

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LILIANA CRISTINA MALMEGRIN PUZZI

**TRINCHEIRIAS DE INFILTRAÇÃO: EXPERIMENTO DA APLICAÇÃO
NA ÁREA DA UTFPR – CÂMPUS LONDRINA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2015

LILIANA CRISTINA MALMEGRIN PUZZI

**TRINCHEIRIAS DE INFILTRAÇÃO: EXPERIMENTO DA APLICAÇÃO
NA ÁREA DA UTFPR – CÂMPUS LONDRINA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ajadir Fazolo.

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami

LONDRINA

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Trincheiras de infiltração: Experimento da Aplicação na área da UTFPR –
Campus Londrina

por

Liliana Cristina Malmegrin Puzzi

Monografia apresentada no dia 30 de julho de 2015 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami
(UTFPR)

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi
(UTFPR)

Prof. Dr. Ajadir Fazolo
(UTFPR)
Orientador

Prof. Dr. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

À Deus, agradeço por ser uma força maior que me ilumina guiando-me para o melhor caminho.

Ao meu pai Israel Puzzi, um exemplo de ser humano, que além de sugerir o estudo de tal trabalho, me ajudou muito ao longo deste, e ajuda sempre com boa vontade e humildade, virtudes que admiro.

À minha mãe Luciana Maria C. Malmegrin Puzzi, fundamental em minha vida, sempre incentivando e orientando por meio de palavras e ações, estando presente em todos os momentos; e pelo seu delicioso café, único. Às minhas queridas irmãs Laisa Malmegrin Puzzi e Luana Malmegrin Puzzi, também amigas, ajudando sempre e aconselhando por meio de experiências já vividas. E ao Futrika, novo membro da família.

A toda minha família, que em reuniões, faz-se presente a harmonia e alegria por estarmos juntos.

À meu orientador, Ajadir Fazolo, que com paciência e conhecimento, conduziu o devido projeto com suas correções e apoio, até sua conclusão. À meu coorientador

Marcelo Anami pela ajuda prestada durante o processo do trabalho, e à Ricardo Constanzi que se propôs a fazer parte da minha banca.

À Larissa Danielle Melo Costa, amiga que se fez presente em todo o percurso do projeto, através da amizade e companheirismo influenciando na caminhada profissional e pessoal.

Ao Bruno Paccola Meirelles, que com paciência e bondade ajudou na montagem e instalação do Sistema Arduino, ferramenta utilizada na metodologia do projeto.

E por fim, mas não menos importantes, demais amigos que prezo por cada um, com suas respectivas características e que diretamente ou indiretamente fazem a diferença: Adriano Scalco, Ana Paula A. Cosso, Carolyne M. Bueno, Gabriela B. Gomes, Gabriela F. Silva, Jaqueline R. Imbriani, Jessica Lara N. de Souza, Larissa P. Fernandes, Marcella G. Baldin, Monielle M. Bettio, Rafaela Squizzato e Roberta Ribeiro,

todos bandiloco. A amoras Cinthia T. Kobayashi e Veronica Garcia. À Paula D. Silveira, colega e companheira de estágio. Aos amigos de intercâmbio, o bonde que não para: Ana Carolina Murta, Elisa Pereira, Flávia Pissaia, Karolyne Cavalcanti, Letícia Carvalho, Sabrina Tavares e Tuany Braga. E aos demais, que mesmo não citados, tem sua devida importância para mim.

*“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará
fazendo o impossível.”
(São Francisco de Assis)*

RESUMO

PUZZI, Liliana Cristina Malmegrin. **Trincheiras de Infiltração: Experimento da aplicação na Área da UTFPR – Campus Londrina**. 2015. 58 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). – Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

Impactos hidrológicos e ambientais podem ser gerados pela falta de infraestrutura e de planejamento do uso e ocupação do solo, na intensificação dos processos de urbanização resultando assim em maiores vazões de pico. Com o objetivo de avaliar o uso de métodos de drenagem, o presente trabalho tem como proposta uma trincheira de infiltração. Através de um balanço hídrico, estimando vazões de entrada, buscou verificar a sua eficiência por meio da quantidade de volume infiltrado e do volume armazenado em um intervalo de tempo. Os resultados mostraram que para o mesmo tipo de solo, sendo do tipo teoricamente de textura argilosa, apresenta diferentes valores na velocidade de infiltração. Com a velocidade de infiltração foi possível estimar diferentes valores na dimensão do comprimento da trincheira, variando entre 1,8 a 1,2 metros para uma vazão de 35,65 L/min. Mostrou-se eficiente o uso do Sistema Arduino, através de um sensor de distância, a fim de ter maior precisão nos resultados para com a velocidade de infiltração, que é calculada através do volume infiltrado dividido pela área de percolação. Conclui-se da importância da caracterização do solo, por meio dos índices físicos como densidade das partículas ($2,86 \text{ g/cm}^3$), densidade do solo ($1,16 \text{ g/cm}^3$), porosidade (59,5%) e umidade para averiguar a possibilidade de instalação do dispositivo, tendo correlações com um solo do tipo argiloso. Tal como o material de preenchimento, sendo a brita por conter porosidade maior ou igual a 50%. Com o uso do permeâmetro de Guelph, possibilita obter valores para a condutividade hidráulica, que foi de $5,501 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ sendo um parâmetro importante por apresentar boa possibilidade de infiltração no solo.

Palavras-chave: Permeabilidade do solo. Trincheira de Infiltração. Condutividade Hidráulica. Sistema Arduino.

ABSTRACT

PUZZI, Liliana Cristina Malmegrin. **Infiltration trenches: Application Experiment in the area of UTFPR - Campus Londrina**. 2015. p. 58. Completion of course thesis (Bachelor of Environmental Engineering). - Environmental Engineering - Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2015.

Hydrological and environmental impacts can be generated by the lack of infrastructure and planning the use and occupation of land, the intensification of urbanization processes thus resulting in higher peak flows. Aiming to evaluate the use of drainage methods, this paper aims a trench infiltration. Through a water balance, estimating input flows, tried to verify its efficiency by the amount of infiltration volume and the volume stored in a time interval. The results showed that for the same soil type, the type being theoretically clayey, has different values in the infiltration rate. With the infiltration rate was possible to estimate different values in the length dimension of the trench, ranging from 1.8 to 1.2 meters to a flow rate of 35.65 L / min. It was efficient to use Arduino system, through a distance sensor in order to increase the accuracy of the results towards the infiltration rate, which is calculated by the infiltrated volume divided by percolation area. The conclusion is the importance of soil characterization, through the physical indices such as particle density (2.86 g / cm³), bulk density (1.16 g / cm³), porosity (59.5%) and moisture to investigate the possibility of installing the device, and correlations with soil clay-like. As the filler material, the porosity by containing gravel being greater than or equal to 50%. With the use of Guelph permeameter, allows to obtain values for the hydraulic conductivity, which was 5,501.10-5m / s being an important parameter because it has good possibility of infiltration into the soil.

Keywords: Soil permeability. Infiltration Trench. Hydraulic Conductivity. Arduino System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Medida compensatória (infiltração) para o efeito da urbanização	15
Figura 2 – Esquema da utilização de trincheiras.	16
Figura 3 – Relação Massa e Volume dos componentes do solo.	21
Figura 4 – Método para medição do volume do sólido.	22
Figura 5 – Vista geral da área da Área da UTFPR – Campus Londrina	26
Figura 6 – Fluxograma de abordagem do estudo.	27
Figura 7 – Dimensões da Trincheira.	31
Figura 8 – Ilustração do Permeâmetro de Guelph.	32
Figura 9 – Operação do Permeâmetro de Guelph.	34
Figura 10 – A - Utilização do Anel volumétrico;	35
Figura 11 – Materiais utilizados para medição do volume do sólido.	36
Figura 12 – Esquematização do balanço hídrico.	37
Figura 13 – Caixa D'água à montante da trincheira.	38
Figura 14 – Sensor Distância Ultrassom	39
Figura 15 – Sistema Arduino dentro da trincheira.	39
Figura 16 – Materiais utilizados para medição da porosidade da brita.	40
Figura 17 – Ordem da grandeza da condutividade hidráulica em diferentes solos.	42
Figura 18 – Curvas das variações dos volumes em função do tempo - Ensaio 1 (sem a brita)	44
Figura 19 – Taxa de Infiltração - Ensaio 1 (sem a brita)	45
Figura 20 – Curvas das variações dos volumes em função do tempo - Ensaio 2 (sem a brita)	45
Figura 21 – Taxa de Infiltração - Ensaio 2 (sem a brita)	46
Figura 22 – Curvas das variações dos volumes em função do tempo - Ensaio 3 (sem a brita)	46
Figura 22 – Taxa de Infiltração - Ensaio 3 (sem a brita)	47
Figura 24 – Curvas das variações dos volumes em função do tempo - Ensaio 1 (com a brita)	48
Figura 25 – Taxa de Infiltração - Ensaio 1 (com a brita)	48
Figura 26 – Curvas das variações dos volumes em função do tempo - Ensaio 2 (com a brita)	49
Figura 27 – Taxa de Infiltração - Ensaio 2 (com a brita)	49
Figura 28 – Curvas das variações dos volumes em função do tempo - Ensaio 3 (com a brita)	50
Figura 29 – Taxa de Infiltração - Ensaio 3 (com a brita)	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3.1 CRESCIMENTO URBANO	12
3.2 MÉTODOS DE DRENAGEM URBANA	12
3.2.1 SISTEMAS DE DRENAGENS TRADICIONAIS	13
3.2.2 SISTEMAS DE DRENAGENS COMPENSATÓRIOS OU ALTERNATIVOS.....	14
3.3 TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO	15
3.3.1 UTILIZAÇÃO: VANTAGENS E DESVANTAGENS	17
3.4 VARIÁVEIS INTERVENIENTES.....	18
3.4.1 INTENSIDADE DA CHUVA.....	18
3.4.2 ESCOAMENTO SUPERFICIAL	19
3.4.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	20
3.4.3.1 ÍNDICES FÍSICOS.....	21
3.4.4 PERMEABILIDADE DO SOLO	24
4 MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1 LOCAL DE ESTUDO	26
4.2 VARIÁVEIS DE ESTUDO	26
4.2.1 VOLUME AFLUENTE À TRINCHEIRA	27
4.2.2 VOLUME EFLUENTE À TRINCHEIRA	29
4.3 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS.....	31
4.3.1 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO	31
4.3.2 ENSAIOS FÍSICOS.....	34
4.3.3 DENSIDADE DAS PARTÍCULAS	35
4.3.4 VOLUME DA TRINCHEIRA	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1 ASPECTOS FÍSICOS DO SOLO.....	41
5.2 BALANÇO HÍDRICO	43
5.3 DIMENSIONAMENTO DA TRINCHEIRA	51
6 CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A intensificação dos processos de urbanização, a falta de infraestrutura e de planejamento do uso e ocupação do solo, resulta na impermeabilização gerando um aumento no volume escoado, o que pode ocasionar impactos hidrológicos, ambientais, sociais e econômicos (SOUZA, 2002).

O enfoque higienista enfatiza o rápido afastamento das águas pluviais, por meio de canalizações, galerias, condutos enterrados, podendo transferir o problema para as seções de jusante. Deste modo, novas tecnologias compensatórias ou alternativas vêm sendo inseridas a fim de minimizar os efeitos da urbanização sobre o processo hidrológico (GRACIOSA; MENDIONDO; CHAUDHRY, 2008).

Os sistemas alternativos ou compensatórios de drenagem urbana funcionam pela retenção e infiltração das águas pluviais tendo como função diminuir o volume escoado e a incidência de inundações (BRITO, 2006). As trincheiras de infiltração em geral, são técnicas compensatórias lineares, com a finalidade de recolher as águas pluviais de afluência perpendicular ao seu comprimento favorecendo a infiltração e/ou o armazenamento temporário. (BAPTISTA, NASCIMENTO, BARRAUD, 2005).

Não existem soluções únicas, mas alternativas apropriadas para cada realidade. Este trabalho estuda, por meio da instalação de uma trincheira de infiltração como método de drenagem alternativo, o seu balanço hídrico. Foi realizado o experimento e feita avaliação do seu funcionamento, na área da UTFPR – Campus Londrina.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um experimento avaliando o desempenho da trincheira na infiltração das águas como sistema de drenagem alternativo na área da UFTPR – câmpus Londrina, através de um balanço hídrico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Caracterizar o solo e material filtrante;
- II. Determinar condutividade hidráulica através do permeâmetro;
- III. Calcular velocidade de infiltração;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CRESCIMENTO URBANO

Com o avanço no desenvolvimento urbano brasileiro, a frequência das inundações, a produção de sedimentos e a deterioração da qualidade da água tem-se intensificado. Portanto, se faz necessário o manejo adequado das águas urbanas e a gestão das águas pluviais a fim de obter novas alternativas de prevenção e controle de impactos ambientais, como as inundações (TUCCI, 1997).

