

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JANIEL ANTÔNIO BAZZO
PRISCILA LUIZA HORN

**CALIBRAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO DE INFILTRAÇÃO DE
HORTON EM PAVIMENTO DE CONCRETO TIPO BLOCOS
INTERTRAVADOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2017**

JANIEL ANTONIO BAZZO
PRISCILA LUIZA HORN

**CALIBRAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO DE INFILTRAÇÃO DE
HORTON EM PAVIMENTO DE CONCRETO TIPO BLOCOS
INTERTRAVADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para a
conclusão do curso de Engenharia Civil da
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná – UTFPR, *Câmpus* Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Cesar Lucas

PATO BRANCO
2017



TERMO DE APROVAÇÃO

CALIBRAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO DE INFILTRAÇÃO DE HORTON EM PAVIMENTO DE CONCRETO TIPO BLOCOS INTERTRAVADOS

Janiel Antonio Bazzo

Priscila Luiza Horn

No dia 23 de novembro de 2017, às 08h15min, na Sala Q 007 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em engenharia civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº37-TCC/2017.

Orientador: Prof^a. Dr. MURILO CESAR LUCAS (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Dr. CESAR AUGUSTO MEDEIROS DESTRO
(DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da banca: Prof^a. Dr^a. MARIVONE ZANELLA FANK (DACOC/UTFPR-PB)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por ter nos permitido cumprir mais esta importante e difícil etapa da vida.

Agradecemos à nossa família pelo total apoio e suporte durante todos esses anos de faculdade.

Ao professor Orientador Prof. Murilo Cesar Lucas, pela disponibilidade, contribuições e total apoio ao longo deste trabalho.

Por fim, agradecemos aos colegas e amigos que tivemos no período de graduação que de alguma forma contribuíram para nosso desenvolvimento e estavam sempre presente nos ajudando.

RESUMO

Bazzo, Janiel A. Horn, Priscila L. **Calibração do modelo matemático de infiltração de Horton em pavimento de concreto tipo blocos intertravados**. 2017, 69 pág. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2017.

O processo de urbanização torna-se cada vez mais acelerado. O planejamento urbano aliado a elementos que corroborem com a concepção de áreas permeáveis para assim evitar problemas de inundações, é de suma importância. A infiltração é um processo complexo com muitos fatores que contribuem com sua taxa e a determinação destes fatores podem nos ajudar a um dimensionamento mais eficaz de obras de drenagem. Neste contexto, o uso de blocos intertravados de concreto aparece como um meio de contribuir com o aumento do processo de infiltração de água no solo. O principal objetivo deste trabalho é estimar a taxa de infiltração em pavimentos de concreto do tipo blocos intertravados com o uso de anel singular e calibrar o parâmetro de decaimento da taxa de infiltração da equação de Horton. Os ensaios foram realizados em Pato Branco-PR, com o uso do infiltrômetro de anel singular de diâmetro de 30cm, em 9 pontos amostrais. Por meio da relação entre a curva de Horton e o hietograma gerado para chuvas intensas foi possível estimar o escoamento superficial, que ambas tiveram baixos valores (6,25mm e 27,30mm). O modelo matemático adotado foi capaz de representar o formato característico da taxa de infiltração ao longo do tempo nos blocos intertravados apresentando um valor de taxa de infiltração mínima satisfatório (50mm/h), embora o mesmo possa estar superestimado devido a percolação lateral de água. Os valores de β da equação de Horton apresentaram um comportamento semelhante nos gráficos, conforme seus maiores e menores valores, variando entre 1,50 e 13,05. Contudo, os pavimentos analisados apresentaram uma capacidade mínima de infiltração com velocidade moderada, colaborando com a diminuição do escoamento superficial, minimizando assim as vazões de pico.

Palavras-chave: Taxa de infiltração. Blocos intertravados de concreto. Modelo matemático de Horton.

ABSTRACT

Bazzo, Janiel A; Horn, Priscila L. **Horton's mathematical model of infiltration in interlocked concrete blocks**. 2017, 69 p. Graduation Course in Civil Engineering - Academic Department of Civil Construction, Federal University of Technology of Paraná - UTFPR. Pato Branco, 2017.

The urbanization process becomes increasingly accelerated. Urban planning associated with elements that corroborate with the design of permeable areas to avoid flood problems, it is very important. Infiltration is a complex process with many factors contributing to its rate and the determination of these factors can help us to design drainage projects more effectively. In this context, the use of interlocked concrete blocks appears as a means of contributing to increase the process of infiltration of water into the soil. The main objective of this work is to estimate the infiltration rate in interlocked concrete blocks using a singular ring and to calibrate the parameter of decay of the infiltration rate of Horton's equation. The tests were carried out in Pato Branco-PR, using the singular ring infiltrometer with a diameter of 30cm, in 9 sample points. The relationship between the Horton curve and the hietogram generated for heavy rainfall, allowed the surface runoff estimation, both with low values (6.25 mm and 27.30 mm). The mathematical model adopted was able to represent the characteristic format of the infiltration rate over time in the interlocked blocks, presenting a satisfactory minimum infiltration rate (50mm / h), although it may be overestimated due to lateral water percolation. The β values of the Horton equation presented a similar behavior in the graphs, according to their higher and lower values, varying between 1.50 and 13.05. However, the pavements analyzed presented a minimum infiltration capacity with moderate speed, collaborating with the reduction of the surface runoff, thus minimizing the peak flows.

Key words: Infiltration rate. Interlocked concrete blocks. Horton's mathematical model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Anéis concêntricos, capacidade de infiltração	20
Figura 2 – Curva de retenção da solução no solo.....	25
Figura 3 – Localização dos pontos ensaiados.....	26
Figura 4 - a) Espinha-de-peixe; b) Trama; c) Quadriculado	27
Figura 5 - Infiltrômetro de cilindro único usado para o teste de infiltração.	28
Figura 6 - Paquímetro posicionado sobre o cilindro.	29
Figura 7 - Curva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 1) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear....	32
Figura 8 - Curva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 2) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear....	33
Figura 9 - Curva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 3) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear....	33
Figura 10 - Curva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 4) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear.	34
Figura 11 - Curva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 5) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear.	34
Figura 12 - Curva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 6) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear.	35
Figura 13 - Curva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 7) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear.	35
Figura 14 - urva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 8) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear....	36
Figura 15 - Curva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 9) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear.	36
Figura 16 - a) arranjo geométrico tipo espinha de peixe; b) arranjo geométrico tipo trama	37

Figura 17 - a) Ensaio 7 realizado no estacionamento do Parque Tecnológico; b) Ensaio 8 no Anfiteatro.....	39
Figura 18 - Boxplot dos valores da constante de decaimento de Horton obtidos por meio do ajuste do modelo de infiltração de Horton aos dados de campo	40
Figura 19 - Comparação da taxa de infiltração nos pavimentos tipo bloco intertravados de concreto com outros tipos de pavimentos. Esquerda da linha pontilhada: resultados deste estudo. Direita da linha pontilhada: resultados de literaturas.	43
Figura 20 - Hietograma com dados de chuva de Janeiro/2017 contra a curva da taxa infiltração.....	47
Figura 21 - Hietograma simulado a partir da IDF de Pato Branco contra a curva da taxa de infiltração de Horton.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Crescimento da população urbana brasileira ao longo dos anos	15
Tabela 2 – Classificação da condutividade hidráulica em meio saturado	24
Tabela 3 – Dados coletados experimentalmente	29
Tabela 4 – Valores do parâmetro β em ordem decrescente	40
Tabela 5 – Valores ajustados de R^2 e RMSE extraídos do MATLAB	44
Tabela 6 – Valores experimentais de f_0 , β e f_f	46
Tabela 7 – Dados extraídos do CEMADEN e adaptado com a Equação de Horton .	46
Tabela 8 – Valores gerados através da equação IDF	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA.....	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
	O objetivo deste trabalho é calibrar o modelo matemático de infiltração de Horton em pavimentos de concreto tipo blocos intertravados.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
3.1	SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA	14
3.1.1	Efeitos da Urbanização.....	14
3.1.2	Medidas não-convencionais de drenagem	15
3.2	INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	17
3.2.1	Dinâmicas de água no solo.....	19
3.2.2	Métodos de campo	20
3.2.3	Modelos matemáticos de infiltração de água no solo	21
3.2.3.1	Equação de Horton.....	22
3.2.4	Potencial mátrico do solo.....	24
4	MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1	ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO EM PAVIMENTOS TIPO BLOCOS INTERTRAVADOS.....	26
4.2	MÉTODO DE CALIBRAÇÃO	30
4.3	ANÁLISE DE DADOS E DETERMINAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1	RESULTADOS DO AJUSTE DO MODELO DE INFILTRAÇÃO DE HORTON.....	32
5.2	AJUSTE DO PARÂMETRO B DA EQUAÇÃO DE HORTON.....	39
5.3	PRECISÃO DOS RESULTADOS PELOS FATORES R^2 E RMSE	44
5.4	DETERMINAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	45
6	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
	APÊNDICE A –	60
	APÊNDICE B –	69

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional aliado ao êxodo rural e a ampliação das cidades causaram uma alta impermeabilização, cerca de 70%, dos solos urbanos e como resultado a diminuição de espaços públicos (CADORIN; MELLO, 2011). Com isso, a ocorrência das inundações urbanas é cada vez mais comum nas cidades. A impermeabilização do solo por meio de áreas construídas em concreto ou asfalto causam o desequilíbrio dos cursos hídricos, contaminando assim a água, o nível freático e o solo.

Os atuais sistemas de drenagem existentes são um método paliativo, pois, transferem o problema das ondas de cheia e inundações para jusante (VIRGILLIS, 2009). Algumas medidas não convencionais de drenagem, as quais se diferenciam da concepção conhecida de canalização e retificação, podem ser utilizadas. Para medidas de controle direto na fonte por infiltração, temos as trincheiras de infiltração, os pavimentos permeáveis e os poços de infiltração (FONSECA et al., 2009). Essas medidas, podem aumentar o processo de infiltração da água no solo.

A diminuição do número de ocorrências de inundações urbanas pode ocorrer com o aumento de áreas permeáveis que permitam a infiltração de água no solo. Através da mudança dos pavimentos de praças, calçadas, estacionamentos, condomínios e conjuntos habitacionais, pátios e até ruas com tráfego leve, pode-se contribuir com a drenagem pluvial urbana. (PINHEIRO & LÍGIA, 2013).

O pavimento tipo bloco intertravado de concreto (*paver*) é apresentado atualmente, como uma solução que abrange duas questões essenciais, que são a drenagem e a mobilidade de áreas urbanas (JÚNIOR, 2007). O *paver* tem várias vantagens como permeabilidade, facilidade de manutenção visto que o pavimento pode ser instalado e removido a qualquer hora, onde há um ganho de produtividade. Ele também produz um elegante efeito estético com os espaços pavimentados onde tem várias texturas, formas e cores das peças (MARCHIONI et al., 2010).

