS1307_ADDRESS 0x68

// Inicializa o LCD
LiquidCrystal lcd(9, 8, 5, 4, 3, 2);

byte zero = 0x00;

//Programa : Medidor de distancia com HC-SR04 - MODIFICADO EM 02/OUT/2017
//Autor : Arduino e Cia
// https://www.arduino.cc.br/2013/05/medidor-de-distancia-sensor-ultrasonico-hc-sr04-arduino.html

#include <Ultrasonic.h> //Carrega a biblioteca Ultrasonic
#define PINO_TRIGGER 7 //Define o pino do Arduino a ser utilizado com o pino Trigger do sensor
#define PINO_ECHO 6 //Define o pino do Arduino a ser utilizado com o pino Echo do sensor
Ultrasonic ultrasonico(PINO_TRIGGER, PINO_ECHO); //Inicializa o sensor ultrasonico

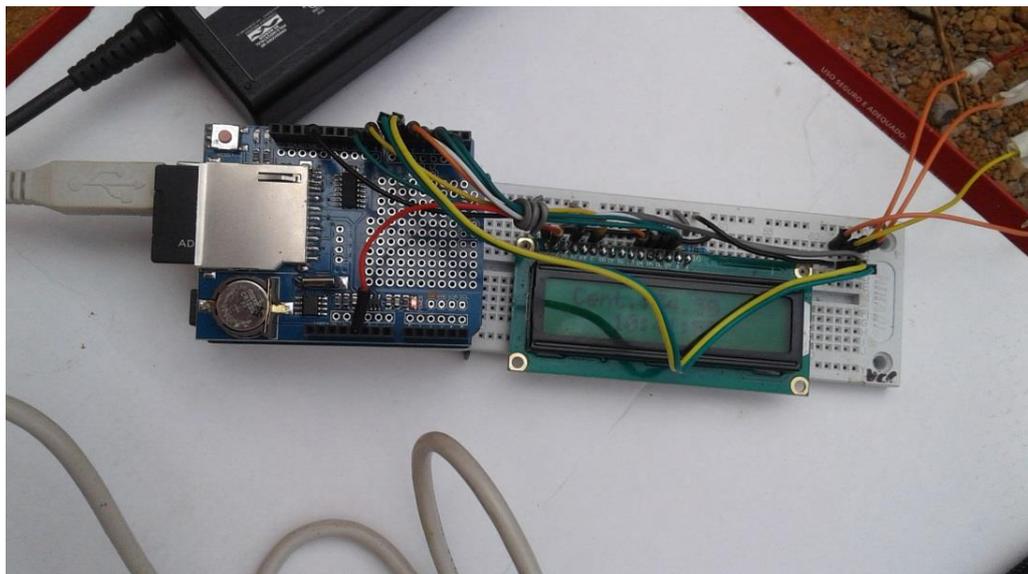
// -----AJUSTES-----
float centimetros;
int H, M, S;
long Millis_paseiro = 0; // Variável de controle do tempo
long taxa = 5000; // Tempo em milisegundos da amostragem <-----
// nessa configuração taxa mínima = 1000 ms = 1 s

// -----SD-----Aloí-----

```

Fonte: Do autor, 2017.

Figura 5 – Dispositivo de medição desenvolvido.



Fonte: Do autor, 2017.

Para teste do sistema, foram realizadas análises da velocidade de infiltração básica do solo utilizando o dispositivo acoplado ao infiltrômetro de anel. O infiltrômetro foi instalado no local juntamente com o dispositivo de medição. O anel de diâmetro maior possui 60 cm de diâmetro e o menor 30 cm, e ambos com altura de 30 cm. Os anéis foram posicionados no solo e então cravados até que permanecesse uma altura exposta de aproximadamente 15 cm. Primeiramente adicionou-se água no interior do anel externo a fim de se criar uma camada umedecida no interior do solo em volta do anel interno. Este procedimento é essencial para direcionar a infiltração no anel interno apenas no sentido vertical descendente (BRANDÃO et. al., 2006). Em seguida adicionou-se água no interior do anel interno.