O desenvolvimento acelerado das cidades pode alterar o ciclo hidrológico no ambiente urbano e comprometer os sistemas tradicionais de drenagem, gerando um rápido escoamento dos volumes drenados e ocasionando na impermeabilização dos solos (MENDONÇA, 2009).

3.2 MÉTODOS DE DRENAGEM URBANA

Inicialmente, o método racional surgiu como modelo hidrológico de transformação chuva-vazão. Em seguida, começaram a aparecer os reservatórios urbanos para amortecimento de cheias, armazenando temporariamente a água da chuva, para liberação gradativa (SOUZA, 2002).

Para Tucci (2008), o escoamento pluvial pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas em razão de dois processos, que ocorrem isoladamente ou combinados:

- *Inundações de Áreas Ribeirinhas*: são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios por causa da variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica;

- *Inundações em razão da Urbanização*: as enchentes são responsáveis pelo aumento de sua frequência e magnitude por causa do efeito da impermeabilização do solo e da construção da rede de condutos pluviais.

Tucci (1997) cita os principais impactos devido à urbanização sobre um sistema de drenagem urbana, como aumento da vazão máxima, antecipação do tempo de pico e aumento do volume de escoamento superficial.

3.2.1 Sistemas de Drenagens Tradicionais

A preocupação atual com os sistemas tradicionais de drenagem se baseia na condução rápida das águas de escoamento superficial para fora dos centros urbanos. Estas obras hidráulicas são construídas sem a preocupação no controle da geração do escoamento, mas na forma em que é feito o escoamento (SOUZA, 2002).

Neto (2009) define os elementos que são usados na drenagem urbana tradicional:

- Meio-fio: são constituídos de blocos de concreto ou de pedra, situados entre a via pública e o passeio, com sua face superior nivelada com o passeio, formando uma faixa paralela ao eixo da via pública;
 - Sarjetas: são as faixas formadas pelo limite da via pública com os meios-fios, formando uma calha que coleta as águas pluviais oriundas da rua;
 - Bocas-de-lobo: dispositivos de captação das águas das sarjetas;
 - Poços de visita: dispositivos colocados em pontos convenientes do sistema, para permitir sua manutenção;
 - Galerias: são as canalizações públicas destinadas a escoar as águas pluviais oriundas das ligações privadas e das bocas-de-lobo;
 - Condutos forçados e estações de bombeamento: quando não há condições de escoamento por gravidade para a retirada da água de um canal

de drenagem para outro, recorre-se aos condutos forçados e às estações de bombeamento;

- Sarjetões: são formados pela própria pavimentação nos cruzamentos das vias públicas, formando calhas que servem para orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas.

3.2.2 Sistemas de Drenagens Compensatórios ou Alternativos

A utilização de técnicas compensatórias distingue-se das redes de drenagem pela necessidade em realizar o manejo das águas pluviais, ao mesmo tempo em que é elaborado o projeto de ordenamento urbano (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005).

Estes sistemas buscam minimizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos. Diferentes dos sistemas clássicos, eles se preocupam com o volume do escoamento superficial, o rearranjo temporal das vazões e a relação na infiltração e retenção das águas precipitadas (MOURA, 2004).

Adaptam-se a diversos ambientes, assumindo múltiplas formas em diferentes escalas, desde pequenos lotes até sistemas de drenagem em grandes centros urbanos (Figura 1). Pode exercer importante função na melhoria da qualidade das águas pluviais, nas condições de vida, preservação do meio ambiente e permite o uso pela comunidade, como em áreas de lazer, estacionamentos, parques, dentre outros (MOURA, 2004).

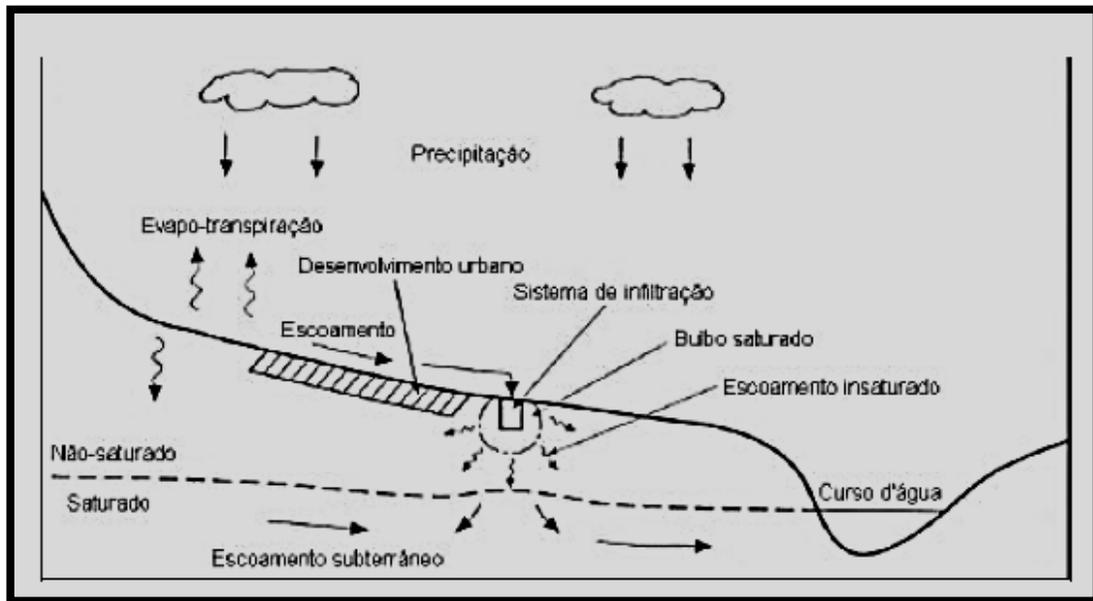


Figura 1 – Medida compensatória (infiltração) para o efeito da urbanização
Fonte: Bettess (1996) *apud* Baptista *et al.*(2005)

Esses sistemas podem assumir diversas formas como trincheiras, valas, fossas, pavimentos dotados de estruturas de reservação, poços, telhados armazenadores, bacias de retenção secas ou com água (CASTRO, 2007).

3.3 TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO

A trincheira tem como objetivo a função de abater descargas de pico de um escoamento superficial e promover a recarga do aquífero, e também realizar o tratamento do escoamento pela infiltração no solo (SILVA, 2004).

São classificadas como estruturas subsuperficiais lineares, isto é, seu comprimento prevalece sobre a largura (CASTRO, 2007). A figura 2 demonstra o esquema de utilização de uma trincheira de infiltração.

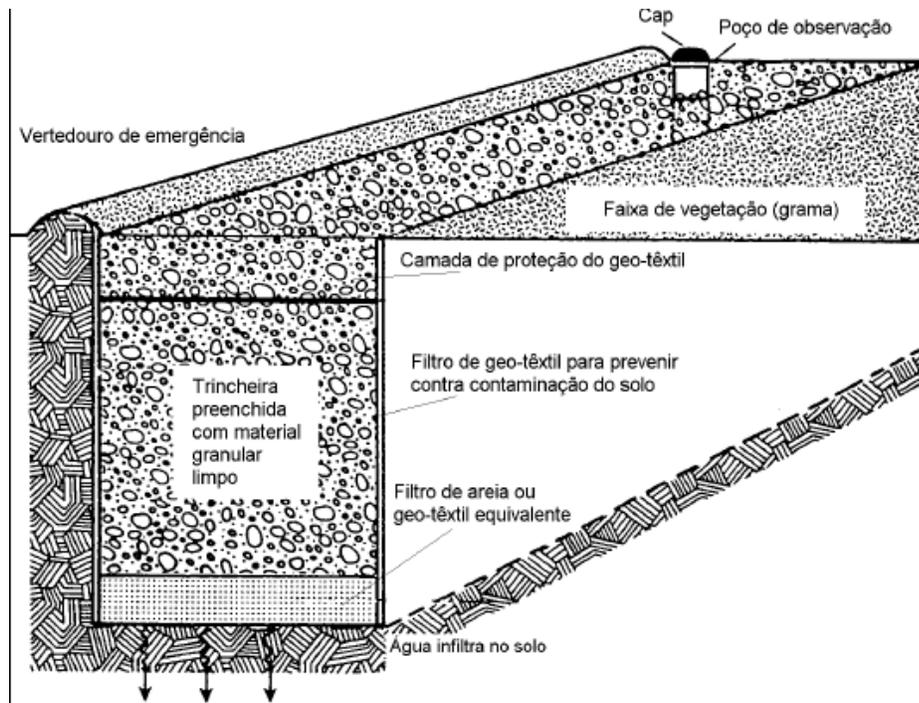


Figura 2 – Esquema da utilização de trincheiras.
Fonte: Schueler (1987) *apud* Souza (2002)

São formadas por valetas revestidas por diversos tipos de material granular (seixo, brita, ou outro semelhante). Para envolver o material de enchimento, coloca-se uma manta geotêxtil entre a trincheira e a superfície e então é recoberto por uma camada de seixos (material granular), para impedir a entrada de material fino na estrutura protegendo o lençol freático, e reduzindo o risco de colmatção precoce (SILVA, 2004).

As trincheiras de infiltração podem ser instaladas em múltiplos locais, tais como estacionamentos, centros comerciais, jardins, ao longo de vias públicas e podem ser usadas conjuntamente com poços de infiltração, valetas, bacias de retenção, entre outras opções. (CASTRO, 2007).

Para a implantação, Tucci e Marques (2001) citam as seguintes limitações técnicas:

- O solo suporte deve apresentar taxas mínimas de infiltração de 12 mm/h em solo natural e de 8 mm/h para solos saturados.
- Profundidade mínima do lençol freático e da camada impermeável de 1,20m.

- Não podem ser instaladas em aterros ou em terrenos de grande declividade;
- São apropriadas para pequenas áreas de drenagem, com lotes individuais ou quarteirões.

3.3.1 Utilização: Vantagens e Desvantagens

Ao analisar a utilização de uma técnica compensatória para a implantação de drenagem urbana, é necessário adotar critérios como eficiência hidráulica, econômico, ambiental, social, entre outros (SILVA, 2007). Segundo Souza (2002), as trincheiras de infiltração apresentam as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Redução do risco de inundação;
- Redução do escoamento superficial;
- Melhoria da qualidade da água de origem pluvial;
- Ganho financeiro com a redução das dimensões da rede de drenagem a jusante;
- Fácil construção;
- Boa integração com o meio urbano;
- Controle da poluição das águas pluviais, influenciando na recuperação e preservação do meio ambiente;

Desvantagens:

- Preocupação com manutenção frequente;
- Risco de colmatção;
- Riscos de poluição do lençol freático;

- Restrições de eficiência em áreas de fortes declividades;

3.4 VARIÁVEIS INTERVENIENTES

3.4.1 Intensidade da Chuva

Há diferentes métodos para dimensionamento de estruturas de armazenamento de uma trincheira de infiltração, como o “*rain-envelope-method*”, ou “método envelope de chuva”. De acordo com Silva (2007), este método se baseia nos dados de caracterização do local da implantação, na curva IDF (Intensidade-duração-frequência) e na determinação dos volumes acumulados de entrada e saída da trincheira. A partir da diferença entre a curva de volumes afluentes (valores das vazões, obtida através da curva IDF local) e a curva de valores de volume efluentes, será obtido o volume de dimensionamento da trincheira.

Para a determinação da intensidade máxima referente ao território brasileiro, pode-se utilizar a equação definida por Festi (2006) (Eq. 1), construída através de dados de chuvas intensas, suficientes para serem representativas, sendo possível calcular a relação analítica entre a intensidade, a duração e a frequência das chuvas, obtendo a equação de IDF (intensidade-duração-frequência).

$$i_{max} = \frac{K * T_r^m}{(t + t_0)^n} \quad (1)$$

Em que:

i_{max} = intensidade máxima (mm/h);

T_r = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (minutos);

K, n, m, t_0 = valores constantes de cada posto.

A Tabela 1 apresenta valores do período de retorno proposto em virtude do tipo de ocupação da área. Representa o período médio que um evento hidrológico é igual ou superado pelo menos uma vez (PRUSKI, BRANDÃO, SILVA, 2003).

Tabela 1 – Valores de período de retorno relacionado ao tipo de ocupação da área

Tipo de Obra	Tipo de Ocupação da Área	Tr (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviços ao público	5
	Aeroportos	2 – 5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 – 10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 – 100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: Pruski, Brandão, Silva (2003).

3.4.2 Escoamento Superficial

Existem muitas fórmulas que permitem estimar as descargas máximas de escoamento superficial em função das características da bacia, do seu uso e da intensidade máxima de precipitação para a duração e recorrência desejadas. A fórmula racional (Eq.2), de uso simples e prático, em geral, fornece bons resultados para bacias menores que 50 ha, é citada por (SOUZA, 2002):

$$Q = \frac{C * i * A}{360} \quad (2)$$

Em que:

Q = vazão (m³/seg.)