Este trabalho teve como intuito analisar os fatores que podem influenciar a taxa de infiltração dos *pavers* e calibrar o modelo matemático de Horton através do programa computacional MATLAB. A análise se deu com a utilização de anel único de infiltração em três arranjos geométricos diferentes no município de Pato Branco-PR.

1.1 JUSTIFICATIVA

A urbanização e concentração demográfica, aliado com falta da execução das ações do plano diretor nas cidades tem aumentado relativamente a taxa de impermeabilização e vazões de pico nas bacias. Com isso problemas relacionados a cheia e inundação tornam-se cada vez mais frequentes (CADORIN & MELLO, 2011).

A drenagem urbana tem sido projetada com o princípio de escoar a água pluvial, em um período curto de tempo, dos pontos altos (montante) para os fundos de vale (jusante) da drenagem. Este tipo de solução transfere a problemática da inundação de um ponto para o outro. A ocupação das áreas ribeirinhas resulta em prejuízos evidentes, sociais, econômicos e ambientais, quando o rio atinge seu leito de cheia (GONÇALVES et. al., 2009).

Alguns pesquisadores têm sugerido novas tecnologias de redução do escoamento superficial. Tais como a construção de trincheiras de infiltração, os pavimentos permeáveis, e os poços de infiltração. (KOBAYASHI et al., 2008).

A compreensão dos processos de infiltração é essencial para que se possa melhorar o desempenho de modelos hidrológicos, para realização de dimensionamento de sistemas de irrigação e também para a reposição da capacidade de água do solo que retém o escoamento de base dos rios. Alguns fatores são determinantes no que se diz respeito ao processo de infiltração como a precipitação, as propriedades hidráulicas do perfil do solo e a cobertura da superfície. Para compreender e caracterizar quantitativamente as relações entre a infiltração e seus elementos condicionantes há a necessidade de modelação do processo (OLIVEIRA, 2015).

Os modelos matemáticos para determinação da infiltração de água podem ser empíricos ou teóricos (BRANDÃO et. al., 2004). Neste trabalho é analisada a taxa de infiltração dos blocos intertravados de concreto por meio do modelo matemático de Horton por ser amplamente conhecido e considerado o mais consistente dentre os outros. Tem-se a necessidade de modelar o processo de infiltração, a fim de relatar quantitativamente as relações entre ela e os seus elementos condicionantes.

Este trabalho justifica-se na necessidade de verificar a forma com que os parâmetros da curva de infiltração se comportam em relação aos pavimentos

intertravados de concreto e quais são os fatores envolvidos que podem influenciar para a taxa de infiltração nos mesmos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é calibrar o modelo matemático de infiltração de Horton em pavimentos de concreto tipo blocos intertravados.

2.2 Objetivos Específicos

- (i) Estimar a taxa de infiltração de água em blocos intertravados de concreto em campo usando o método do infiltrômetro de anel singular;
- (ii) Calibrar o parâmetro de decaimento da taxa de infiltração da equação de Horton;
- (iii) Avaliar a qualidade do ajuste entre os dados de infiltração obtidos em campo e a equação da taxa de infiltração de Horton;
- (iv) Estimar a taxa de escoamento superficial nos blocos intertravados por meio do modelo de infiltração de Horton e um hietograma real.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3.1 SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

A grande ocupação nas áreas de escoamento natural das águas pluviais e a ausência de um sistema de drenagem urbana são dois notáveis fatores que contribuem com a questão de inundações, cheias e alagamentos nas cidades. Essas questões são de responsabilidade do poder público na área de saneamento básico e habitação, mas nem sempre tem a devida atenção e os problemas acabam ocorrendo frequentemente (ALMEIDA, 2014).

Os sistemas de drenagem urbana são sistemas que visam escoar as águas pluviais para evitar as inundações, sobretudo nas áreas mais baixas da cidade propícias a alagamentos (SZÉLIGA, et al., 2000). Uma das soluções propostas por engenheiros, é o escoamento das águas das chuvas de pontos mais altos para os fundos de vale em um tempo reduzido. Infelizmente isso somente acaba mudando a problemática das cheias de um ponto para outro. A utilização de áreas ribeirinhas traz como consequências prejuízos de âmbito sociais, ambientais e econômicos quando ocorrem as grandes chuvas e o rio acaba transbordando (GONÇALVES, 2009).

O conceito do que se entende por drenagem urbana ultrapassou o campo restrito da engenharia para se tornar um problema gerencial, com componentes políticos e sociológicos (TUCCI, 2005). Não basta somente pensarmos em várias soluções e alternativas se as políticas não colaborarem, é fundamental possibilitar o desenvolvimento urbano de um jeito harmonioso, que seja sustentável e articulado.

3.1.1 Efeitos da Urbanização

As diversas atividades que ocorrem nas cidades afetam diretamente o meio ambiente, interferindo as relações entre os elementos de um ecossistema. O processo de urbanização pode ocorrer de forma harmoniosa ou desastrosa, impactando significativamente no meio ambiente. Quando as cidades crescem de forma desordenada e sem planejamento, elas acabam danificando os ecossistemas e seus meios básicos para sobrevivência dos seres vivos. Com o aumento natural da população e crescimento das cidades, pode-se prever que a situação será ainda mais

delicada, devido aos vários problemas econômicos, sociais e ambientais atualmente, onde precisa-se prever políticas sustentáveis para modificar essa gestão da área urbana (PHILIPPI JR, 2005).

De acordo com dados da Organização das Nações Unidas ONU, 2016 metade da população mundial, cerca de 54%, vive em áreas urbanas atualmente, prevendo-se um aumento para 66% até o ano de 2050. O fato é ainda mais preocupante quando se sabe que esse aumento da população urbana se dará em países mais pobres, em desenvolvimento. O processo de urbanização vem acontecendo com proporções muito elevadas no Brasil (Tabela 1). O percentual de pessoas que vivem em áreas urbanas é maior que 80%.

Tabela 1 - Crescimento da população urbana brasileira ao longo dos anos

Ano	População (em milhões)	% Urbana
1960	70,9	45,08
1970	94,5	55,98
1980	121	67,70
1991	146,9	75,47
2000	169,5	81,23
2010	190,7	84,36

Fonte: IBGE (2010)

Os problemas em decorrência do processo de urbanização têm uma parcela de ligação com o aproveitamento de recursos hídricos, a contenção das inundações e ao controle da poluição. As consequências que podem afetar o clima, são de pequena escala, mas se pensar em um maior período elas podem gerar alterações muito relevantes no balanço hídrico, podendo interferir na qualidade das águas (IDONE et. al., 2005).

3.1.2 Medidas não-convencionais de drenagem

Segundo Canholi (2014), as medidas não convencionais em drenagem urbana podem ser entendidas como estruturas, obras, dispositivos ou mesmo como conceitos diferenciados de projeto, cuja utilização não se encontra ainda disseminada

no Brasil. São medidas que se diferenciam da ideia habitual de canalização, porém podem estar a ela ligada, para uma melhoria no sistema de drenagem.

Uma das abordagens de drenagem não convencional são conhecidas como *Low Impact Development* ou LID que visam reduzir os impactos do escoamento superficial com sistemas e técnicas estruturais e não-estruturais. As técnicas do LID se inter-relacionam com o processo de escoamento de chuva controlando-o e concebendo medidas de projeto que possam reduzir consideravelmente os impactos causados no solo pela água da chuva. Essas medidas usadas no LID que incluem um gerenciamento de água de chuva que podem ser estruturais e não-estruturais fazem parte de um subconjunto de práticas conhecidas como Best Management Practices ou BMPs (New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual, 2004).

Um método que vem sendo utilizado para reduzir o escoamento superficial, permitindo uma maior infiltração de água no solo e diminuindo as áreas impermeáveis é o uso de pavimentos permeáveis, uma alternativa ao asfalto ou concreto convencional (COLLINS et al, 2008). Os pavimentos permeáveis têm se mostrado como uma boa solução em resposta a redução do volume de escoamento de águas de chuva, à temperatura de escoamento enquanto ainda fornece resultados positivos quanto a diminuição das cargas de poluentes do solo (WARDYNSKI et al, 2012).

A taxa de infiltração dos pavimentos permeáveis depende de alguns aspectos como o nível freático, a duração e a intensidade da chuva e as características do solo como porosidade, grau de compactação e teor de umidade. A infiltração também é influenciada pelas propriedades de revestimento superficial e as características da camada da base. Essas propriedades estão relacionadas com o tamanho, geometria e também com a suscetibilidade de obstrução dos elementos devido à falta de manutenção e limpeza dos blocos. (SCHOLZ et al, 2007).

Segundo Pinto (2011), para ser considerado pavimento permeável, ele deve apresentar vazios interligados. Devido à ausência de partículas finas o pavimento permeável não resiste tanto às grandes cargas quando comparado com pavimentos convencionais. Portanto ele é recomendado para áreas onde não tenha tráfego intenso como estacionamentos, calçadas, pavimentos de praças, entre outros.

3.2 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A infiltração é caracterizada pela passagem de água proveniente da precipitação, derretimento de neve ou irrigação para o interior do solo (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). A redistribuição é um movimento de água dentro do solo que vai de um ponto para outro depois de cessada a chuva. Esses dois processos dependem fortemente um do outro visto que a taxa de infiltração é influenciada pela taxa de movimento da água no interior do solo. Posteriormente ao processo de infiltração, o movimento da água do solo prossegue redistribuindo a água para baixo da superfície do solo (RAWLS et al., 1993). Os mesmos fatores que governam a taxa de infiltração também são significativos na redistribuição de água abaixo da superfície do solo durante e após a infiltração. Portanto, o entendimento da infiltração e os aspectos que a afetam é de suma importância não só na determinação do escoamento superficial, como também na compreensão do movimento subterrâneo e armazenamento de água dentro de uma bacia hidrográfica (SKAGGS & KHALEEL, 1982).

Podemos definir ainda a infiltração como um processo desacelerado. Inicia com uma taxa de infiltração alta que com o passar do tempo vai saturando o solo, e por consequência, essa taxa vai diminuindo gradativamente com o passar do tempo até atingir um nível constante. A diminuição da velocidade de infiltração ocorre em função do decréscimo do gradiente potencial total da água na superfície no solo. Com o passar do tempo, quando o gradiente tende a uma estabilidade, a velocidade pode ser assumida como constante. Sendo que esta velocidade para tempos longos, tende para o valor da condutividade hidráulica saturada do solo superficial. Quando são atingidas essas condições, ou seja, que a velocidade quase não varia com o tempo, então, a mesma passa a ser denominada de velocidade de infiltração básica. (KUNZE e KAR-KURI, 1983; PHILIP, 1957; REICHARDT, 1990).