O dispositivo de medição foi colocado na parte superior de um tubo de PVC de 150 mm de diâmetro que foi inserido no interior do anel interno. O tubo foi confeccionado com furos na parte inferior para permitir que o nível de água no anel interno fosse o mesmo dentro do tubo, e sua utilização foi para evitar grandes agitações no alcance do sensor ultrassônico ao se adicionar água no anel interno. Para alimentação do circuito elétrico foi utilizado um computador, que através de um cabo USB, conectava diretamente na plataforma Arduino acionando o dispositivo como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Montagem do dispositivo junto ao infiltrômetro de anel.



Fonte: Do autor, 2017.

A Figura 7 mostra a vista superior da montagem do dispositivo no infiltrômetro para testes de campo.

Figura 7 – Vista superior do dispositivo instalado.



Fonte: Do autor, 2017.

Na medida em que a água foi infiltrando no solo no anel interno, foi detectada em tempo real sua altura através do dispositivo, obtendo assim sua variação com o passar do tempo. Inicialmente foram mensurados os níveis de água a cada 2 min, posteriormente a cada 5 min, 10 min e por fim 15 min.

A variação da lâmina de água permaneceu aproximadamente entre a faixa de 10 a 8,0 cm em relação ao solo, valor recomendado por Bernardo; Soares e Mantovani, (2006). Quando a água atingia o valor aproximado de 8,0 cm, era feita uma rápida reposição até a marca dos 10 cm aproximadamente para a próxima contagem.

Os testes foram feitos até que a infiltração de água pelo tempo permanecesse constante, tal fato foi considerado ao encontrar três leituras iguais consecutivas, admitindo-se assim, que fora encontrada a velocidade de infiltração básica do solo (BRANDÃO et al., 2006).

Para verificação e comparação da eficiência do dispositivo, também foram realizadas análises manuais (método padrão de utilização do infiltrômetro de anel), que foram feitas no mesmo instante das automáticas. No total foram realizados cinco testes com cada método.

Após os testes de campo, os resultados obtidos por meio das anotações pelo método manual e por meio dos dados armazenados no cartão SD pelo dispositivo de medição automática, foram processados e analisados cuidadosamente. Para determinação do valor da VIB foi utilizada a equação potencial de Kostikov (EQUAÇÃO 5), em que a infiltração

acumulada e a velocidade de infiltração instantânea são dadas pelas equações 3 e 4 respectivamente (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006):

$$I = k t_0^a \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

I = infiltração acumulada (mm);

k = parâmetro dependente da condição de umidade inicial do solo;

t_0 = tempo de oportunidade de infiltração (min);

a = constante dependente do solo, que pode variar entre 0 e 1.

$$VI = \frac{dI}{dT} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

VI = velocidade de infiltração (mm h^{-1});

dI/dT = derivada da infiltração acumulada em relação ao tempo.

$$VI = a k t_0^{a-1} \quad (\text{Equação 4})$$

Para determinação dos valores das constantes “ k ” e “ a ” utilizou-se o método da regressão linear.

Após a obtenção dos resultados dos testes de campo, aplicou-se o teste de correlação de Pearson (EQUAÇÃO 6) para medir o grau de correlação linear entre os dois métodos, a fim de se determinar a eficiência e precisão do dispositivo desenvolvido. O teste de Pearson possui resultado que pode variar entre -1 e 1, sendo que, quanto maior seu valor (positivo ou negativo) maior é a associação entre as matrizes, e quanto mais próximo de zero, menor é a associação linear entre as amostras (ZIMMERMANN, 2014).