C = coeficiente de escoamento (adimensional)

i = intensidade máxima de chuva (mm/h)

A = área da bacia (ha)

O coeficiente de escoamento é expresso pela razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado, sendo propostos valores na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores típicos de coeficiente de escoamento.

Zonas	C
Edificação muito densa: Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 - 0,95
Edificação não muito densa: partes adjacentes ao centro, de menos densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 - 0,70
Edificações com poucas superfícies livres: partes residenciais com construções cerradas e ruas pavimentadas	0,50 - 0,60
Edificações com muitas superfícies livres: partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,25 - 0,50
Subúrbios com alguma edificação: parte de arrebalde e subúrbios com pequena densidade de construção	0,10 - 0,25
Matas, parques e campos de esporte: partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação	0,05 - 0,20

Fonte: Wilken (1978)

3.4.3 Caracterização do Solo

O solo é um material poroso, originado por rochas através do processo de intemperização, constituído por partículas sólidas que apresentam vazios entre si podendo estar preenchidos por água e/ou ar, originando as fases sólidas, líquida e gasosa do solo (Fig. 3). Serve de apoio físico (sustentação), químico e biológico para o crescimento vegetal, assim como reservatório de água (REICHERT, 2007).



Figura 3 – Relação Massa e Volume dos componentes do solo.
Fonte: Libardi (2005)

O comportamento de um solo depende das quantidades relativas de cada uma das fases constituintes. A relação entre as fases constituem-se nos índices físicos, sendo a densidade das partículas ou densidade real, densidade do solo ou densidade aparente, porosidade e umidade.

3.4.3.1 Índices Físicos

Densidade das Partículas ou Densidade Real: é a relação entre a massa do solo seco (105 - 110°C) e o volume de solo seco (Eq.3). Corresponde à massa por unidade de volume de partículas de solo seco. Os principais constituintes minerais nos solos são quartzo, feldspatos e silicatos, os quais apresentam uma densidade média de 2,65 g cm⁻³ (LIBARDI, 2005).

$$\rho_d = \frac{m_s}{V_s} \quad (3)$$

ρ_d = densidade das partículas (g.cm^3)

m_s = massa do solo seco (g)

V_s = volume do sólido (cm^3)

Para medir o volume do sólido, Libardi (2005) utiliza a metodologia com um balão volumétrico e uma bureta com capacidades iguais, para que quando cheios devam medir o mesmo volume (V_b). Coloca-se a amostra seca no balão volumétrico, encheu a bureta com álcool e procede-se a transferência do álcool da bureta para o balão até seu completo enchimento. Após encher o balão por completo e como dentro dele tem amostra do solo, portanto sobrar álcool na bureta por conter o mesmo volume do balão. Assim, a leitura L da bureta neste momento subtraída de V_b fornece o valor de volume do sólido (Figura 4).

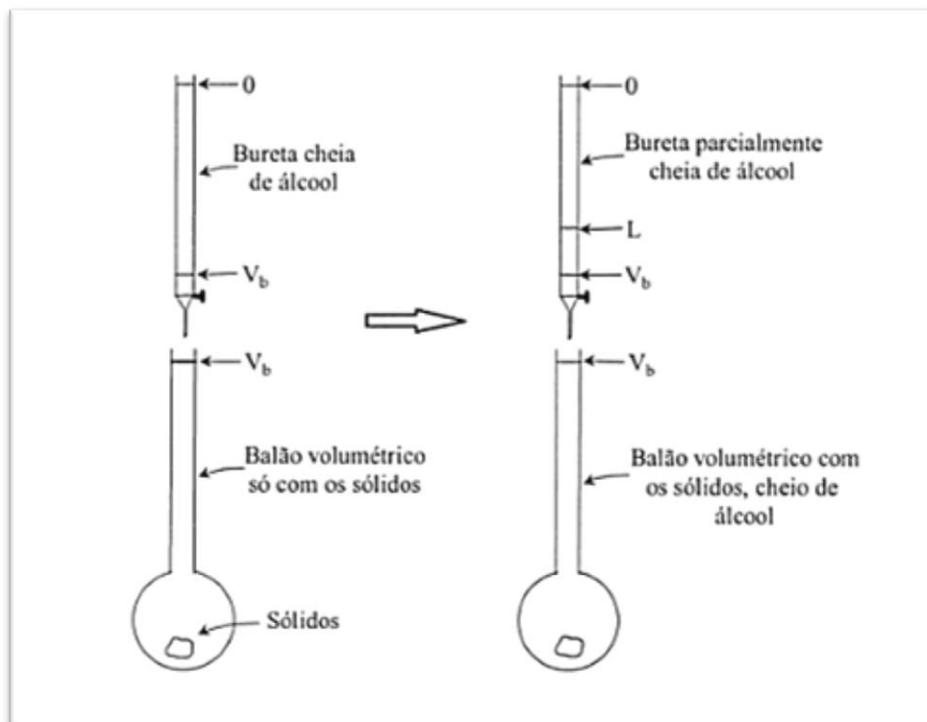


Figura 4 – Método para medição do volume do sólido.

Fonte: Libardi (2005)

Densidade do Solo ou Densidade Aparente: é a relação entre o peso de uma amostra de solo seco e o seu volume total (Eq. 4). Ela é influenciada pela estruturação, grau de compactação e pelas características de expansão e contração do solo que, por sua vez, são afetadas pelo teor de umidade (AGUIAR, 2001).

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_t} \quad (4)$$

Em que:

ρ_s = densidade do solo (g.cm³)

m_s = massa do solo seco (g)

V_t = volume do cilindro (cm³)

Porosidade: quantifica a fração do volume do solo ocupada pelos poros (Eq.5). É inversamente relacionada com a densidade do solo, que quanto maior, menor o valor da porosidade (LIBARDI, 2005).

$$\alpha = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}\right) * 100 \quad (5)$$

Sendo:

α = porosidade do solo (%)

ρ_d = densidade das partículas (g.cm³)

ρ_s = densidade do solo (g.cm³)

Umidade: Em relação à base de massa, define-se como a razão entre a massa de água existente numa amostra de solo e a massa de sólidos da amostra (Eq.6) (LIBARDI, 2005).

$$W = \frac{m_l}{m_s} = \frac{P_u - P_s}{m_s} \quad (6)$$

Em que:

W = umidade ($g * g^{-1}$)

P_u = peso úmido (g)

P_s = peso seco (g)

m_s = massa do solo seco (g)

m_l = massa do solo úmido (g)

Buske (2013) citq que a umidade a base de massa não seria indicativo de volume de água para armazenamento por variar de acordo com a densidade do solo, fazendo necessário o cálculo da umidade a base de volume.

E quanto à base de volume, define-se como a porção de uma amostra ocupada pelo solo (Eq.7) (LIBARDI, 2005).

$$\theta = \frac{m_l}{V_t} = \frac{P_u - P_s}{m_s} \quad (7)$$

Onde:

θ = umidade ($g * g^{-1}$)

V_t = volume do cilindro (cm^3)

P_u = peso úmido (g)

P_s = peso seco (g)

3.4.4 Permeabilidade do Solo

A permeabilidade é o parâmetro que expressa a maior ou menor facilidade que um líquido tem de percolar (infiltrar) no interior de um material poroso ou fissurado, e

está diretamente relacionada com a estrutura do solo, e o teor de vazios (LONDRINA, 2005).

O município de Londrina é de origem basáltica, variando com a sua localização e topografia. Predominam solos tipo Latossolos Vermelhos distroféricos (LVd), Latossolos Vermelhos eutroféricos (LVe), e Nitossolos Vermelhos eutroféricos (anteriormente denominado de Terra Roxa Estruturada), sendo este último um tipo de solo constituído de material mineral de textura argilosa (36 a 60% de argila). A ordem de grandeza dos valores de condutividade hidráulica (k) observada nos solos da região urbana de Londrina é de 10^{-4} cm/s a 10^{-6} cm/s (LONDRINA, 2002).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado na área da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Londrina (Figura 5).



Figura 5 – Vista geral da área da Área da UTFPR – Câmpus Londrina
Fonte: Google Earth (2015)

4.2 VARIÁVEIS DE ESTUDO

As variáveis de estudo são volume afluente, volume infiltrado e volume armazenado. As alterações no balanço hídrico quantitativo se dão com as condições de

cada localidade, em função do tipo de solo, cobertura, geologia, pluviosidade e clima, na figura 6 é apresentado o fluxograma de abordagem do estudo com as variáveis.

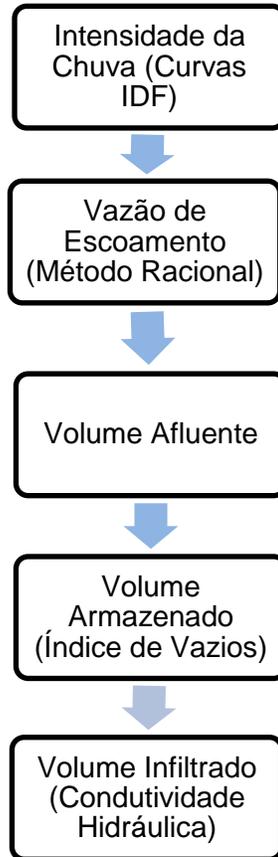


Figura 6 – Fluxograma de abordagem do estudo.

4.2.1 Volume Afluente à Trincheira

Primeiramente calculou-se a curva do IDF do município de Londrina-PR, foi utilizada a equação obtida por Fendrich (2003) (Eq.8):

$$i_{max} = \frac{3.132,56 * T_r^{0,0093}}{(t + 30)^{0,939}} \quad (8)$$

Por meio da curva IDF, calcula-se a intensidade feita através da equação 8, aonde o valor máximo para o município de Londrina foi de 133,25 mm/h. Para esse projeto, foi adotado um tempo de concentração de 15 minutos e tempo de recorrência de 5 anos, para determinar a intensidade da chuva, resultado no valor de 89,13mm/h (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores calculados da intensidade da chuva para o município de Londrina-PR.

t (min)	Tempo de Recorrência (anos)			
	2	5	10	50
0	129,32	130,43	131,28	133,25
2	121,72	122,76	123,56	125,42
4	114,98	115,97	116,72	118,48
6	108,98	109,91	110,62	112,29
8	103,58	104,47	105,14	106,73
10	98,71	99,56	100,20	101,71
12	94,29	95,10	95,71	97,16
14	90,26	91,03	91,62	93,00
15	88,38	89,13	89,71	91,06
16	86,57	87,31	87,88	89,20
18	83,18	83,89	84,43	85,71
20	80,05	80,74	81,26	82,48

Fonte: Autoria própria.

Para medir o volume afluente, utilizou o Método Racional, método este que é utilizado principalmente para pequenas bacias, e que de acordo com Silva (2007) determinará a vazão de pico de escoamento. O resultado é obtido através da vazão multiplicado pelo tempo de recorrência (Eq. 9).

$$V_e(t) = [C * A * I_t] * t = Q_e * t \quad (9)$$

Em que:

$V_e(t)$ = volume total escoado no tempo t para uma precipitação de T anos de retorno (m^3);

C = coeficiente de escoamento;

I_t = intensidade da precipitação de T anos de retorno (mm/h);

t = duração da precipitação (h);

A = área da bacia de contribuição (ha);

Para o método racional, a duração da precipitação máxima de um projeto é igual ao tempo de concentração da bacia, mas o cálculo para bacias muito pequenas ou para um conjunto de lotes resulta em valores muito pequenos, e, conseqüentemente, intensidades muito altas (MORUZZI; TRINDADE, 2011).

4.2.2 Volume Efluente à Trincheira

Para estimar o volume de saída da trincheira, calcula-se o volume de infiltração, podendo-se utilizar a Lei de Darcy que estima a taxa de água percolada, considerando o solo saturado (Eq.10): (MORUZZI; TRINDADE, 2011).

$$V_{inf}(t) = k * \frac{A_{perc}}{2} * 60 * t_p \quad (10)$$

Onde:

$V_{inf}(t)$ = volume de água percolado no solo (m³);

k = condutividade hidráulica do solo (m/s);

A_{perc} = área total dos lados da estrutura de percolação (m²);

t_p = tempo de percolação (min);

O cálculo de área de percolação foi obtido através da seguinte equação (Eq. 11) (adaptado MORUZZI; TRINDADE, 2011):

$$A_{perc} = 2 * h * (b + L) + (b * L) \quad (11)$$

Sendo:

h = altura da trincheira (m);
 b = largura da trincheira (m);
 L = comprimento da trincheira (m);

O cálculo de volume de estrutura de percolação (infiltração) foi obtido considerando-se a porosidade efetiva do material de enchimento, Portanto, o volume útil para armazenamento (V_{arm}) foi o volume referente aos vazios da trincheira. (SOUZA, 2002).