A infiltração e o movimento da água no solo desempenham um papel fundamental no escoamento superficial, na recarga dos aquíferos, na evapotranspiração, na erosão do solo e no transporte de substâncias químicas no interior do solo (OLIVEIRA, 2005).

Ainda segundo Oliveira (2005), no interior de um solo temos geralmente canais não capilares, por meio dos quais a ação da gravidade faz com que a água do

solo escoar no sentido descendente, ou seja, em direção a camadas situadas a menores cotas, onde geralmente encontramos às reservas subterrâneas. Neste movimento a água está sujeita a forças capilares, ficando parcialmente retida em interstícios capilares, ao passo que a quantidade de água que atinge os horizontes do solo sucessivamente a menores cotas reduz. Por meio deste processo temos o aumento da resistência ao escoamento da água do solo na camada superficial, além de uma conseqüente diminuição da taxa de infiltração à medida que a precipitação continua.

A infiltração depende de alguns fatores que são intervenientes em sua taxa, entre eles destacam-se segundo PINTO (1976):

- Grau de umidade do solo: o solo no estado seco tem maior capacidade de infiltração, devido ao fato de que à ação gravitacional se somam as forças capilares. Ao contrário, então menor será a capacidade de infiltração, quanto maior for a umidade do solo;
- Tipo de solo: o tamanho das partículas do solo (distribuição granulométrica) com a porosidade do solo, influencia diretamente a capacidade de infiltração. Depende ainda também do estado de fissuração das rochas;
- Compactação pela ação de homens e animais: a compactação da superfície do solo reduz os vazios e torna-o mais impermeável, diminuindo a sua capacidade de infiltração;
- Alteração da macroestrutura do terreno: a capacidade de infiltração pode ser aumentada pela alteração da macroestrutura do solo devido a fenômenos naturais, como escavações de animais, decomposição de raízes de plantas e ação do sol, e também devido a ação do homem no cultivo da terra (aração);
- Cobertura Vegetal: a cobertura vegetal tende a aumentar a capacidade de infiltração do solo, pois atenua a ação da chuva e facilita a atividade de insetos e outros animais no processo de escavação possibilitando a capacidade de maiores valores de infiltração;
- Ação da precipitação sobre o solo: a ação de chuvas no solo tende a minimizar a capacidade de infiltração, isso, devido ao efeito da compactação da superfície do terreno, do aumento das partículas coloidais, que diminui os espaços intergranulares. E o transporte de material fino que diminui a porosidade junto à superfície;

- Temperatura do solo: a infiltração é um fenômeno de fluxo de água no solo. Menores temperaturas provocam o aumento da viscosidade, reduzindo a infiltração de água no solo.

Segundo JÚNIOR (S.D.) a capacidade de infiltração de um solo é medida por infiltrômetros. Em geral os infiltrômetros são de dois tipos:

- a) Os simuladores de chuva, que utilizam a aplicação de água por aspersão;
- b) Os infiltrômetros propriamente ditos, de anel metálico, que utilizam a aplicação de água por inundação (mantém sempre um aporte de água à superfície).

3.2.1 Dinâmicas de água no solo

É de suma importância o conhecimento da textura do solo, pois ela influencia diretamente na taxa de infiltração e sua retenção no solo. Essa textura pode ser definida como o percentual de pedregulho, argila, areia e silte dos solos. Segundo Canholi (2005), 'a capacidade de absorção de um solo depende de inúmeros fatores, entre os quais: cobertura vegetal, tipo de solo, condições do nível freático e qualidade das águas de drenagem'.

A curva de retenção da água no solo relaciona o teor de água no solo com a tensão com que ela se encontra retida (LIBARDI, 2005). Essa curva é uma propriedade do solo, estabelecida em laboratório, de preferência com amostras de solo que não foram deformadas, coletada em anéis adequados, submetido a tensões variáveis, com a ajuda de placas porosas, em câmaras de pressão (SILVA *et al.*, 2006).

A retenção de água está relacionada a forças superficiais que determinam o nível de energia da água do solo. Existem dois processos responsáveis pela retenção: um deles ocorre nos microporos por capilaridade e o outro processo ocorre nas superfícies dos grãos do solo como filmes presos à superfície, pela adsorção. O teor de água retido nos microporos é denominado umidade capilar. O teor de água retido nas superfícies dos grãos do solo é denominado umidade higroscópica (LIBARDI, 2005; BOSSARINO, 2012).

3.2.2 Métodos de campo

Os instrumentos mais comuns para a determinação da capacidade de infiltração são os chamados infiltrômetros, constituídos por 2 cilindros (anéis) metálicos, de diâmetro entre 30 e 60 cm com altura próxima a 50cm (ASTM D3385).

A determinação da infiltração pelo método dos anéis concêntricos ou também denominado de duplo anel consiste em utilizar-se de dois anéis concêntricos (metálicos), sendo o maior com diâmetro de 0,50 m e o menor com diâmetro de 0,25 m, ambos com altura variando entre 0,30 a 0,40 m. Estes anéis são cravados (concentricamente) no solo até atingirem ao menos 0,15 m (BERNARDO, 1995; PAZ e OLIVEIRA, 2006).

. O modelo esquemático está representado na Figura 1.

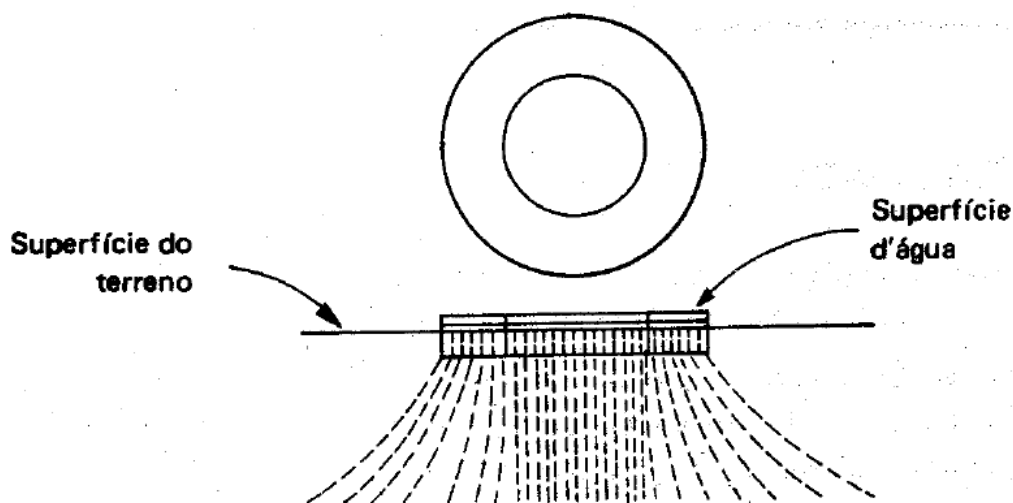


Figura 1 - Anéis concêntricos, capacidade de infiltração

Fonte: UNAMA (2009)

O anel externo tem a função de minimizar o efeito da dispersão lateral da água infiltrada do anel interno. Fazendo então com que a água do anel interno assuma uma direção predominante vertical de infiltração no solo, evitando-se assim a superestimativa da taxa de infiltração (FAGUNDES et al. 2012). Caso contrário, o solo com baixa umidade nas laterais iria absorver parcela da água que infiltrou pelo cilindro interno, e o volume de água infiltrado, portanto, não representaria a capacidade de infiltração daquela área do solo definida pela seção transversal (PAZ, 2004).

Segundo Paz (2004) os anéis devem ser cravados verticalmente no solo, ficando com uma altura livre acima da superfície do solo. Na sequência, é adicionada água constantemente nos dois anéis, buscando sempre manter uma lâmina de água com altura entre 5 e 10 mm que pode ser facilmente observado na régua de apoio. A determinação da capacidade de infiltração é obtida por meio de leituras sucessivas da altura de água infiltrada no menor anel em tempos definidos. A capacidade de infiltração pode então ser determinada pela divisão do volume de água adicionado ao cilindro interior pelo tempo e a área da sua seção transversal.

Otoni (2005) destaca que no momento em que as diferenças entre as taxas de infiltração passam a ser aproximadamente nulas, considera-se atingida a taxa de infiltração constante (TIC). Na qual a TIC pode ser facilmente obtida pela média das três últimas leituras realizadas.

O teste de anéis concêntricos se aplica em solo como foi mostrado anteriormente. Porém não há norma brasileira que rege esse procedimento para pavimentos intertravados de concreto. Por isso, o trabalho desenvolvido baseou-se em alguns artigos como de JABUR (2015) e CIPOLLA, et al. (2016).

3.2.3 Modelos matemáticos de infiltração de água no solo

Por meio de modelos de base física ou modelos empíricos pode ser realizada a modelagem matemática do processo de infiltração da água no solo. Segundo Oliveira (2015), inúmeros modelos já foram propostos, se diferindo basicamente através da facilidade de obtenção das informações requeridas pelo modelo e do detalhamento requerido na simulação da infiltração.

Os modelos de base física são a melhor opção para modelagem do processo de infiltração da água no solo quando não existir dados disponíveis de infiltração e sim dados numéricos como o dos parâmetros do solo ou em casos em que os dados de infiltração precisam ser extrapolados para outras condições de ambiente.

A utilização de modelos empíricos é possível quando há disponibilidade de dados de infiltração medidos e não é necessário serem extrapolados para outras condições distintas daquelas em que foram determinados.

3.2.3.1 Equação de Horton

A equação desenvolvida por Horton está entre umas das equações empíricas de infiltração mais conhecidas, e considerada a princípio mais consistente que a de Kostiakov e também tem sido amplamente utilizada pois proporciona um bom ajuste aos dados (BRANDÃO, 2003; MOURA, 2005; ABDULKADIR et al., 2011).

Oliveira (2015) cita que o pesquisador Horton também chegou à conclusão de que a taxa de infiltração se aproxima de um valor constante com o passar do tempo. E justificou que essa diferença advém da incompleta saturação do solo e da presença de ar aprisionado no solo.

Por meio de uma série de experimentos realizados em campo, Horton constatou que fatores que acontecem na superfície do solo, são diretamente responsáveis pela redução na taxa de infiltração com o tempo. Pode ser citado como exemplo os fenômenos de contração e expansão do solo, bem como encrostamento superficial devido ao impacto das gotas da chuva, dentre outros (OLIVEIRA, 2005).