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2)(\sum (y_i - \bar{y})^2)}} \quad (\text{Equação 5})$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro teste realizado, após o processamento dos dados obtidos por meio do dispositivo de medição automática, a velocidade inicial de infiltração de água no solo foi de $49,8 \text{ mm h}^{-1}$ e foi diminuindo até permanecer em um valor constante de $30,9 \text{ mm h}^{-1}$, em que se admite que seja a VIB. Por meio do método manual, realizado no mesmo instante, a velocidade inicial do solo foi de $50,9 \text{ mm h}^{-1}$ e foi diminuindo até ser encontrado o valor da VIB de $31,0 \text{ mm h}^{-1}$. A infiltração acumulada captada pelo dispositivo foi de 9,6 cm, enquanto o mesmo dado obtido através do método convencional foi de 9,4 cm. O teste apresentou tempo acumulado total de 160 minutos, ou seja, 2 horas e 40 minutos de duração. O Gráfico 1 apresenta o comportamento da velocidade de Infiltração em função do tempo, obtido por meio do dispositivo de medição e por meio do método convencional.

No segundo teste realizado a VIB calculada através dos dados de infiltração obtidos pelo dispositivo foi de $30,7 \text{ mm h}^{-1}$, sendo a velocidade de infiltração inicial de $56,8 \text{ mm h}^{-1}$. Já por meio do método convencional a VIB encontrada foi de $30,9 \text{ mm h}^{-1}$ e sua velocidade de infiltração inicial foi de $52,4 \text{ mm h}^{-1}$ (GRÁFICO 2). A infiltração acumulada registrada pela plataforma Arduino foi de 9,7 cm enquanto que pelo método convencional foi de 9,5 cm. O teste também teve duração de 160 minutos.

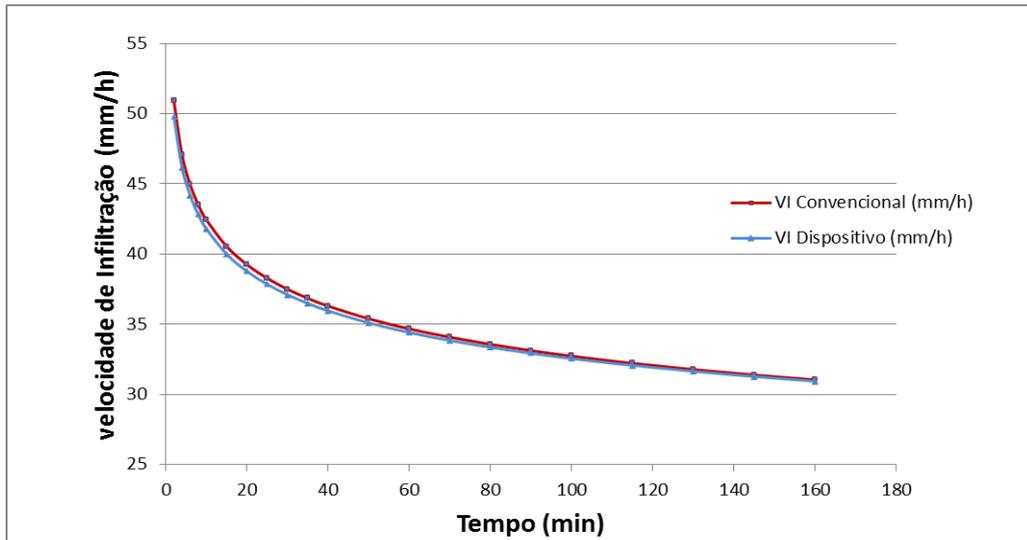
No terceiro teste realizado a VI inicial encontrada foi de $156,8 \text{ mm h}^{-1}$ e a VIB foi de $63,8 \text{ mm h}^{-1}$ com o dispositivo. Já com o método convencional foi encontrada uma VI inicial de $167,6 \text{ mm h}^{-1}$ e VIB de $63,5 \text{ mm h}^{-1}$ (GRÁFICO 3). A infiltração acumulada foi de 20,9 cm e 21,3 cm para os métodos automático e convencional respectivamente. Um dos fatores que pode ter influenciado em tal resultado é a umidade inicial do solo (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

No quarto teste realizado, após o processamento dos dados obtidos através do dispositivo de medição automática, a VI inicial do solo foi de 144 mm h^{-1} e foi diminuindo observando-se no final do teste um valor de $123,7 \text{ mm h}^{-1}$, sendo este o valor da VIB. Por meio do método manual, a velocidade inicial do solo foi de $154,8 \text{ mm h}^{-1}$ e foi diminuindo até ser encontrado o valor da VIB de $123,3 \text{ mm h}^{-1}$ (GRÁFICO 4). A infiltração acumulada armazenada pelo dispositivo foi de 31 cm, enquanto que o método convencional apresentou 31,5 cm.