Portanto para calcular o volume de infiltração, foi feito um balanço hídrico, aonde foi calculado através da diferença entre o volume afluyente à trincheira e a variação do volume armazenado, em um intervalo de tempo.

Em relação às dimensões iniciais das trincheiras, seu comprimento é usualmente determinado pela área disponível para implantação. A largura é variável, mas não sendo muito larga a fim de não influenciar no processo de colmatação na base e dificultando a sua execução (LIMA, 2009). Utiliza-se a equação 12 para o cálculo do volume de dimensionamento, ou seja, o volume máximo necessário:

$$V_{max} = C * L * H \quad (12)$$

Onde:

V_{max} = volume máximo de dimensionamento (m³);

C = comprimento (m);

L = largura (m);

H = profundidade (m);

Silva (2007) cita que usualmente as dimensões das trincheiras são calculadas em função de fatores como áreas de captação, balanço hídrico, escoamento superficial, áreas disponível para implantação, dentre outros, mas para o presente trabalho elas foram pré-estabelecidas e depois foi feita comparação valor estimado de vazão de projeto (Figura 7).

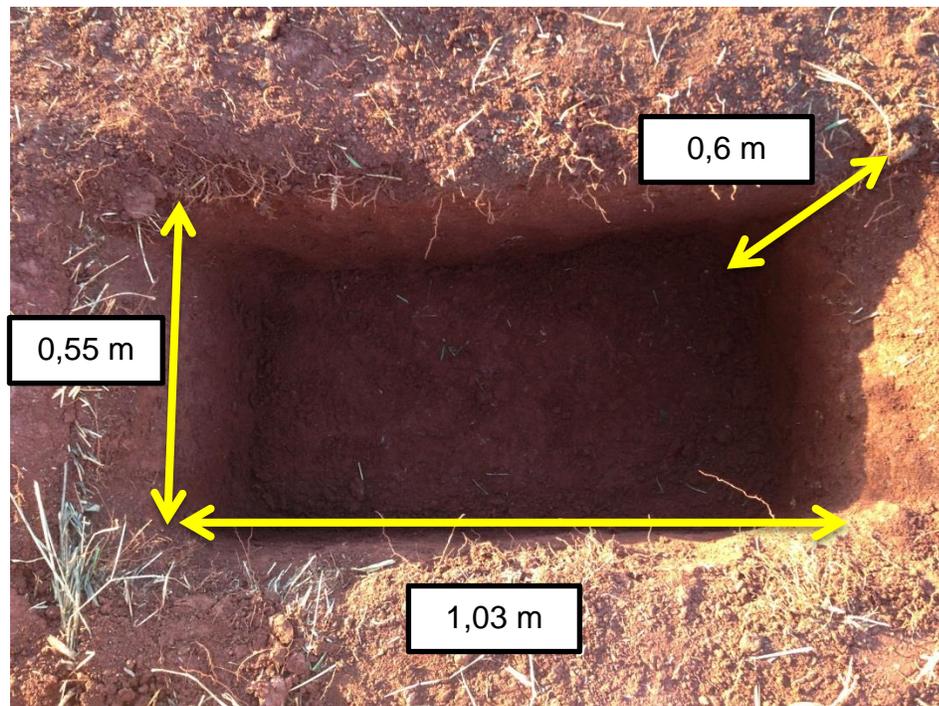


Figura 7 – Dimensões da Trincheira.
Fonte: Autoria própria.

4.3 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

4.3.1 Condutividade Hidráulica do solo

É utilizado um equipamento, que consiste em um permeâmetro de carga constante, que funciona segundo o Princípio do Sifão de Mariotte. Este princípio permite escoamento à velocidade constante (com a diminuição do nível d'água no aparelho), por meio do equilíbrio entre a pressão externa (pressão atmosférica) e a interna do permeâmetro. O permeâmetro de Guleph é constituído basicamente por: tubo de ar, indicador do nível de água a ser mantido no furo (H), tubo e reservatório interno, reservatório externo, suporte, válvula do reservatório e ponteira (Figura 8) (MORUZZI; TRINDADE, 2011).

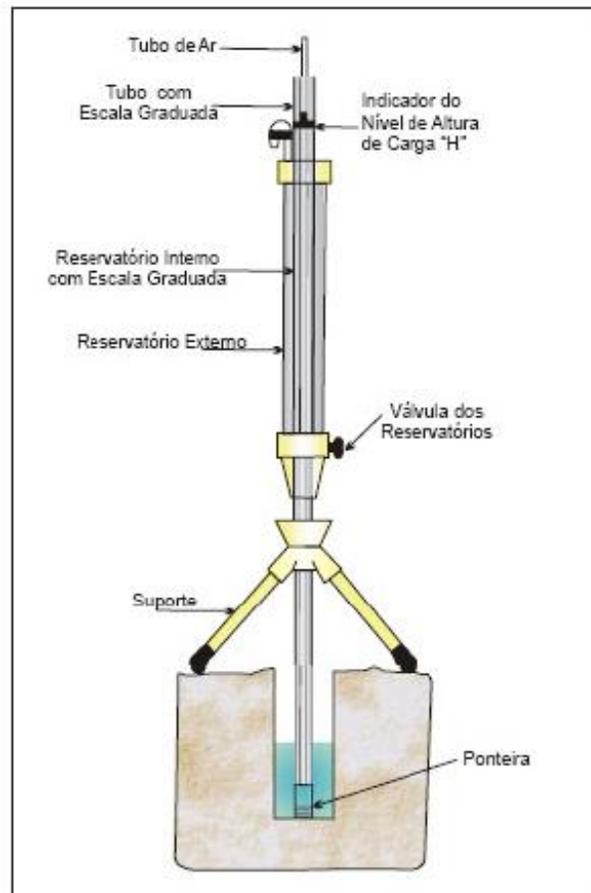


Figura 8 – Ilustração do Permeômetro de Guelph.
Fonte: Oliva (2006)

O método tem algumas vantagens como a leveza do aparelho, a praticidade de operá-lo por uma única pessoa, a rapidez dos ensaios e a pouca quantidade de água (0,5 a 2L) por ensaio (AGUIAR, 2001).

Com o valor da taxa de infiltração, relacionado às dimensões do furo e à altura da coluna da água no seu interior, permitem o cálculo da condutividade hidráulica *in situ*, através da equação 13, segundo *Soil Moisture Corp* (1991). A equação 14 representa os valores específicos do permeômetro utilizado nas análises:

$$K = [(0,0041)(X)(R2) - (0,0054)(X)(R1)] \quad (13)$$

$$K = [(0,002795)(75,367)(R2) - (0,002484)(75,367)(R1)] \quad (14)$$

Em que,

K: Condutividade hidráulica (cm/s)

R1, R2: taxas de infiltração estabilizadas correspondentes a H1 e H2 respectivamente (cm/s)

X: Constantes correspondentes à área do tubo (reservatório d'água) (cm²)

Aguiar (2001) cita que o Permeômetro de Guelph é projetado para medir a condutividade entre 10^{-2} e 10^{-6} cm/s, portanto abaixo ou acima destas ordens de grandeza, as medições apresentam erros ou não se consegue realizar o ensaio.

Iniciou-se com a escolha do local, após a seleção para o ensaio, foi feito um furo a trado com fundo horizontal plano de aproximadamente 30 cm abaixo do solo. Quando se estabelece um nível d'água (carga hidráulica) constante no interior do furo de trado, origina-se um "bulbo" de saturação d'água a partir de sua base. O volume d'água, que infiltra no solo por unidade de tempo (taxa de infiltração), torna-se constante após determinado tempo de estabilização. Quando atingir tal estabilidade, as características e dimensões deste "bulbo" de saturação d'água variam com as características do solo ensaiado (MORUZZI; TRINDADE, 2011).

Para as leituras da coluna d'água de 5 cm deu-se um intervalo de tempo de 2 minutos e para a coluna d'água de 10 cm, o intervalo foi de 1 minuto. Colocou o Permeômetro sobre o furo ajustando as pernas do tripé para que o aparelho ficasse nivelado (Figura 9).



Figura 9 – Operação do Permeômetro de Guelph.
Fonte: Autoria própria

4.3.2 Ensaios Físicos

Foi realizado o método convencional do Anel Volumétrico para coleta das amostras, próximo ao local da trincheira. É um dos métodos mais utilizados e consiste na amostra do solo indeformada com cilindros metálicos de volumes conhecidos (EMBRAPA, 1997) (Tabela 4).

Tabela 4 – Dados específicos dos cilindros utilizados para amostragem física.

Cilindros (n°)	Altura (cm)	Diâmetro ϕ (cm)	Raio (cm)	Massa (g)	Área (cm²)	Volume (cm³)
82	5,475	4,84	2,42	78,11	120,05	201,46
79	5,5	4,97	2,485	77,58	124,68	213,40
58	5,52	4,98	2,49	77,86	125,32	215,04
89	5,36	4,97	2,485	77,56	122,49	207,97
67	5,38	4,97	2,485	77,81	122,80	208,74

Fonte: Autoria própria.

Após a coleta das amostras, foram pesados e colocados em uma estufa para extração de água da amostra através do calor. Utilizou o método da estufa por ser um método de rápida execução e eficiência (Figura 10), para calcular os índices físicos.



Figura 10 – A - Utilização do Anel volumétrico
B - Cilindros dentro da estufa com o material.

Fonte: Autoria Própria.

4.3.3 Densidade das Partículas

Para calcular a densidade da partícula, fez-se necessário a medição do volume do sólido, onde se utilizou da metodologia de Libardi (2005). Foram moída 20 gramas da amostra, e preenchida a bureta com 50 ml de álcool. Deste volume, 25 ml foram transferidos para o balão contendo a amostra. Agitou-se o balão sem molhar a tampa, e esperou-se 30 minutos. Em seguida completou-se o volume do balão com a bureta (Figura 11). A razão entre a quantidade de solo e o volume de álcool necessário para preencher o balão equivale ao volume do sólido. O procedimento foi feito em triplicata.



Figura 11 – Materiais utilizados para medição do volume do sólido.
Fonte: Autoria Própria.

4.3.4 Volume da Trincheira

Através da Equação 12 foi calculado o volume de dimensionamento máximo da trincheira de infiltração, a partir de dimensões preestabelecidas sendo de 1,0 m x 0,52 m x 0,6 m. E com as dimensões estabelecidas, utilizando a equação 11, a área total aproximada dos lados da estrutura de percolação foi de 2,45 m².

No balanço hídrico, para o volume efluente, que correspondeu ao volume infiltrado, determinou-se conforme o nível de água no interior da trincheira, calculando a

diferença entre o volume de entrada e à variação do volume acumulado, em um intervalo de tempo (Figura 12).

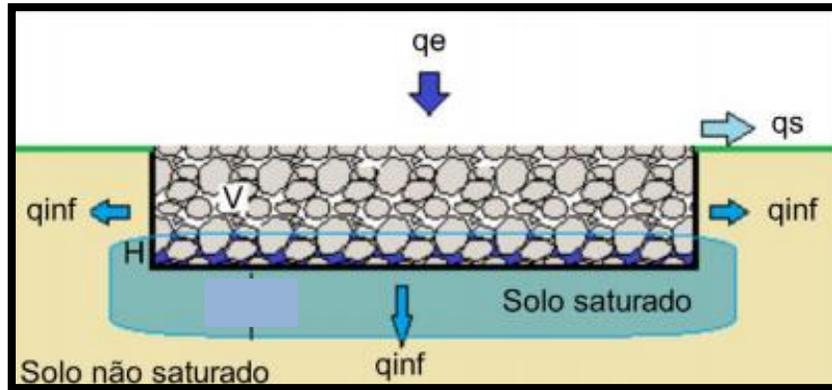


Figura 12 – Esquemática do balanço hídrico.
Fonte: Caputo, 2012.

Lima (2009) explica que a infiltração é representada por duas variáveis: a taxa de infiltração e infiltração acumulada. A taxa de infiltração equivale à densidade do fluxo, correspondendo ao volume de água que infiltra na unidade de área e de tempo. E a infiltração acumulada corresponde ao volume (por unidade de área) de água infiltrada ao longo do tempo.

Nos ensaios *in situ*, foi calculada a taxa de infiltração, por meio da área de percolação (variando com o nível d'água) e assim plotado num gráfico em relação ao tempo para poder obter a velocidade de infiltração.

Trabalhou-se no controle de vazão afluente estimada, utilizando uma caixa d'água de 500 litros, colocada a montante da trincheira, para armazenamento de águas para realização dos ensaios (Figura 13).



Figura 13 – Caixa D'água à montante da trincheira.
Fonte: Autoria Própria.

A fim de obter resultados mais precisos, foi utilizado o Sistema Arduino que consiste em uma plataforma “*open-source*” de prototipagem eletrônica com hardware e software flexíveis e fáceis de usar. É composto por uma placa, que é o Hardware usado para construir os projetos e a IDE Arduino, que é o Software onde escreve o que deseja que a placa faça (VIDA DE SILÍCIO, 2014).