Como comentado, sabe-se que a taxa de infiltração analisada no decorrer do tempo ao longo de um acontecimento pluvioso, parte de um valor inicial máximo e decai até estabilizar. Caso tenhamos uma precipitação com uma duração suficientemente grande, essa taxa atingirá um valor mínimo, que se aproxima de um valor constante, denominada de taxa de infiltração de equilíbrio (PORTELA, 2005/2006).

Para o caso onde se tem um solo exposto a uma condição de precipitação com intensidade sempre superior à capacidade de infiltração, Horton por meio de experimentos empíricos estabeleceu uma equação capaz de representar o decaimento dessa infiltração em relação ao tempo (PORTELA, 2005/2006). Essa equação pode ser observada a seguir:

Equação 1

$$f_p = f_f + (f_0 - f_f)e^{(-\beta t)}$$

f_p = taxa de infiltração no tempo t (mm/h);

f_f = taxa de infiltração mínima (mm/h);

f_0 = taxa de infiltração inicial (mm/h);

t = tempo médio do intervalo (h);

β = parâmetro do solo que controla a taxa de decaimento da infiltração (1/h).
Sendo que os parâmetros f_f , f_0 e β são determinados experimentalmente.

Por meio dessa equação pode-se ver que Horton constatou que a variação da taxa de infiltração em relação ao tempo d_f/d_t é proporcional à diferença entre a taxa de infiltração considerada e a taxa de infiltração estável. Como temos um valor de f que é sempre decrescente, a derivada da infiltração no tempo fica negativa como observado na fórmula (OLIVEIRA, 2005).

Segundo Tucci (2009) o parâmetro f_f pode ser facilmente constatado por representar a condutividade hidráulica saturada aparente do solo. Já o parâmetro f_0 representa a taxa de infiltração inicial caracterizado como o momento em que o solo é saturado, ou ainda, a intensidade de precipitação que saturou a superfície do solo, sendo obtido experimentalmente. Resta então caracterizar o parâmetro K que é a condutividade hidráulica do solo, este fator que depende da umidade, da compactação e do tipo de cobertura do solo e também da temperatura da água. Tal parâmetro pode ser compreendido pela equação:

Equação 2:

$$K = k \frac{\rho g}{\mu}$$

Onde temos que:

k = permeabilidade intrínseca do solo que depende apenas da geometria, dimensão e disposição dos poros do solo (cm^2);

μ = viscosidade dinâmica da água (N.s/m^2);

ρ = massa específica da água (kg/m^3);

g = aceleração da gravidade (m/s^2).

Observa-se que $\rho g / \mu$ é o grau de fluidez do líquido.

Para classificar o grau de infiltração do solo, pode-se comparar os valores da condutividade hidráulica com os valores da Tabela 2. Como não há valores estabelecidos para infiltração em pavimentos, se utilizará desta tabela também para comparação de resultados.

Tabela 2 – Classificação da condutividade hidráulica em meio saturado

Classificação	Intervalo
Muito rápida	$> 25 \text{ cm h}^{-1}$
Rápida	$12,5 - 25 \text{ cm h}^{-1}$
Moderadamente rápida	$6,25 - 12,5 \text{ cm h}^{-1}$
Moderada	$2 - 6,25 \text{ cm h}^{-1}$
Moderadamente lenta	$0,5 - 2 \text{ cm h}^{-1}$
Lenta	$0,125 - 0,5 \text{ cm h}^{-1}$
Muito lenta	$< 0,125 \text{ cm h}^{-1}$

Fonte: Ferreira (1999) apud Freire et al. (2003)

A equação de Horton pode ser vista na utilização de vários trabalhos por ser um dos modelos empíricos mais antigos e populares para a simulação de infiltração. No trabalho de AJAYI, et al. (2016) foi utilizado o modelo de infiltração de Horton para estimar a constante de decaimento através de três métodos. Verificou-se que o procedimento de regressão simples para estimar os parâmetros do modelo de infiltração de Horton foi o mais satisfatório. WEBER (2014) também utiliza o modelo de Horton para ajustar os parâmetros com dados experimentais empregando um simulador de chuva portátil onde os resultados finais se mostraram aceitáveis.

3.2.4 Potencial mátrico do solo

O potencial mátrico do solo se dá devido à relação entre a matriz do solo e a água nele retida e é resultado da combinação das forças de adsorção e de capilaridade que são também responsáveis pela retenção. Portanto, para eliminar a água retida no solo por estas forças e torna-la ela livre da influência da matriz, é preciso consumir energia e quanto maior for a energia gasta, menor é o conteúdo de água no solo. O potencial matricial de um solo é função do conteúdo de água (U) nele contido e ele será negativo, ou no máximo igual a zero (no caso de solo saturado) visto que a condição de energia da água no solo é menor que a no estado padrão. Quanto mais seco o solo estiver, menor será o potencial mátrico (LIBARDI, 2005).

De acordo com a figura 2, tem-se que U é o conteúdo de água no solo, U_s ponto de saturação e U_0 o conteúdo de água tendendo ao infinito. Pelo gráfico é possível notar que quanto menor for o conteúdo de água (U) no solo, mais negativo é o potencial mátrico (ϕ_m). Em solos úmidos a capilaridade é o fenômeno determinante do potencial mátrico, já em solos secos é a adsorção (LIBARDI, 2005).

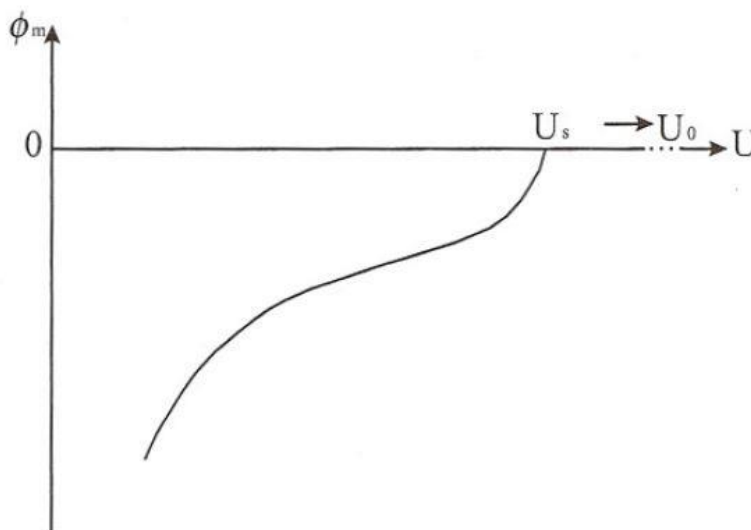


Figura 2 – Curva de retenção da solução no solo.

Fonte: LIBARDI (2005)

Quando o solo está a princípio muito seco, a taxa de infiltração de água no solo é relativamente alta, mas com o tempo ela tende a diminuir aproximando-se de um valor constante. Portanto, um solo inicialmente mais úmido terá uma taxa de infiltração menor porque o potencial mátrico diminui e a força gravitacional aumenta (CARVALHO, et al., 2006).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Ensaios de infiltração em pavimentos tipo blocos intertravados

Os ensaios sobre os pavimentos intertravados de concreto foram realizados em 9 pontos amostrais diferentes, sendo sete na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR, Câmpus Pato Branco), um no Parque Tecnológico e um no Parque Ambiental Vitório Piassa do município de Pato Branco (Figura 3).

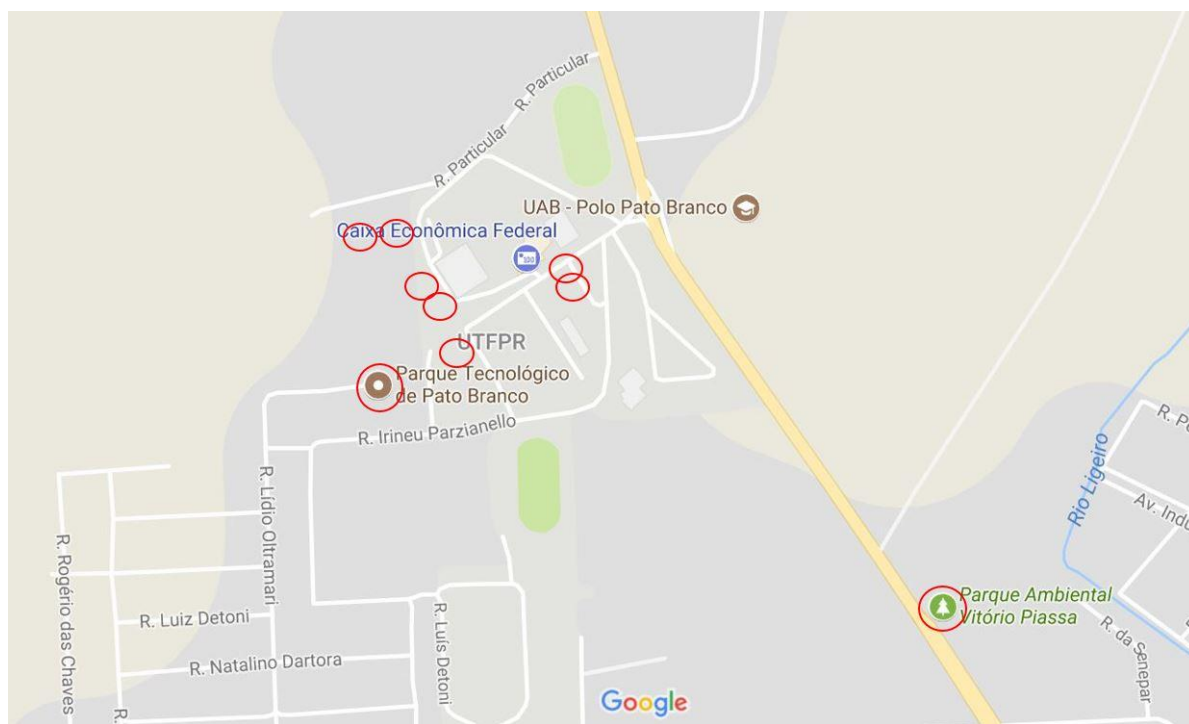


Figura 3 – Localização dos pontos ensaiados

Foram analisados três tipos de arranjos geométricos de pavimentos diferentes como se pode observar na Figura 4: a espinha de peixe, tipo trama e um modelo diferente de geometria quadriculada encontrado no Parque Ambiental.



Figura 4 - a) Espinha-de-peixe; b) Trama; c) Quadriculado

Analisando os dados obtidos no site do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais), observou-se poucas chuvas durante o mês de agosto. Já no mês de setembro houve um grande período de estiagem onde o solo ficou seco e no começo de outubro houve algumas chuvas mais intensas. A realização de ensaios com o uso do cilindro sob os pavimentos requer muito cuidado pois se o vedamento não for feito corretamente, haverá vazamentos como aconteceu em alguns ensaios que precisaram ser descartados pois os resultados foram inconsistentes.