No quinto e último teste realizado a VIB calculada através dos dados de infiltração obtidos pelo dispositivo foi de $9,8 \text{ mm h}^{-1}$, sendo a velocidade de infiltração inicial de 91 mm h^{-1} . Com o método convencional a VIB encontrada foi também de $9,8 \text{ mm h}^{-1}$ e sua

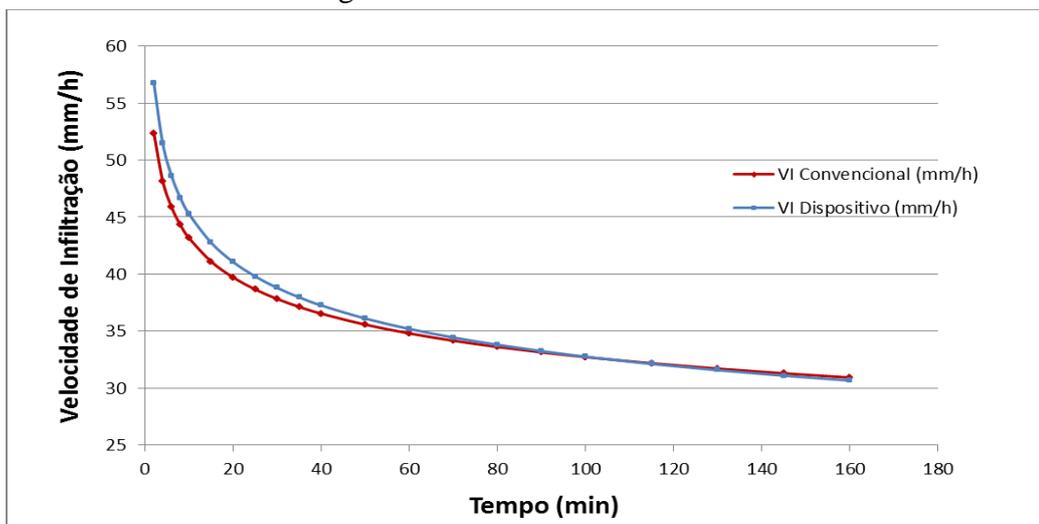
velocidade de infiltração inicial foi de $89,4 \text{ mm h}^{-1}$ (GRÁFICO 5). A infiltração acumulada registrada pela plataforma Arduino foi de 5,2 cm enquanto que pelo método convencional foi de 5,0 cm. A textura do solo avaliada no local do teste 5 é diferente da textura dos testes 1, 2, 3 e 4, fato que pode ter contribuído com a diferença do valor da VIB do último teste para os primeiros.

Gráfico 1 – Velocidade de Infiltração em função do tempo, obtido pelo método automático e convencional no primeiro teste.