Para o devido projeto, ele foi utilizado para medir o nível da água presente na trincheira através de um sensor de distância, o Sensor Ultrassom (Figura 14). Ele funciona através de uma emissão de um pequeno pulso sonoro de alta frequência que se propagará na velocidade do som do meio em questão. Quando este pulso atingir um objeto, um sinal de eco será refletido para o sensor. (VIDA DE SILÍCIO, 2014).

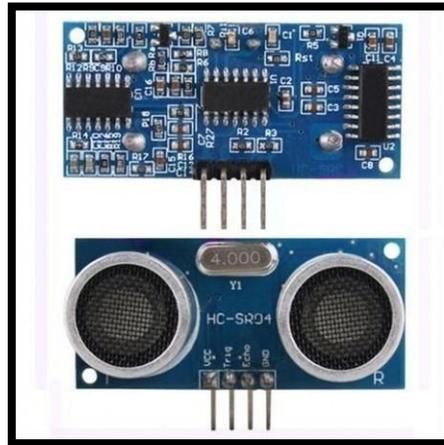


Figura 14 – Sensor Distância Ultrassom
Fonte: Vida de Silício (2014)

No centro da trincheira foi posto um tubo de pvc de 150 mm, vazado, para observar o nível da água, aonde o sistema arduino foi instalado (Figura 15).

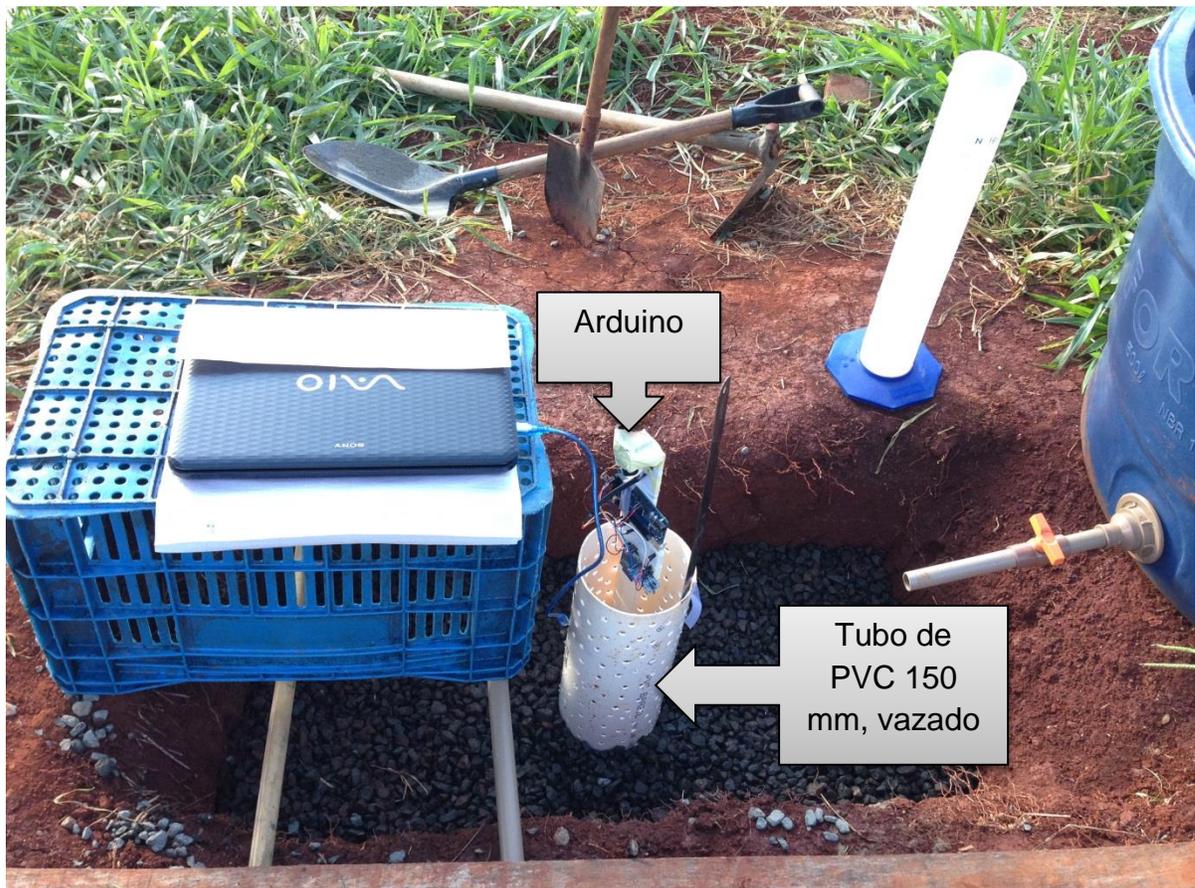


Figura 15 – Sistema Arduino dentro da trincheira.
Fonte: Aatoria Própria.

Os ensaios com o material de preenchimento, se deu pela brita nº 2, material usualmente utilizado no preenchimento de trincheiras, tendo uma porosidade total igual ou acima de 50%, atuando na função de reservatório (MORUZZI; TRINDADE, 2011). A mesma foi preenchida até 40 cm da altura da trincheira.

Para o cálculo da porosidade da brita, esta foi determinada através da razão entre o volume da água presente nos vazios do material granular, contido no interior de um recipiente, e o volume do recipiente (LIMA, 2009), obtendo o valor de 0,5.



Figura 16 – Materiais utilizados para medição da porosidade da brita.
Fonte: Autoria Própria.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ASPECTOS FISICOS DO SOLO

Nesta etapa, serão discutidos os resultados obtidos por meio das análises feitas ao decorrer do trabalho. Através dos ensaios realizados *in situ* com o permeâmetro de Guelph, foi possível obter os seguintes resultados, apresentados nas tabelas 5 e 6:

Tabela 5 – Ensaio utilizando o permeâmetro de *Guelph* com coluna d'água de 5 cm.

Leitura (n)	Tempo (min)	Intervalo de Tempo (min)	Var. Niv Água (cm)	R1 (cm/min)
1	0	2	-	-
2	2	2	2,59	1,295
3	4	2	2,19	1,095
4	6	2	2,13	1,065
R1 (média)				1,095

Fonte: Autoria própria.

Tabela 6 – Ensaio utilizando o permeâmetro de *Guelph* com coluna d'água de 10 cm.

Leitura (n)	Tempo (min)	Intervalo de Tempo (min)	Var. Niv Água (cm)	R2 (cm/min)
1	0	1	-	-
2	1	1	3,28	3,28
3	2	1	2,54	2,54
4	3	1	2,5	2,5
R2 (média)				2,54

Fonte: Autoria própria.

Foi determinado para o primeiro conjunto de leituras, $R1 = R1/60 = 0,01825 \text{ cm/s}$ e para o segundo conjunto de leituras, $R2 = R2/60 = 0,0423 \text{ cm/s}$. Com tais valores foi possível obter o coeficiente de condutividade hidráulica "*in situ*" K utilizando a Equação 14, que foi de $0,005501 \text{ cm/s}$ ou $5,501 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ (198 mm/h).

Silva (2012) cita alguns valores referentes à grandeza da condutividade hidráulica relacionada ao tipo de solo, sendo ela diferente devido à variação na estrutura do solo (Figura 17). É possível caracterizar a permeabilidade, aonde foi realizado os ensaios, apresentando entre média e boa taxa de infiltração, sendo positivo para a instalação de um trincheira de infiltração.

k (m/s)	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
Tipos de solos	Seixos sem areia nem elementos finitos		Areia com seixos, areia grossa a fina		Areia muito fina, silte grosso a silteargiloso			Argila siltosa a argila homogênea			
Possibilidade de infiltração	Excelente		Boa		Média a baixa			Baixa a nula			

Figura 17 – Ordem da grandeza da condutividade hidráulica em diferentes solos.
Fonte: Lima (2009) *apud* Silva (2012)

Em relação aos índices físicos, Libardi (2005) cita alguns valores da densidade do solo dentro dos limites médios:

- Solos arenosos: 1,3 a 1,8 g.cm⁻³
- Solos argilosos: 1,00 a 1,4 g.cm⁻³
- Solos orgânicos: 0,2 a 0,6 g.cm⁻³

Assim também, Libardi (2005), denota valores representativos para porosidade total (Tabela 7):

Tabela 7 – Valores representativos de porosidade.

Classe Textural	Porosidade Total (%)
Argila	61,5 - 52,8
Franco	58,8 - 47,2
Areia	47,2 - 32,1

Fonte: Libardi (2005)

Através das análises físicas do solo, obtiveram-se os seguintes resultados, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados das amostragens físicas.

Cilindros (n°)	Peso Úmido (g)	Peso Seco (g)	Densidade do Solo (g.cm ⁻³)	Densidade da Partícula (g.cm ⁻³)	Umidade à base do peso úmido (g.g ⁻¹)	Umidade à base do volume (cm ³ .cm ⁻³)	Porosidade Total (%)
82	157,27	116,57	1,16	2,86	0,349	0,404	59,50
79	200,96	150,79	1,413	2,86	0,333	0,470	50,50
58	208,71	162,45	1,511	2,86	0,285	0,430	47,10
89	157,57	115,36	1,109	2,86	0,366	0,406	61,20
67	153,62	113,95	1,092	2,86	0,348	0,380	61,80
Média	157,57	116,57	1,16	2,86	0,35	0,41	59,5

Fonte: Autoria própria.

Aguiar (2001) apresenta que a densidade do solo pode ser influenciada pelo grau de compactação, analisando os cilindros n° 79 e 58 são os que apresenta maiores valores para tal, é possível confirmar pois suas amostras foram coletados em solo considera muito compactado.

A textura da rocha também é muito importante, pois influencia a porosidade e a permeabilidade que governam a facilidade com que a água pode penetrar nos poros da rocha e atacar os minerais. Através dos resultados obtidos dos índices físicos, observa-se que o solo apresenta características de natureza argilosa, aonde Reinert (2006) explica que solos argilosos pode ser resultado do intemperismo do basalto, ligado diretamente a sua estruturação, com maior predominância de microporos e entre estes, grãos de argila. Assim por o solo em questão apresentar tais características, faz com que facilite no processo de infiltração.

5.2 BALANÇO HÍDRICO

A eficiência da trincheira é obtida através por parâmetros de volume e vazão de pico, tempo de duração do evento e tempo de duração do esvaziamento da estrutura (SOUZA, 2002).

Para os 3 ensaios *in situ* realizados sem a presença da brita, a vazão afluyente (saída da caixa d'água), foi constante de 24L/min para os ensaios 1 e 2 e de 30 L/min para o ensaio 3. Durante 12 minutos o nível d'água na trincheira atingiu entre 30 e 43 cm. Após esse intervalo de tempo, foi desligada a torneira, simulando o final da chuva. Nesta situação a trincheira levou em média de 45 a 55 minutos para esvaziar por completo.

Nos ensaios realizados com a brita, foram feitos os mesmos procedimentos, com vazão constante de 30 L/ min. Por conter brita e esta ter certo volume, a altura da água foi maior para o mesmo intervalo de tempo de 12 min, portanto assim como o tempo de infiltração.

Através do balanço hídrico é possível obter, com os dados de cada ensaio *in situ*, a variação dos volumes em função do tempo (Figuras 18, 20 e 22). Ao dividir o volume infiltrado pela área, obtém-se a taxa de infiltração. Plotando a taxa de infiltração pelo tempo, obtém-se a velocidade de infiltração ($L.m^{-2}.min^{-1}$) (Figuras19, 21 e 22).

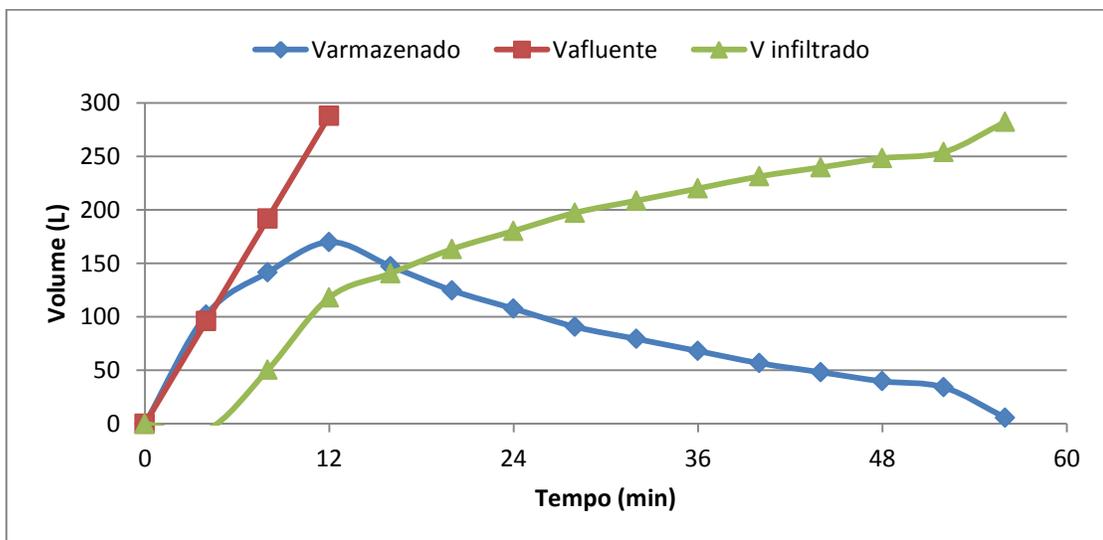


Figura 18 – Curvas das variações dos volumes em função do tempo - Ensaio 1 (sem a brita)
Fonte: Autoria própria.