O método do infiltrômetro de anéis concêntricos é realizado para determinar a taxa de infiltração em solos, porém para pavimentos não há nenhum dispositivo específico para a realização deste teste. Para isto, seguiu-se a metodologia conforme encontrado em JABUR et al. (2015) e CIPOLLA (2016) onde utilizaram massa de calafetar para fazer a vedação nos pavimentos. O uso desses anéis em pavimentos com superfícies irregulares gera grandes dificuldades e é preciso fazer um bom vedamento com a massa de calafetar no pavimento para evitar a perda de água durante os testes.

Os testes deste trabalho foram realizados com infiltrômetro de anel único, que foi uma versão adaptada dos anéis concêntricos. Porém, como sugerido por Bean et al. (2004), este método é válido para estimar uma taxa de infiltração superficial rápida e alta. O tempo mínimo exigido, a facilidade e a relação custo-benefício do

procedimento foram algumas vantagens levadas em conta para escolha dessa adaptação.

Este método baseia-se em utilizar um cilindro com diâmetro e altura de 30 cm confeccionado em aço, fixá-lo no pavimento com o auxílio da massa de calafetar (Tytan) onde foi vedado por dentro e por fora para evitar a vazão da água pelas laterais (Figura 5).



Figura 5 - Infiltrômetro de cilindro único usado para o teste de infiltração.

Os materiais utilizados nos testes foram um cilindro com diâmetro de 300mm, massa de calafetar, água, cronômetro, um paquímetro adaptado para leitura da carga hidráulica, galão de 20 litros e um pedaço de lona.

Para uma leitura da carga hidráulica com maior precisão, adaptou-se um suporte para o paquímetro e foi então colocado na parte superior do cilindro conforme mostra a Figura 6. Posicionou-se a lona no interior do cilindro com a finalidade de evitar a infiltração inicial até que o mesmo fosse completado com água. Removeu-se então a lona e foi feita a leitura do paquímetro a partir do tempo 0s do nível de água no cilindro. Era aferida a leitura da altura da lâmina d'água no interior do cilindro primeiramente a cada 1 minuto e depois aumentando-se conforme pode-se observar nas tabelas do apêndice A. Quando o valor da leitura da infiltração repetia-se por pelo menos três vezes era então considerado o momento que o solo atingiu a taxa de

infiltração estável. Sempre que a altura da lâmina d'água se aproximava dos 10 centímetros de altura no cilindro (um terço da altura total), era adicionado água novamente, para que assim evitasse que a carga hidráulica pudesse influenciar no experimento.



Figura 6 - Paquímetro posicionado sobre o cilindro.

Na Tabela 3 pode-se visualizar as particularidades observadas em cada local de ensaio.

Tabela 3 – Dados coletados experimentalmente

Ensaio	Local	Tipo de Pavimento	Colmatação	Temperatura ambiente
1	Ao lado do bloco J1	espinha de peixe	sim	25°C
2	Biblioteca	trama	não	26°C
3	Ao lado do RU	espinha de peixe	não	20°C
4	Frente ao RU	espinha de peixe	sim	22°C
5	Ao lado do bloco J1	espinha de peixe	não	19°C
6	Atrás da biblioteca	trama	sim	25°C
7	Parque tecnológico	espinha de peixe	não	27°C
8	Anfiteatro	espinha de peixe	sim	22°C
9	Parque ambiental	quadriculado	não	21°C

4.2 Método de calibração

Após a coleta dos dados em campo (APÊNDICE A), os resultados obtidos foram analisados e inseridos no software MATLAB para a calibração das curvas de taxa de infiltração pelo modelo matemático de Horton. O processo se deu por meio da criação de um *script* para entrada dos dados de tempo e taxa de infiltração e posterior análise na seção *Curve Fitting Tool*. Nesta ferramenta do software, se tem a possibilidade da escolha de várias equações para modelação dos dados. Escolheu-se a opção de equação customizada, onde o próprio software sugeriu o formato igual a **Equação (1)** de Horton. Porém, optou-se por fixar os valores de f_r e $(f_0 - f_r)$ para que o programa fizesse um melhor ajuste da curva conforme os dados inseridos.

Por meio de métodos computacionais o programa testa várias curvas de ajuste utilizando o critério de minimização dos resíduos cessando quando encontra o valor mínimo. Então o MATLAB fornece os valores para o coeficiente de determinação (R^2) e o Root Mean Squared Errors (RMSE – raiz do erro quadrático médio). O R^2 fornece o valor de porcentagem das variáveis dependentes que consegue ser explicada pelos regressores contidos no modelo. O RMSE fornece a diferença entre os valores ajustados pela curva e os valores medidos em campo.

O RMSE é dado pela equação a seguir:

Equação 3

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}}$$

Onde:

X_{obs} = valores observados;

X_{model} = valores modelados no tempo/lugar i .

n = número total de valores;

4.3 Análise de dados e determinação do escoamento superficial

Os dados coletados em campo foram então analisados e confeccionou-se a curva de infiltração baseado na equação de Horton para a obtenção da taxa de

infiltração no tempo com o auxílio da ferramenta computacional MATLAB. Através dos resultados coletados do programa, pode-se obter os valores de β que representam a taxa de decaimento de infiltração no tempo. Depois foi elaborado um box plot que colabora para a análise dos dados obtidos fornecendo uma dispersão dos pontos, assimetria entre eles e se há a presença de medidas discrepantes (outliers).

No MATLAB também foram determinados os melhores ajustes das curvas para cada taxa de infiltração analisando dois parâmetros gerados pelo programa, que são o R^2 e o RMSE.

A partir dos dados experimentais gerados, foi modelada uma curva de taxa de infiltração com os valores obtidos a partir da média dos experimentos para determinar o escoamento superficial em um certo período de tempo. Para isso, foi feito o teste de normalidade de Shapiro Wilk verificando se o parâmetro β tem distribuição normal. A média se mostrou representativa, e a partir disso confeccionou-se a curva dos dados experimentais.

A partir dos dados disponibilizados no site do CEMADEN, o pluviômetro analisado foi o que se encontra no bairro Fraron da cidade de Pato Branco-PR com latitude -52,692 e longitude -26,198 e código da estação 411850101. Com base na tabela de dados pluviométricos do site, pode-se gerar um hietograma e então juntamente com a curva genérica e comparar os dados de infiltração e escoamento. Também foi utilizada a equação de chuvas intensas do município de Pato Branco (IDF – intensidade-duração-frequência), desenvolvida por Fendrich (1991), para uma simulação de escoamento superficial nessa situação.

Equação 4

$$i = \frac{879,43 \times Tr^{0,152}}{(t + 9)^{0,732}}$$

Onde:

i = intensidade de precipitação, em mm/h;

Tr = período de recorrência, em anos;

t = tempo de duração de chuva, em minutos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultados do ajuste do modelo de infiltração de Horton

A partir dos ensaios de infiltração realizados em campo e estudo prévio dos fatores que podem influenciar a taxa de infiltração e o parâmetro β da equação de Horton, podemos definir alguns pontos importantes. Os resultados foram discutidos com base na investigação sobre o tipo de cada bloco intertravado e a condição de conservação dos blocos intertravados.

Com base nos dados coletados em campo, foi construída a curva de taxa de infiltração, obtendo-se o parâmetro β e os valores de ajuste do coeficiente de determinação (R^2) e da raiz do erro quadrático médio (RMSE), como visto a seguir para cada ensaio (Figura 7 até a Figura 15):

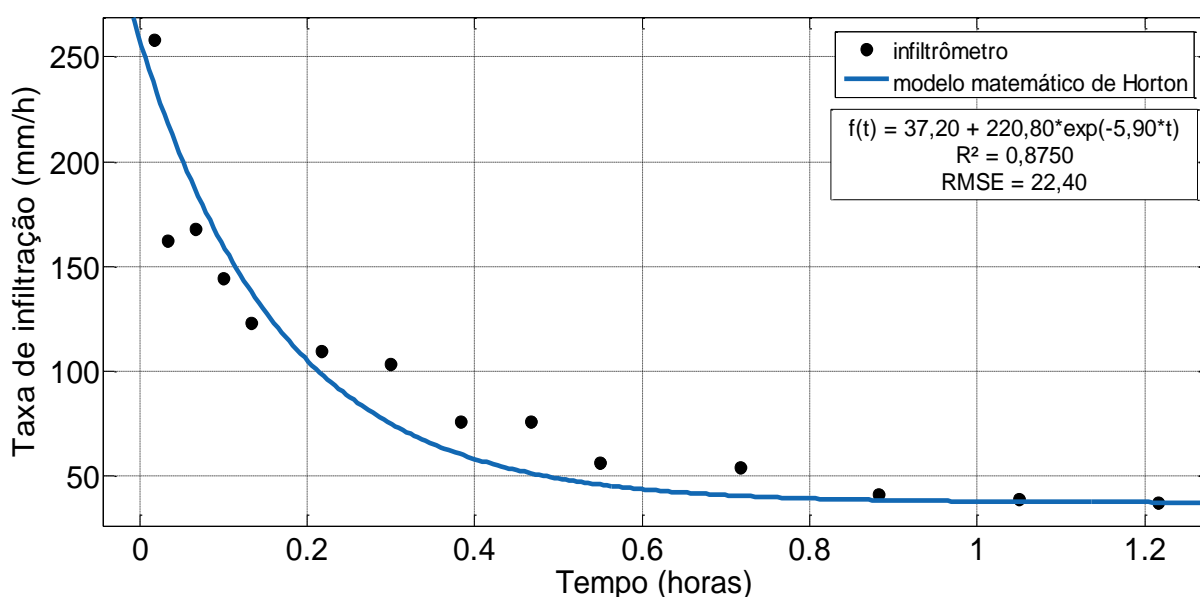


Figura 7 - Curva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 1) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear.