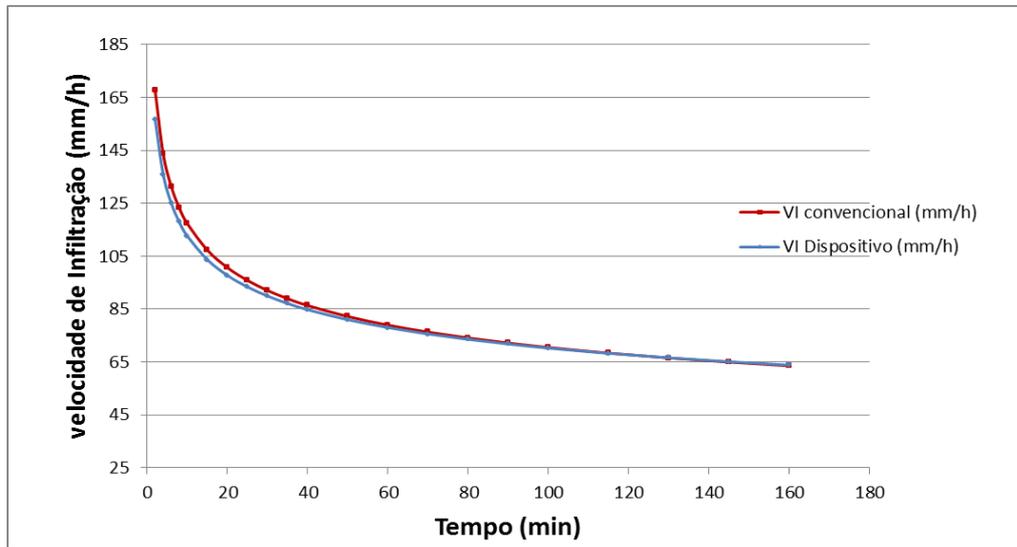
Fonte: Do autor, 2017.

Gráfico 2 – Velocidade de Infiltração em função do tempo, obtido pelo método automático e convencional no segundo teste.



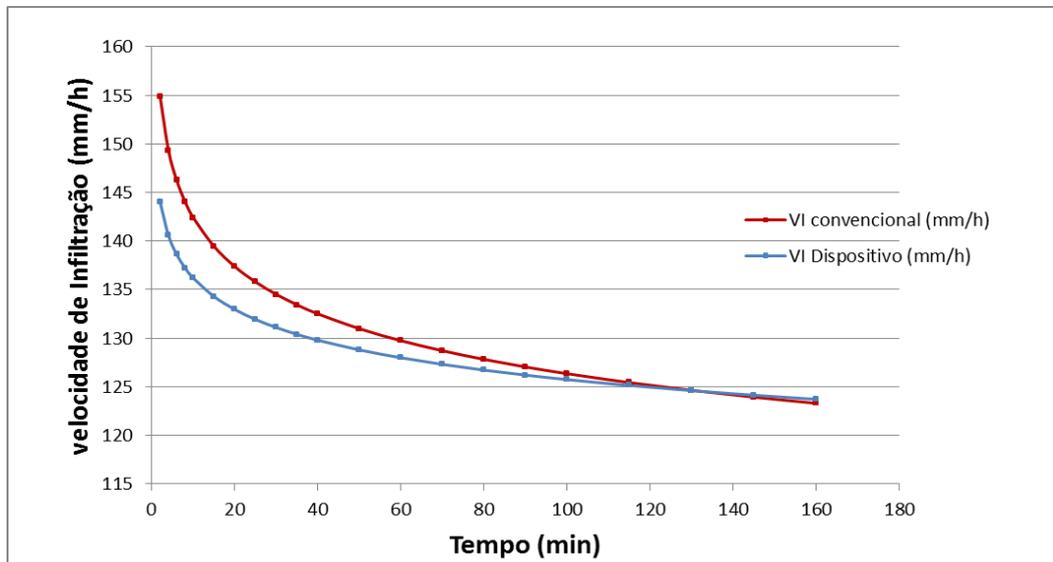
Fonte: Do autor, 2017.

Gráfico 3 – Velocidade de Infiltração em função do tempo, obtido pelo método automático e convencional no terceiro teste.