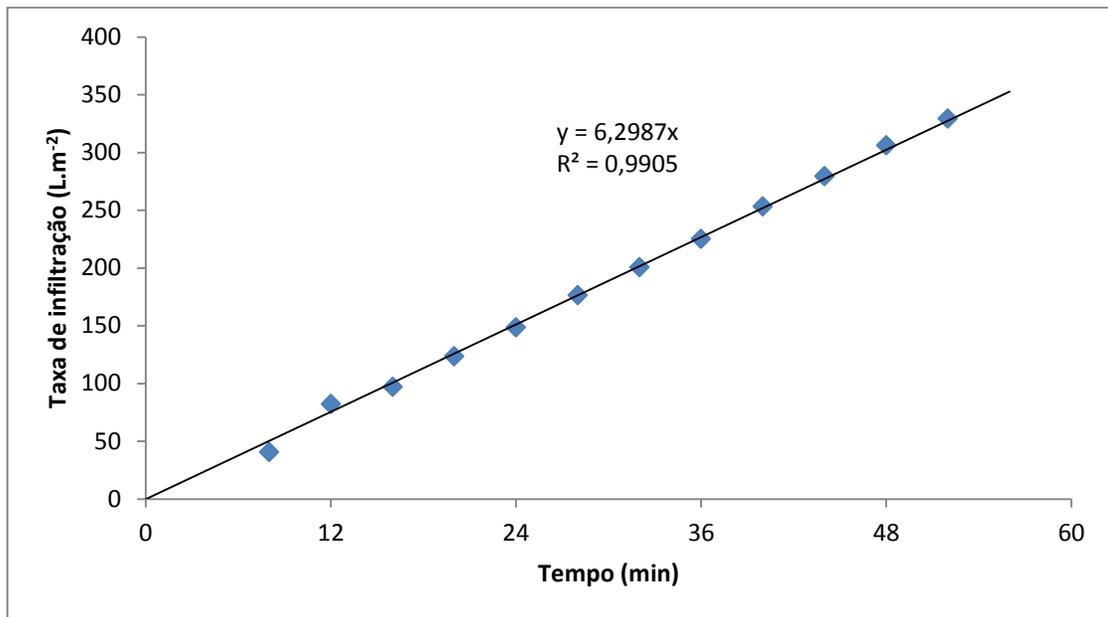


Figura 19 – Taxa de Infiltração - Ensaio 1 (sem a brita)
Fonte: Autoria própria.

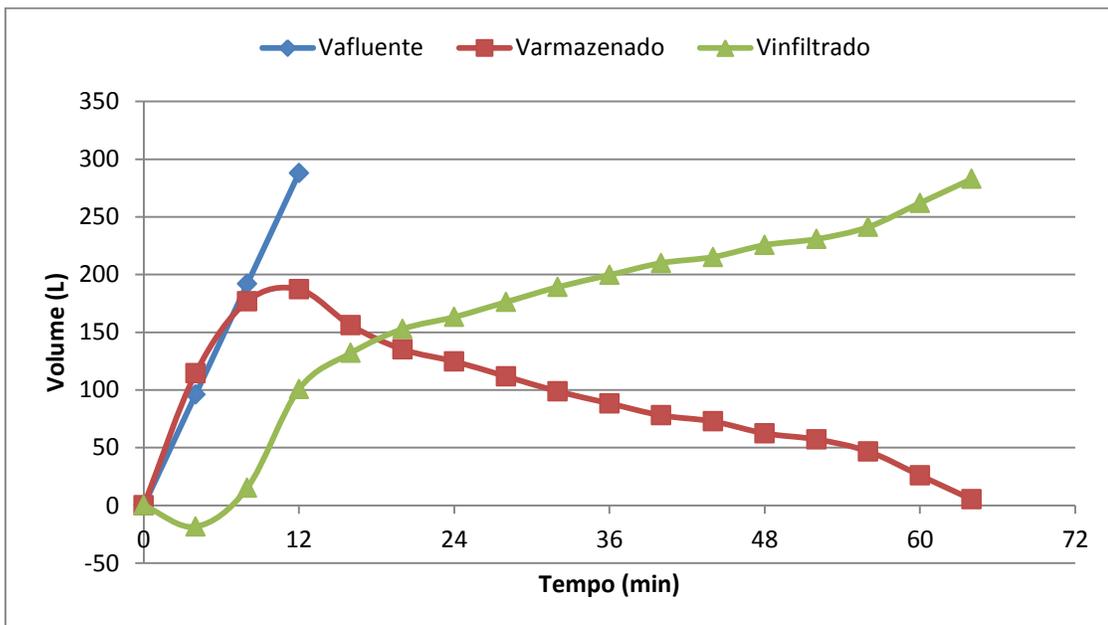


Figura 20 – Curvas das variações dos volumes em função do tempo - Ensaio 2 (sem a brita)
Fonte: Autoria própria.

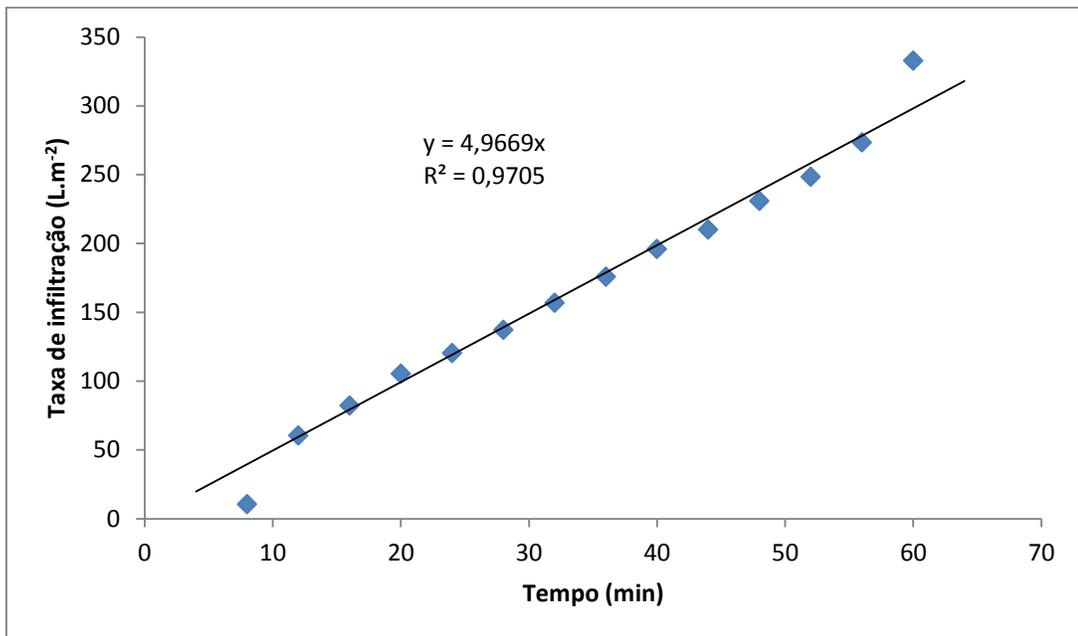


Figura 21 – Taxa de Infiltração - Ensaio 2 (sem a brita)
Fonte: Autoria própria.

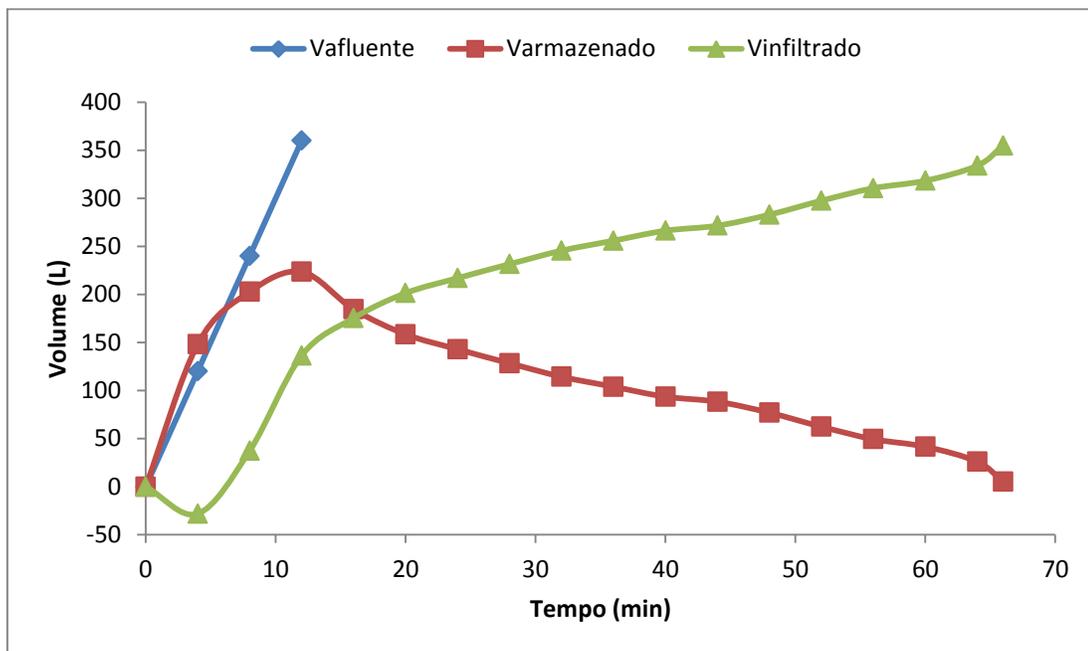


Figura 22 – Curvas das variações dos volumes em função do tempo - Ensaio 3 (sem a brita)
Fonte: Autoria própria.

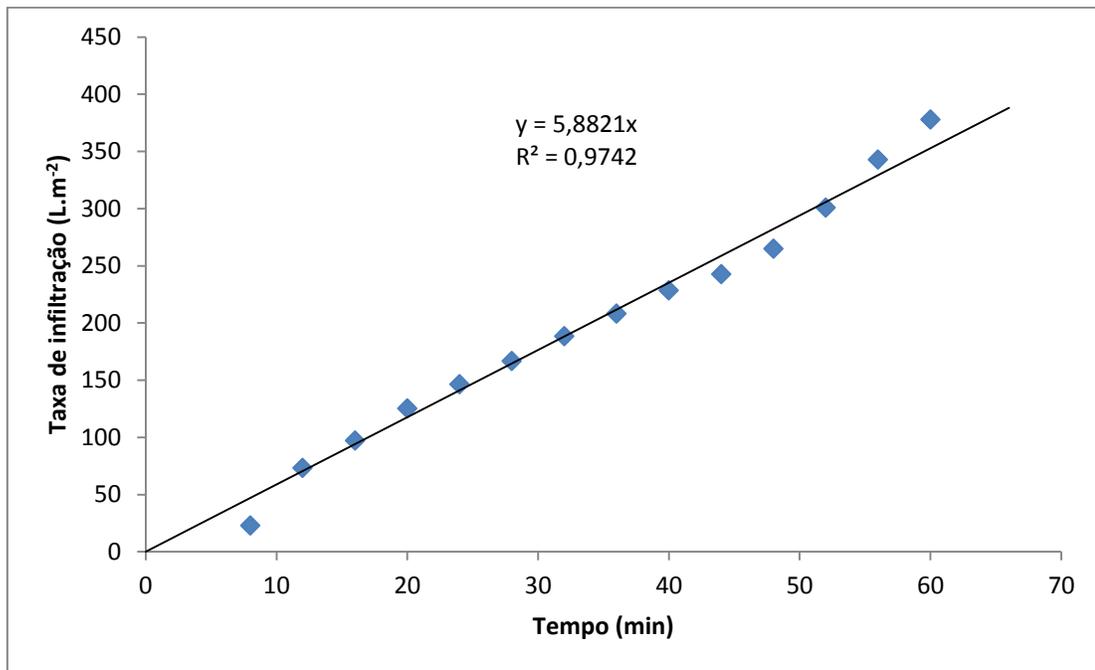


Figura 23 – Taxa de Infiltração - Ensaio 3 (sem a brita)
Fonte: Autoria própria.