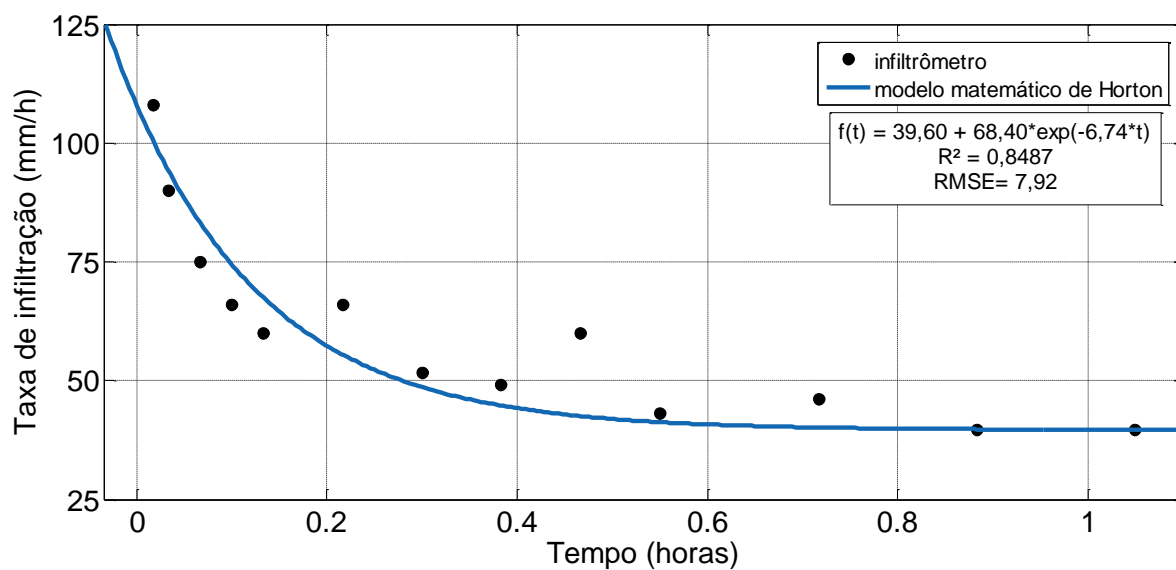


Figura 8 - Curva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 2) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear

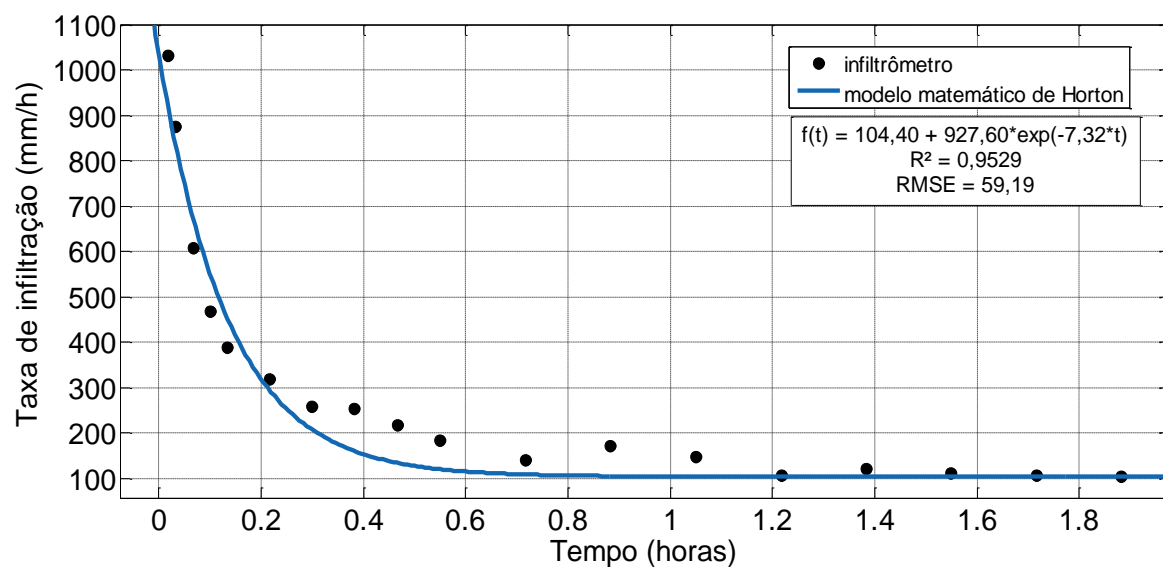


Figura 9 - Curva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 3) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear.

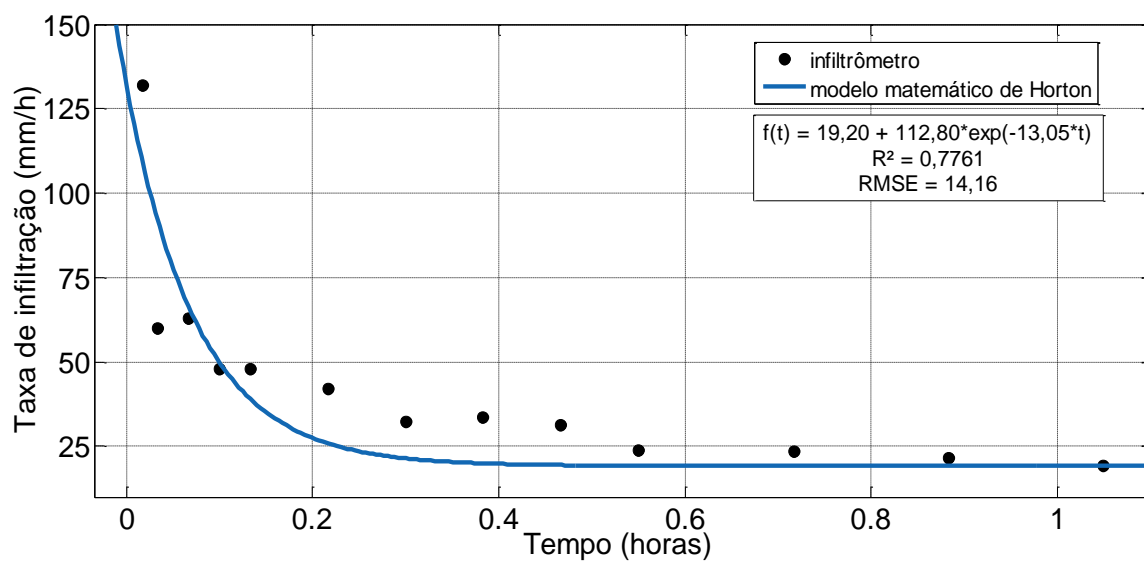


Figura 10 - Curva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 4) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear.

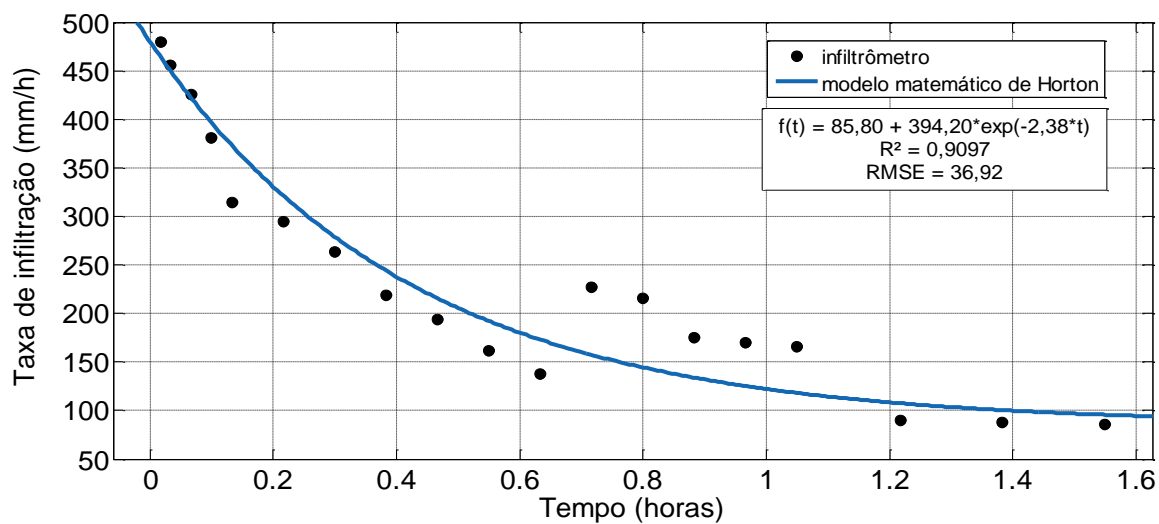


Figura 11 - Curva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 5) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear.

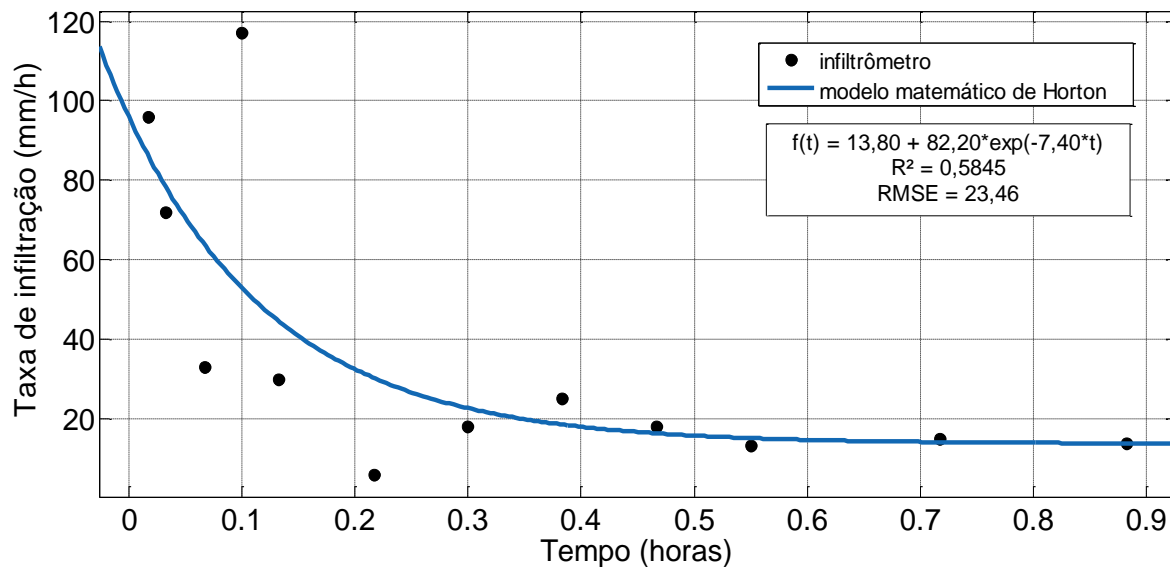


Figura 12 - Curva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 6) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear.