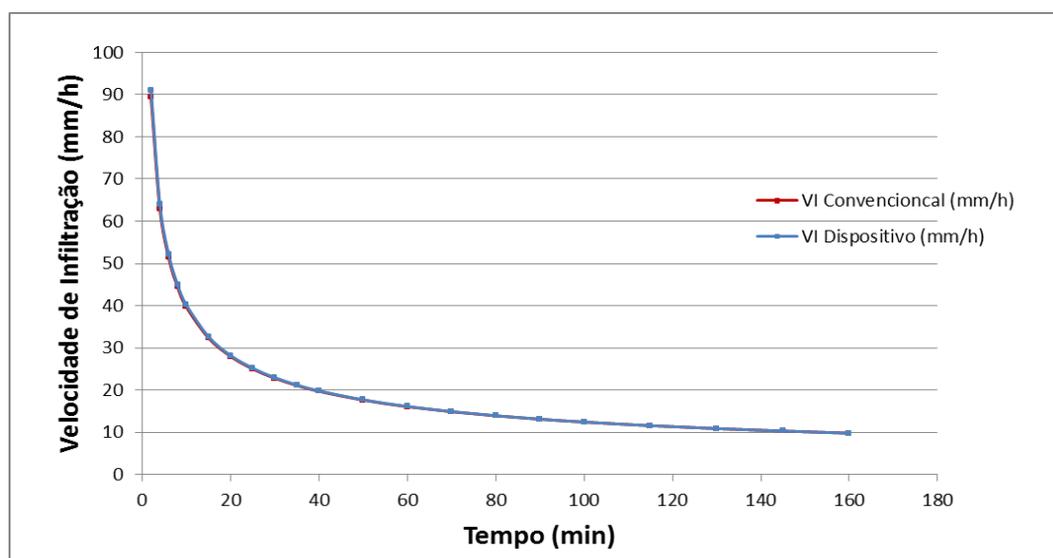
Fonte: Do autor, 2017.

Gráfico 4 – Velocidade de Infiltração em função do tempo, obtido pelo método automático e convencional no quarto teste.



Fonte: Do autor, 2017.

Gráfico 5 – Velocidade de Infiltração em função do tempo, obtido pelo método automático e convencional no quinto teste.



Fonte: Do autor, 2017.

Observa-se que a curva da velocidade de infiltração em função do tempo obtida pelos dois métodos é bastante semelhante.

O solo dos quatro primeiros testes possui textura arenosa e o do último teste, textura média. A análise da textura do solo foi feita no laboratório de solos do ICA (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultado da análise da textura do solo dos quatro primeiros testes.

Composição do solo	Quantidade (dag kg ⁻¹)
Areia grossa	9,60
Areia fina	38,40
Silte	46,00
Argila	6,00

Fonte: Laboratório de solos do ICA.

Tabela 2 – Resultado da análise da textura do solo do último teste.

Composição do solo	Quantidade (dag kg ⁻¹)
Areia grossa	48,80
Areia fina	7,20
Silte	28,00
Argila	16,00

Fonte: Laboratório de solos do ICA.

Percebe-se que os testes 1, 2, 3 e 4 apresentaram VIB maior que 30 mm h^{-1} , indicando uma VIB muito alta, característica de solos com textura arenosa. Já o teste 5 apresentou valor da VIB de $9,8 \text{ mm h}^{-1}$, indicando uma velocidade média, característica de solos com textura média a argilosa (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Os resultados do método convencional e do dispositivo de medição automática mostraram-se satisfatórios e muito próximos, apresentando uma variação máxima de 0,4 mm.

Após a realização dos testes e dos resultados obtidos, foi aplicado o teste de correlação de Pearson para saber o grau de correlação entre os métodos. Aplicando-se o teste de Pearson, observou-se correlação de 0,99 indicando uma correlação muito forte entre os dois métodos, comprovando estatisticamente que o dispositivo de medição automática pode ser utilizado de forma eficiente e precisa na determinação da VIB.