Analisando os gráficos dos ensaios sem a brita, observa-se que o ensaio 1 apresentou velocidade de infiltração de $6,29 \text{ L.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$, o ensaio 2 de $4,96 \text{ L.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$ e o ensaio 3 de $5,88 \text{ L.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$.

Utilizando o Arduino, foram realizados 3 ensaios (somente com brita) aonde foi possível medir o volume infiltrado na trincheira ao longo do tempo, com volume afluente constante, e assim analisar sua eficiência, mostrados nas figuras 22, 24 e 26. Com a brita, a trincheira se esvazia mais rápido, pois o volume de água contido é menor, devido ao volume de vazios da brita.

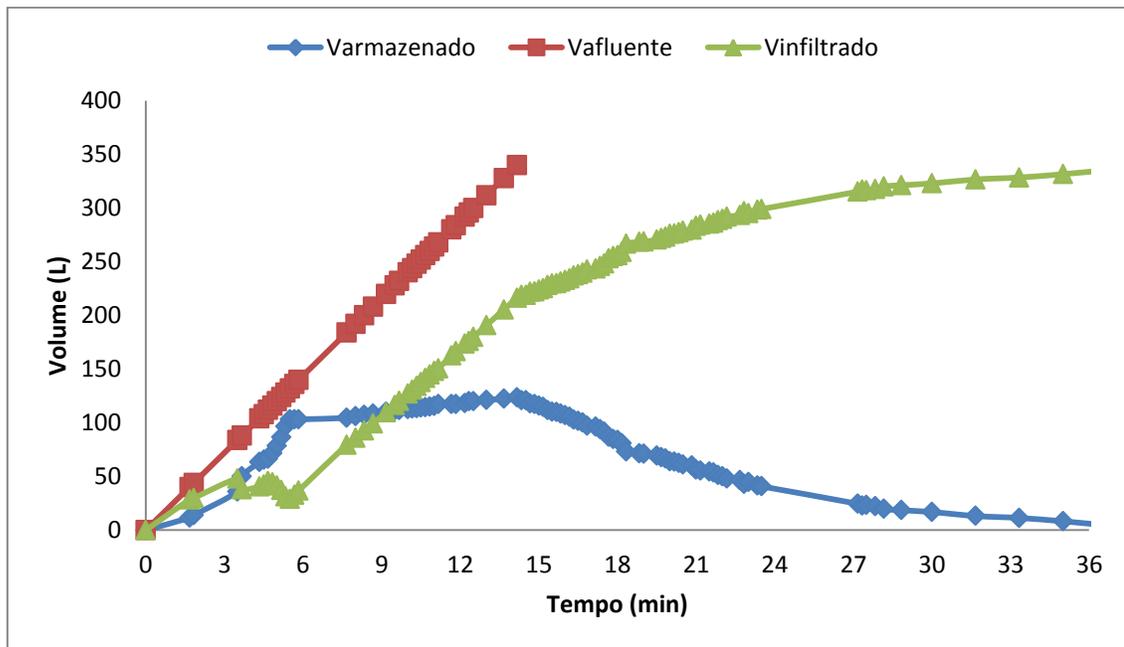


Figura 24 – Curvas das variações dos volumes em função do tempo - Ensaio 1 (com a brita)
Fonte: Autoria própria.

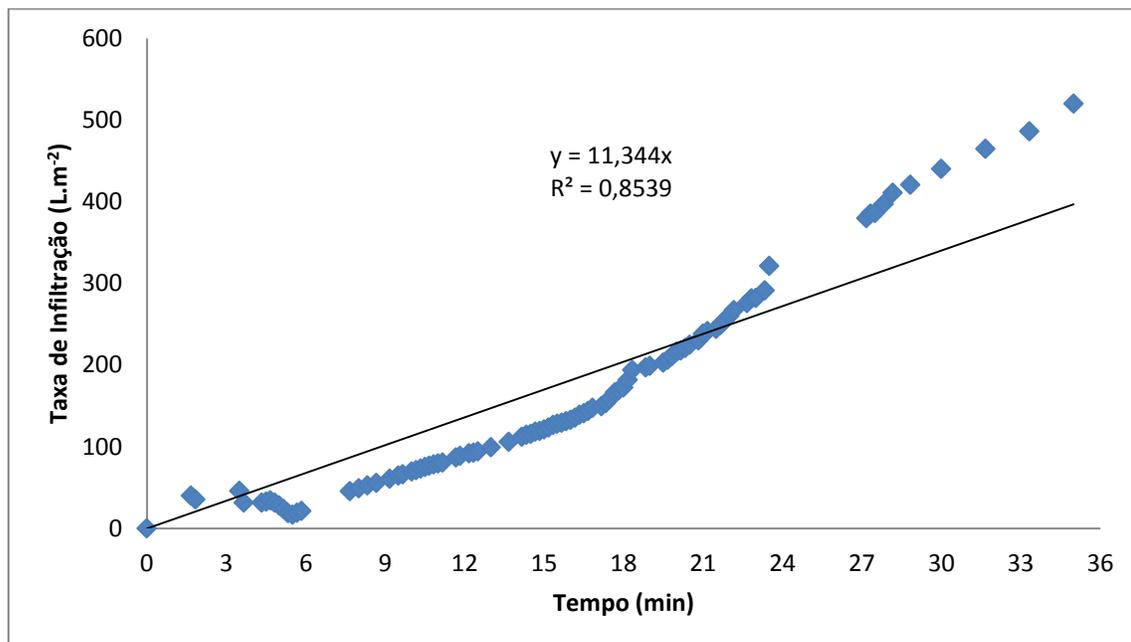


Figura 25 – Taxa de Infiltração - Ensaio 1 (com a brita)
Fonte: Autoria própria.

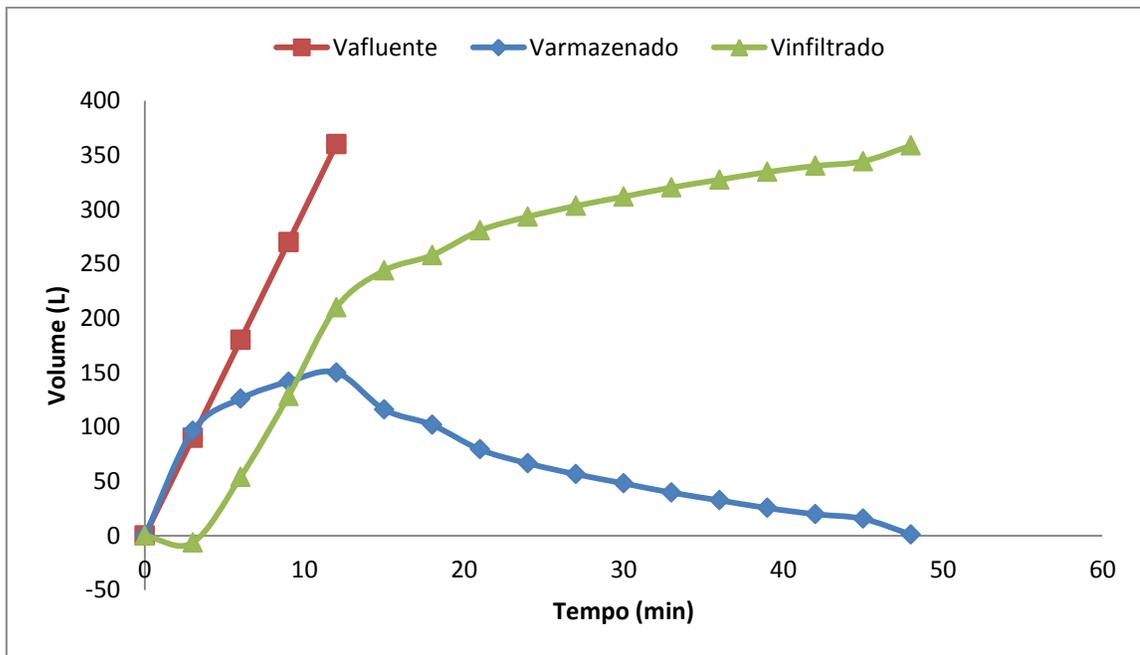


Figura 26 – Curvas das variações dos volumes em função do tempo - Ensaio 2 (com a brita)
Fonte: Autoria própria.

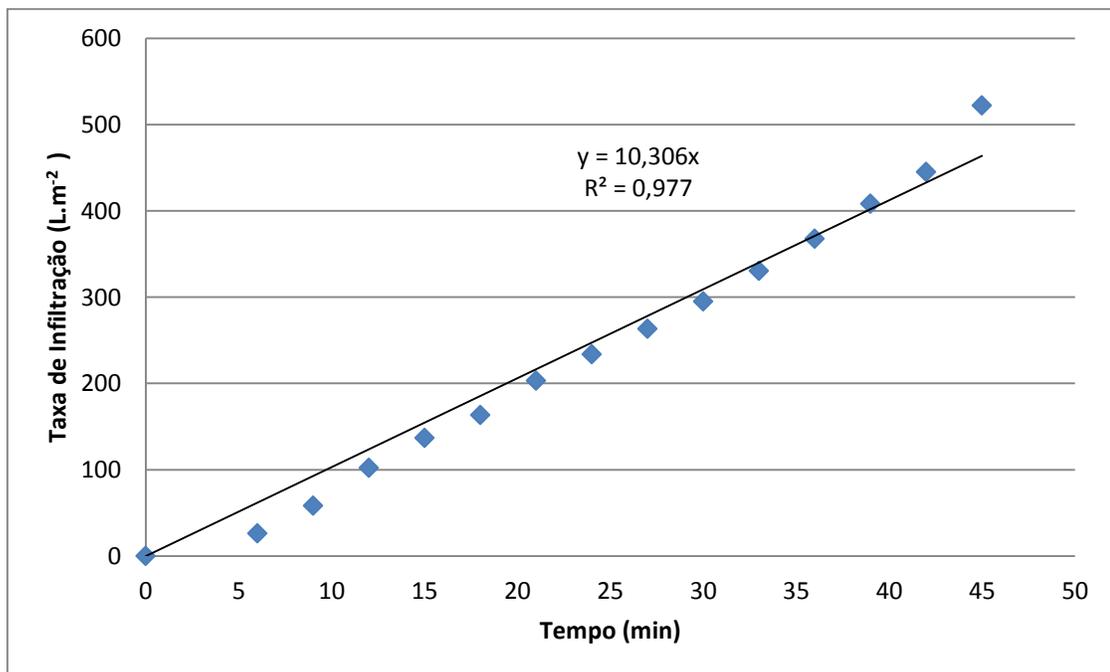


Figura 27 – Taxa de Infiltração - Ensaio 2 (com a brita)
Fonte: Autoria própria.

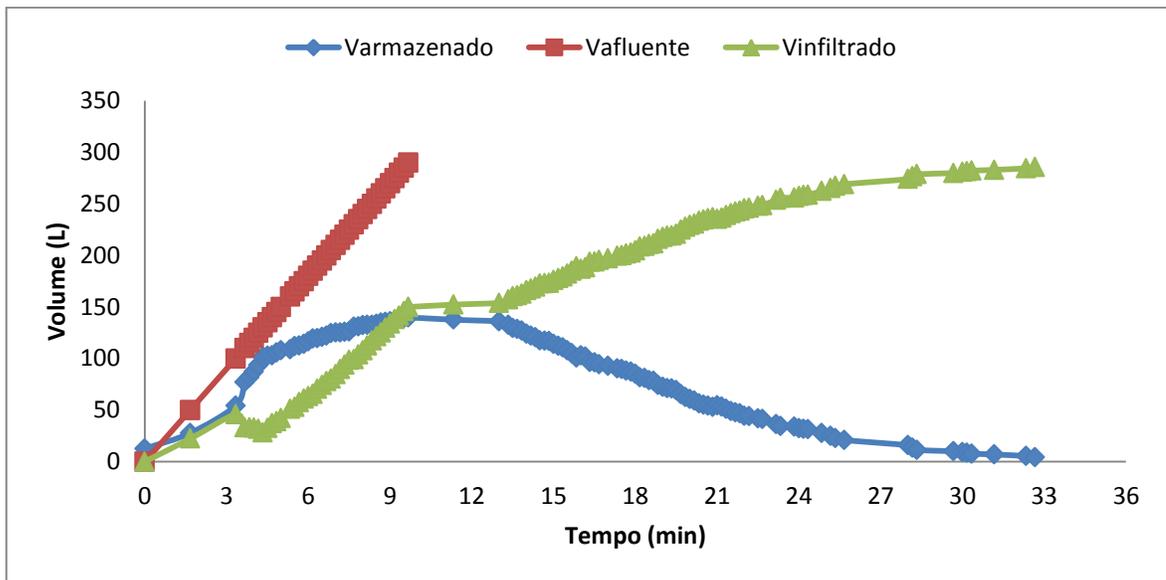


Figura 28 – Curvas das variações dos volumes em função do tempo - Ensaio 3 (com a brita)
Fonte: Autoria própria.