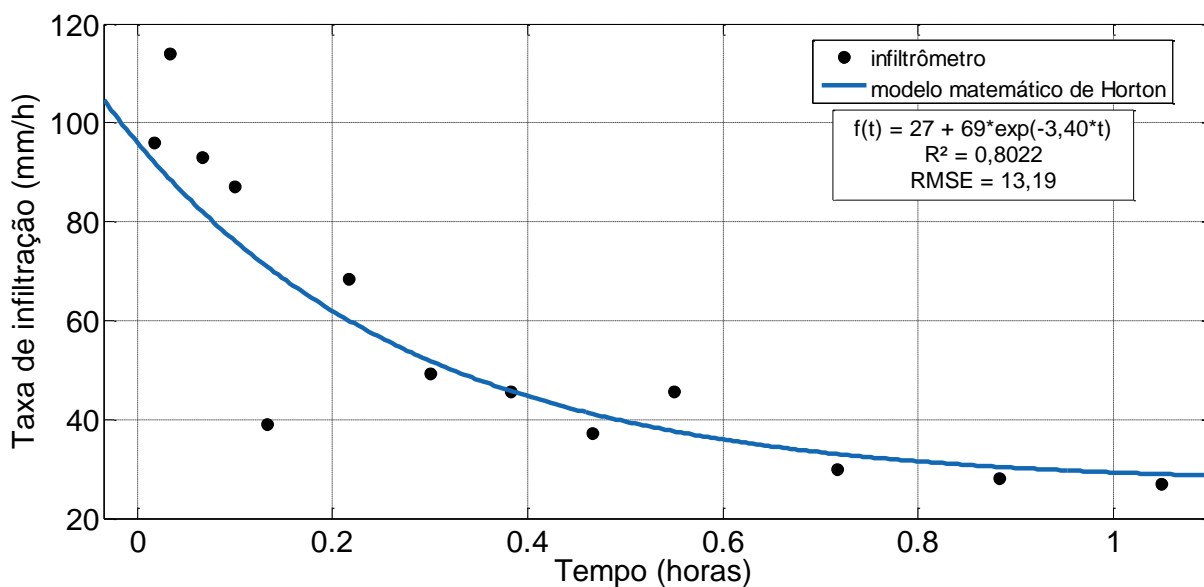


Figura 13 - Curva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 7) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear.

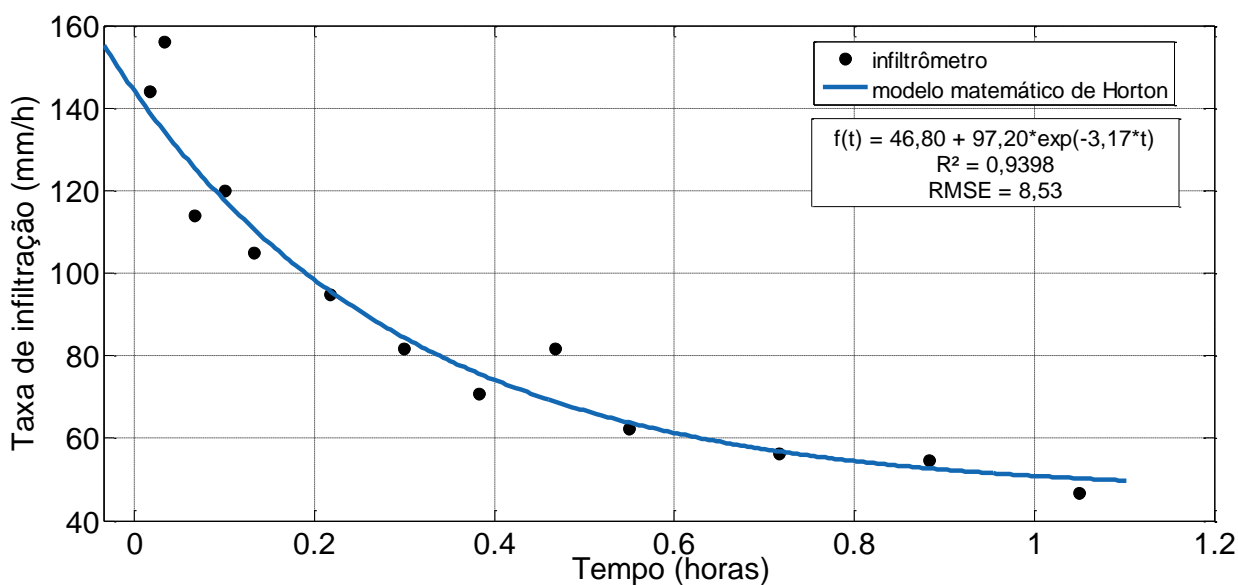


Figura 14 - urva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 8) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear.

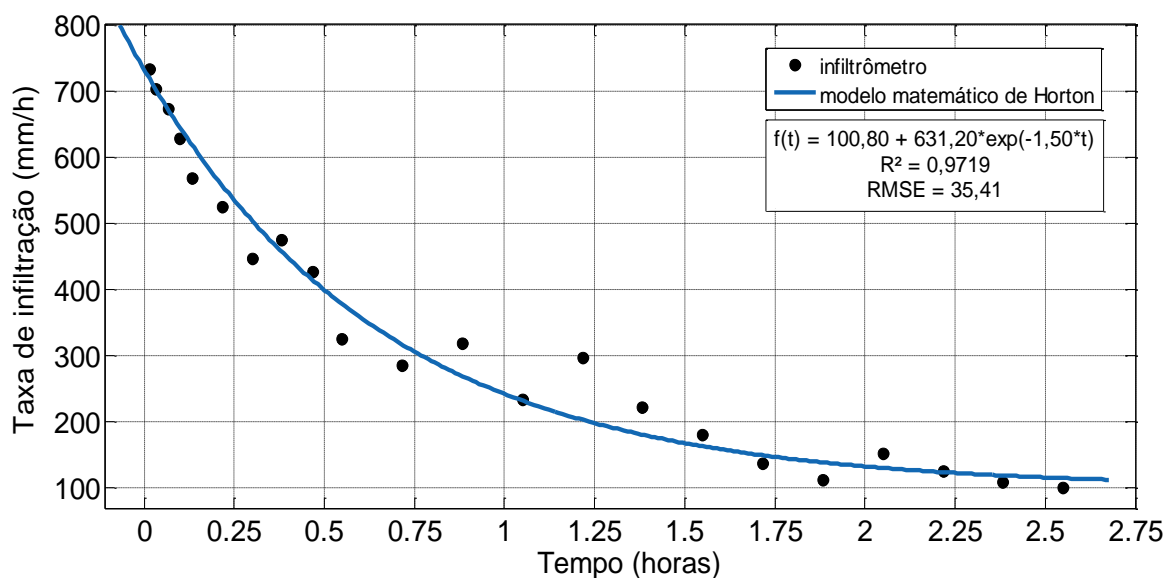


Figura 15 - Curva da taxa de infiltração de água no solo (Ensaio 9) com a constante de decaimento de Horton ajustada pelo método dos mínimos quadrados não-linear.

Embora os ensaios 1 e 5, que foram realizados no bloco J1, terem o mesmo arranjo geométrico, pode-se verificar uma diferença nos resultados. No ensaio 5 a constante hidráulica que é representada pelo valor de infiltração final foi mais alta que

a do ensaio 1. Isso significa que a infiltração foi maior neste experimento, o que pode-se explicar pelo fato deste local estar menos compactado e a abertura das juntas estarem com uma condição mais limpa. O ensaio 1 se situava em uma área de estacionamento de motos e mais passagem de pessoas. Por esse motivo, o solo no local do ensaio 1 deve estar mais compactado e as juntas mais colmatadas com material sólido, diminuindo a infiltração de água.

Outros casos de colmatagem foram observados nos ensaios realizados na biblioteca, onde o ensaio 2 teve a velocidade de infiltração um pouco maior que o ensaio 6 devido a condição mais espaçada das juntas do pavimento e a uma possível menor circulação de pessoas e cargas no local. Martins (2014) mostra experimentalmente em seu trabalho que o tipo trama tem uma menor área de infiltração, dada pela multiplicação do comprimento pela espessura das juntas. Nos ensaios 2 e 6 também são pavimentos do tipo trama (figura 16.b) onde verifica-se menor velocidade de infiltração final (39,60mm/h e 13,80mm/h, respectivamente).



Figura 16 - a) arranjo geométrico tipo espinha de peixe; b) arranjo geométrico tipo trama

Outro lugar em que os valores de taxa de infiltração mudaram significativamente, com um valor de velocidade final 5,44 vezes maior, foi no Restaurante Universitário (RU). O ensaio número 3 foi realizado ao lado do RU onde

a velocidade de infiltração final (104,40mm/h) foi muito maior comparada com a do experimento 4 (19,20mm/h) pelo fato que neste local o solo deve estar menos compactado pois há menos circulação de pessoas. O lugar onde o ensaio 3 foi realizado não é coberto, possibilitando que na ocorrência de precipitações, essa água ajude na limpeza dos pavimentos, removendo as sujeiras acumuladas nas aberturas das juntas. Já o local do ensaio 4 fica em uma área coberta fazendo com que a sujeira fique acumulada, resultando em uma menor taxa de infiltração.

O ensaio de número 9 feito no Parque Ambiental foi um caso especial. O Parque ainda está em construção, sendo nova a condição do pavimento. Por esse motivo, nesse ensaio houve maiores taxas de infiltração (100,80mm/h) e maior tempo de estabilização (mais de 150 minutos) até o valor mínimo de taxa de infiltração. O principal fator que influenciou a alta taxa de infiltração foi a condição de pavimento recém construído, estando sem colmatação e as aberturas das juntas estavam bem conservadas.

A baixa taxa de infiltração (27,00mm/h) no Parque Tecnológico (ensaio 7 – figura 17.a) deve-se ao fato de que este lugar é um estacionamento e as aberturas das juntas já estão bem obstruídas. A passagem das rodas dos carros repetidamente e sua alta carga geram uma maior compactação do solo e conseqüentemente diminui a capacidade de infiltração do pavimento (CIPOLLA, 2016).

O ensaio de número 8 que foi realizado na frente do Anfiteatro também mostrou uma baixa taxa de infiltração. O pavimento também é mais antigo, havendo maior compactação e colmatação entre os blocos intertravados (figura 17.b).



Figura 17 - a) Ensaio 7 realizado no estacionamento do Parque Tecnológico; b) Ensaio 8 no Anfiteatro.

5.2 Ajuste do parâmetro β da Equação de Horton

Como citado anteriormente, β representa um parâmetro que controla a taxa de diminuição da infiltração e a ele estão relacionados fatores como umidade, temperatura, tipo de solo, carga hidráulica, compactação e duração do ensaio. Com base nos valores de ajuste β extraídos do programa computacional MATLAB e de infiltração final (f_f) obtido experimentalmente observa-se a Tabela 4.

Tabela 4 – Valores do parâmetro β em ordem decrescente

Experimento	β	f_r (mm/h)
4	13,05	19,20
6	7,40	13,80
3	7,32	104,40
2	6,74	39,60
1	5,90	37,20
7	3,40	27,00
8	3,17	46,80
5	2,38	85,80
9	1,50	100,80

A partir dos valores de β criou-se um boxplot buscando avaliar a distribuição empírica dos dados. Entre os dados avaliados constatou-se que não houve presença de valores extremos, os chamados outliers (Figura 18). Os valores de β tem grande variabilidade, como era esperado, pois para cada tipo de ensaio observa-se fatores diferentes que podem influenciar a taxa de infiltração.