A montagem do dispositivo foi de baixo custo, apresentando valor médio viável. Os equipamentos que compõem o dispositivo de medição automática são facilmente encontrados no mercado e possuem baixo custo. A Tabela 1 mostra o preço médio de cada equipamento e o valor médio total do dispositivo de medição.

Tabela 1 – Preço médio dos equipamentos que compõem o dispositivo e preço médio total do dispositivo.

Equipamento	Preço médio (R\$)
Placa Arduino Uno R3	30,00
Sensor Ultrassônico HC-SR04	10,00
Protoboard	30,00
Jumpers	5,00
Shield RTC	25,00
Display LCD 16X2	11,00
Cartão SD com Adaptador	20,00
Mão-de-obra	20,00
TOTAL	151,00

Fonte: Do autor, 2017.

Portanto, o dispositivo de medição automática apresentou custo médio total de R\$ 151,00 (cento e trinta e um reais).

CONCLUSÃO

Conclui-se então que o dispositivo de medição automática desenvolvido que possui como princípio medidor a plataforma Arduino e o sensor ultrassônico HC-SR04 pode ser utilizado para determinação da velocidade de infiltração básica do solo, pois mostrou-se eficiente e preciso nos testes realizados.

Além da precisão, o dispositivo promove grande praticidade e redução da possibilidade de erro, já que o analista não precisa acompanhar e anotar a variação da lâmina de água ao longo do tempo, bastando apenas processar os dados armazenados no cartão SD posteriormente. Outro grande benefício do dispositivo é seu baixo custo, não sendo necessários grandes investimentos para sua montagem.

REFERÊNCIAS

- ARDUINO.CC. What is Arduino? **Arduino**, 2015. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 12 de Jun, 2017.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8^a. ed. Viçosa: UFV, 1989. 596p, 2006.
- BRANDÃO, et al., V. D. S et. al. **Infiltração da Água no Solo**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006.
- CEPEA. PIB do Agronegócio Brasileiro, **CEPEA**, 2017. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 3 de jun. 2017.
- GONZAGA, D. A. **Controle multivariável utilizando plataforma Arduino para secador de plantas medicinais e software de aquisição de dados**. 2015. 41 f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2015.
- GUIMARÃES, V. G.; BAUCHSPIESS, A., Automação e Monitoramento Remoto de Sistemas de Irrigação Visando a Agricultura Familiar. In: **Congresso Brasileiro de Automática**, 19., 2012, Campina Grande. CBA 2012. Anais... Campina Grande: CBA, 2012.
- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Informações estatísticas, Minas Gerais, Montes claros, 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=314330>>. Acesso em: 12 de jun, 2017.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2009.
- MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais**. São Paulo, Brasil, 2016.
- NAKATANI, A. M.; GUIMARÃES, A. V.; NETO, V. M., Medição com sensor ultrassônico HC-SR04. In: **Congresso Internacional de Metrologia Mecânica**, 3., Gramado, Rio grande do Sul, out. de 2014.
- NETO, A. T.; CRUVINEL, P. E. Uso de Microcontroladores e Realidade Virtual na Agricultura – **EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, n. 22, p. 1-5, dez, 1997.
- NETO, B. B. O.; MONTEIRO, P. F.; QUEIROGA, S. L. M. Aplicabilidade dos Microcontroladores em Inovações Tecnológicas. In: **Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**, 7., 2012, Palmas.
- SARAIVA, A.; SALES, R. PIB do Brasil recua 3,6% em 2016. **Valor**, São Paulo, 07 mar. 2017. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/brasil/4890204/pib-do-brasil-recua-36-em-2016>>. Acesso em: 04 de jun. 2017.
- ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. 2^a ed. Embrapa, 2014.