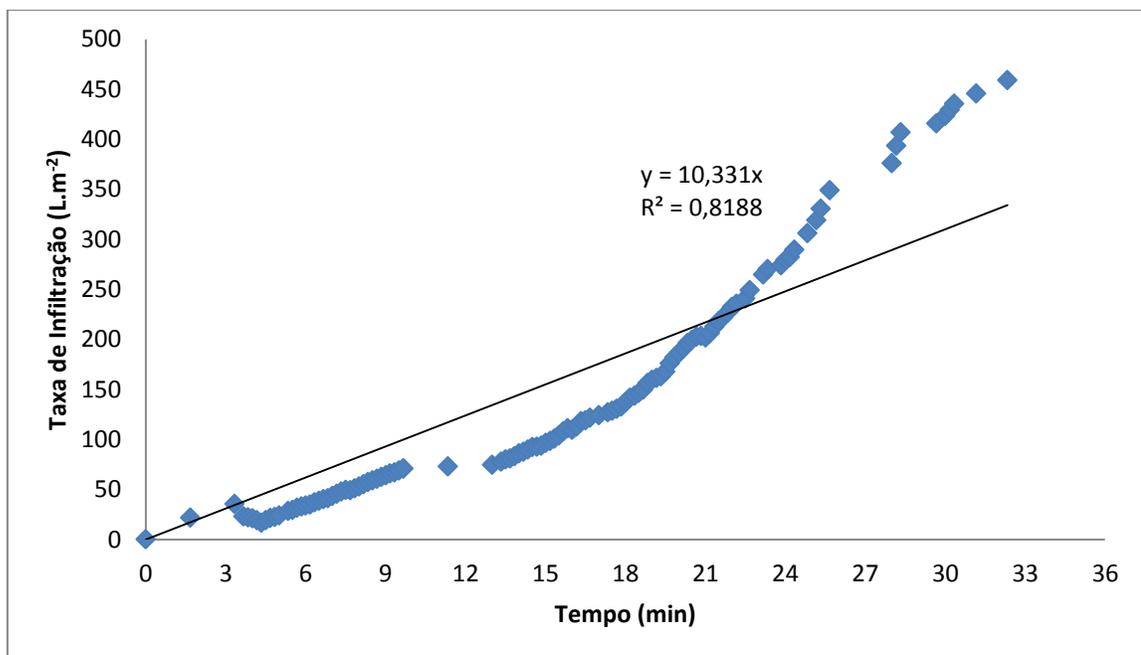


Figura 29 – Taxa de Infiltração - Ensaio 3 (com a brita)
Fonte: Autoria própria.

Por meio do Arduino, é possível gerar uma quantidade de dados mais precisos, e através dos ensaios realizados por este, verifica-se que o ensaio 1 apresentou velocidade de infiltração de $11,34 \text{ L.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$ (Figura 25), o ensaio 2 de $10,306 \text{ L.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$

$^2.\text{min}^{-1}$ (Figura 27) e o ensaio 3 de $10,31 \text{ L.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$ (Figura 29). A tabela 9 apresenta os resultados finais.

Tabela 9 – Quadro com valores da velocidade de infiltração dos ensaios feitos.

		Velocidade De Infiltração ($\text{L.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$)
Sem brita	Ensaio 1	6,29
	Ensaio 2	4,96
	Ensaio 3	5,88
Com brita	Ensaio 1	11,34
	Ensaio 2	10,306
	Ensaio 3	10,31

Fonte: Autoria própria.

Para Carvalho (2006) a taxa de infiltração, depende diretamente da textura e estrutura do solo e, para um mesmo solo, varia com o teor de umidade na época da chuva ou irrigação, da sua macro e micro porosidade e da existência de camada menos permeável (camada compactada) ao longo do perfil.

Apesar de terem sido realizados ensaios no mesmo tipo de solo, a velocidade de infiltração apresentou variações, isso pode ser devido aos ensaios serem realizado um após o outro, e assim o solo já estava inicialmente úmido.

5.3 DIMENSIONAMENTO DA TRINCHEIRA

Uma avaliação simplificada para poder estimar o valor da vazão afluente à trincheira, foi utilizado a equação 9 do método racional, adotando diferentes valores de coeficiente de escoamento superficial C , período de retorno T_r e duração de chuva t e com a área da bacia de contribuição A de 30 m^2 ($0,003 \text{ ha}$) fixa (Tabela 10).

Tabela 10 – Resultados de valores de diferentes vazões de projeto

		Q (l/min)		
C		0,7	0,75	0,8
Tr= 2	t = 10	34,55	37,02	39,48
	t = 12	33,00	35,36	37,72
	t = 15	30,93	33,14	35,35
	t = 20	28,02	30,02	32,02
Tr= 5	t = 10	34,84	37,33	39,82
	t = 12	33,28	35,66	38,04
	t = 15	31,20	33,42	35,65
	t = 20	28,26	30,28	32,29
Tr= 10	t = 10	35,07	37,57	40,08
	t = 12	33,50	35,89	38,28
	t = 15	31,40	33,64	35,88
	t = 20	28,44	30,47	32,50
Tr= 50	t = 10	35,60	38,14	40,68
	t = 12	34,00	36,43	36,43
	t = 15	31,87	34,15	36,42
	t = 20	28,87	30,93	32,99

Fonte: Autoria Própria.

Nas condições ideais de operação das instalações de infiltração com base no desempenho de tempo de concentração de 15 minutos (utilizando o mesmo valor de duração de chuva) e adotando a vazão de entrada 35,65 L/min, obtida por meio do método racional, tem-se um volume de 534,75 L. O valor de vazão adotado foi, pois este era próximo aos valores obtidos nos ensaios.

Com os valores de velocidade de infiltração obtidos por meio dos ensaios *in situ*, fez-se uma comparação com o valor de volume adotado, encontrado por meio do método racional. Assim é possível calcular o comprimento da trincheira necessário para suportar tal volume adotado, utilizando as dimensões de altura e largura já previamente adotadas. É calculado o comprimento para um ensaio com e outro sem a brita (Tabela 11).

Tabela 11 – Quadro com valores de comprimento para a trincheira.

		Vol. Armazenamento (L)	Vel. de Infiltração (L/m ² /min)	Aperc (m ²)	Vol. Infiltrado (L)	Vol. Total (L)	Comprimento (m)
L	1,03	156	4,96	1,72	128	284	1,88
b	0,52	156	10,31	1,72	266	422	1,27
h	0,6						

Fonte: Autoria Própria.

O volume útil para armazenamento foi o volume referente aos vazios da trincheira. Através da multiplicação entre os valores dos resultados obtidos de velocidade de infiltração e a área de percolação para cada metro da trincheira obteve-se uma vazão em L/min. Para encontrar o valor do volume infiltrado, foi adotado o mesmo valor do tempo de concentração de 15 minutos e assim multiplicado pela vazão.

O volume total se dá na soma entre o volume armazenado e o volume infiltrado. Portanto para cada valor do volume total encontrado, corresponde a um metro do comprimento, assim é encontrado o comprimento necessário para suportar o volume de projeto de 534,75 L. Com o comprimento previamente selecionado, de 1,03 metros, mostra que este conseguiria parcialmente comportar uma vazão mais elevada, podendo agir como um micro reservatório.

6 CONCLUSÃO

Os aspectos físicos do solo foram considerados importantes, pois determinam a implantação ou não de uma trincheira de infiltração em determinados locais, assim entender o perfil de solo é fundamental para que se compreenda o processo de infiltração. O solo no local da instalação possui características físicas que corresponde a textura argilosa apresentando nos ensaios *in situ* valores de densidade do solo, porosidade que correspondem a esse tipo de solo.

Por meio do Permeômetro de Guelph verificou que os resultados de condutividade hidráulica possui entre boa e média a baixa possibilidade de infiltração, sendo adequada a instalação de uma trincheira de infiltração. O preenchimento foi dado pela brita que atua como função de reservatório.

A implantação do sistema Arduino foi eficiente, pois com este foi possível gerar um número maior e mais preciso de dados no estudo, em relação aos volumes e assim obter valores da velocidade de infiltração como 4,96 L/m²/min ou 11,34 l/m²/min, utilizados para relacionar o comprimento de instalação com valor de vazão de projeto.

Analisando os fatores ecológicos atuais como a preocupação com a qualidade da água, gerados pela ampliação do escoamento superficial, conclui-se que a implantação de trincheiras de infiltração seria uma boa alternativa na diminuição de tais danos ambientais presentes em grandes centros urbanos e em áreas de expansão.

Conclui-se que estes sistemas poderiam ser analisados também como micro reservatórios de acúmulo de água, podendo ser considerado um elemento de prevenção de cheias, pela redução de volumes escoados e também vazões de pico.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. B. de; **O emprego do Permeômetro de Guelph na determinação da permeabilidade do solo, de camadas de lixo e sua cobertura.** Rio de Janeiro, RJ, 90 p. 2001.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana.** Porto Alegre: ABRH, 2005. 266p.

BRITO, D. S.; **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem.** Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Brasília, Brasília, DF, 117p. 2006

BUSKE, T.C.; **Comportamento da Umidade do Solo determinada por métodos expeditos.** Santa Maria, RS, 2013.

CAPUTO, U. K., **Avaliação do potencial de utilização de trincheiras de infiltração em espaços com urbanização consolidada / Estudo de caso do município de belo horizonte - MG.** Belo Horizonte, 2012.

CARVALHO, D. F de., SILVA, L.D.B da., **Apostila: Hidrologia.**, disponível em < <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap5-INF.pdf> >, UFRRJ, 2006.

CASTRO, L. M. A. DE. **Proposição de metodologia para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água.** Belo Horizonte, 2007.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo.** Centro Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1997. 212p.

FENDRICH, R. **Chuvas Intensas para Obras de Drenagem no Estado do Paraná.** 2ª. Edição. Gráfica Vicentina Editora Ltda. Curitiba/PR, 2003, 101 p.

FESTI, A. V. **Coletânea das equações de chuva do brasil.** p. 1-18, 2006.

GRACIOSA, M. C. P.; MENDIONDO, E. M.; CHAUDHRY, F. H. **Metodologia para o Dimensionamento de Trincheiras de Infiltração para o Controle do Escoamento Superficial na Origem.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 13, p. 207–214, 2008.

HEINRICHS, R; **Densidade do Solo e das Partículas.** Universidade Estadual Paulista, Dracena, 2010.

LIMA, V. C. G. DA R. **Análise Experimental e Numérica de Trincheiras de Infiltração em Meio Saturado**. São Carlos, 2009.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

LONDRINA. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Londrina, p. 340–477, 2005

MENDONÇA, E. C. **Metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana**. Brasília, DF, 2009.

MOURA, P. M. **Contribuição para a Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana**. Belo Horizonte, 2004.

MOURUZZI, R.B.; TRINDADE, S.G; **Subsídios para implantação de trincheiras de infiltração na área urbana de Rio Claro**. São Paulo, 2011.

NETO, C. C. **Sistemas Urbanos de Drenagem**. p. 1–19, 2009.

OLIVA, A. **Estudo hidrofaciológico do aquífero Rio Claro no município de Rio Claro – SP**. 196 f. (Dissertação de Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas /Unesp- Rio Claro, 196f. 2006.

PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V. dos S.; DEMTRIOUS, D. da S. **Escoamento Superficial**. Viçosa, UFV, 2003

REICHERT, J.M. **Fundamentos da Ciência do Solo**. Porto Alegre, UFSM, 2007.

REINERT, D. J.; REICHERT, J.M. **Propriedade Físicas do Solo**. Santa Maria, UFSM, 2006.

SILVA, J. P. **Estudos Preliminares para Implantação de Trincheiras de Infiltração**. Brasília, 2002.

SILVA, J.P. **Estruturas de Infiltração com Utilização de Materiais Alternativos no Controle de Alagamentos, Inundações e Prevenção de Processos Erosivos**. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 215p., 2012.

SILVA, L. C. DA. **Sistemas de Drenagem Urbana Não-Convencionais**. São Paulo, 2004.

SOIL MOISTURE CORP. **Guelph Permeameter: Operating Instructions**. Santa Bárbara, 1991.

SOUZA, V. C. B. DE. **Estudo Experimental de trincheiras de Infiltração no Controle da Geração do Escomento Superficial**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Água no Meio Urbano**. 1997

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas: Estudos Avançados**. 22p. 97–112, 2008.

TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. da M. **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2001. 2 v.

VIDA DE SÍLICIO. **Apostila Arduino Básico**. Vol 1. 2014. Disponível em: <http://promo.vidadesilicio.com.br/apostila-arduino-basico/>. Acesso em : 23 de abril de 2015.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1998. 477p.