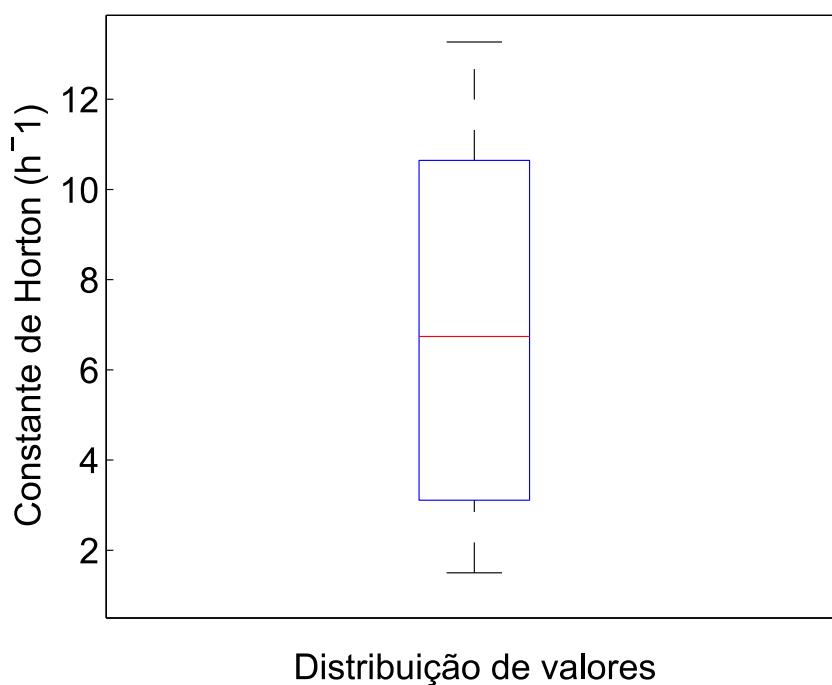


Figura 18 - Boxplot dos valores da constante de decaimento de Horton obtidos por meio do ajuste do modelo de infiltração de Horton aos dados de campo

Conforme analisou-se os dados de altura de precipitação do CEMADEN, os ensaios foram realizados em até dois dias após a ocorrência de alguma chuva significativa. Portanto considerou-se que o solo durante todos os experimentos estava com o teor de umidade sempre com valores parecidos a um solo seco. Houve uma variabilidade grande dos dados de β se analisarmos a caixa do boxplot gerado, e isto se deve a vários fatores explicados a seguir.

Primeiramente analisando a Tabela 4 verifica-se um comportamento parecido ocorrido no estudo de TURNER (2006) onde a velocidade de infiltração final diminui à medida que o parâmetro β aumenta. Nos ensaios não ocorreu exatamente essa relação inversa mas pode-se ver que quase fica neste parâmetro. O valor de discrepância do experimento 3 com a maior taxa mínima de infiltração é um caso onde acredita-se que a carga hidráulica (onde foi repostado de água várias vezes) pode ter afetado esse resultado.

Observa-se que em dois dos maiores valores desse parâmetro (ensaio 3 e 4) a curva de infiltração comporta-se com um decaimento muito mais acentuado que os outros. Nos ensaios 4 e 8 nota-se que a infiltração final se fixou com o período de tempo bem próximos a uma hora, classificando-se como moderadamente lenta (Tabela 2). Para valores maiores de β constata-se que a capacidade de infiltração do solo reduz-se mais rapidamente em comparação a valores reduzidos (PINHEIRO et. al., 2009). O comportamento dos gráficos 4 e 8 comparam-se como o de um solo úmido, onde precisa-se de menos leituras da carga hidráulica para estabilizar o valor de infiltração.

Já para os menores valores de β (ensaios 5 e 9) observou-se uma necessidade de um maior tempo para estabilizar a velocidade de infiltração tendendo a curva a ter uma decaída muito mais lenta. O potencial mátrico, que é a capacidade de reter água que o solo tem, é o que controla a maior parte da curva, devido ao fato de ela demorar mais tempo para estabilizar. Esses dois ensaios classificaram-se como moderadamente rápido conforme a Tabela 2, confirmando a ideia que quanto menor é o valor de β , maior a velocidade de infiltração final. Notou-se também que nestes ensaios foi preciso repor água no mínimo uma vez, fazendo com que a carga hidráulica tenha alguma influência nesses resultados. Outros fatores que podem ser levados em consideração por ter uma maior taxa de infiltração nesses locais são as condições dos pavimentos, como maior espaçamento entre as juntas, pavimento novo, subcamadas menos compactadas.

Os valores dos ensaios (1, 2, 7 e 8) contidos entre os quartis 1 e 3 que representam 50% dos dados observados demoraram aproximadamente o mesmo tempo para estabilizar a curva, ficando todos próximos a uma hora e classificados como moderado conforme a Tabela 2. Os ensaios 1 e 2 com valores de β 5,90 e 6,74, respectivamente, apresentaram a curva com comportamento parecido sendo mais acentuados. Já os ensaios 7 e 8 com valores próximos, 3,40 e 3,17, mostraram curvas mais abertas, onde mostra um comportamento mais moderado da velocidade de infiltração no tempo.

Pode-se verificar que quanto à geometria dos pavimentos do tipo trama, a curva de infiltração se comportaram de formas semelhantes no que se refere ao seu decaimento e valores de taxa infiltração baixas. Os dois ensaios realizados em pavimento do tipo trama (ensaio 2 e 6) ficaram com valores do parâmetro β próximos, sendo eles 6,74 e 7,40. O potencial mátrico é considerado baixo devido a condição de solo seco (sem chuvas anteriores significativas) nesses ensaios, sendo assim ele controla as curvas até aproximadamente 18 minutos onde ela começa estabilizar. A partir daí, a curva é orientada pela condutividade de hidráulica.

Uma comparação da velocidade final de infiltração dos blocos de concreto intertravados é mostrada na figura 19 para relacionar com o desempenho de pavimentos permeáveis encontrado na literatura. Os pavimentos com assentamento do tipo trama que são os dos ensaios 2 e 6, comportaram-se com taxas de infiltração final bem próximas ao encontrado por Martins (2014). Os resultados encontrados por JABUR et al. (2015) e ALESSI et al. (2006) são de pavimentos permeáveis, isto explica as altas taxas mínimas de infiltração, com média de 115,30 mm/h. Os ensaios 3, 5 e 9 foram os que apresentaram valores mais próximos aos dos pavimentos permeáveis.

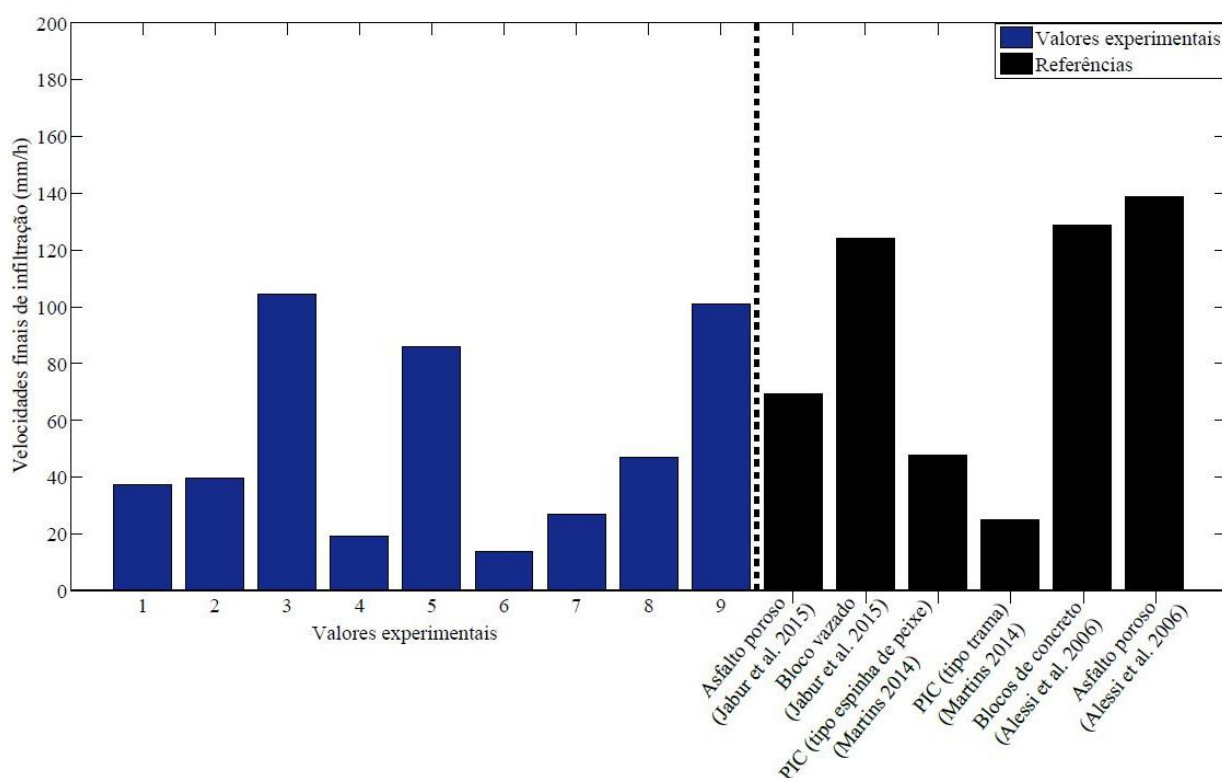


Figura 19 - Comparação da taxa de infiltração nos pavimentos tipo bloco intertravados de concreto com outros tipos de pavimentos. Esquerda da linha pontilhada: resultados deste estudo. Direita da linha pontilhada: resultados de literaturas.

A maioria dos ensaios obtidos neste estudo comportou-se de forma esperada, não apresentando grandes taxas mínimas de infiltração inicial pois são pavimentos que não foram projetados para infiltrar grandes quantidades de precipitações. Os ensaios que ficaram com valores mais altos, devem-se ao fato de ser pavimento recém construído com melhor estado de conservação e ao possível processo de construção (ex. espessuras dos materiais da base).

Os diferentes resultados para os ensaios apresentados se dão por vários motivos como revestimento e colmatação entre as juntas dos pavimentos, as camadas de base, nível de compactação e tipo de solo, e o mais importante que é a técnica utilizada para cada teste de infiltração. O teste com utilização de um único anel não evita a percolação de água horizontal no solo, fazendo assim com que gere possíveis erros nos ensaios.

5.3 Precisão dos resultados pelos fatores R^2 e RMSE

Os valores ajustados de R^2 , que é o grau de ajuste a um conjunto de dados, e do RMSE, raiz quadrada do erro médio, são apresentados na Tabela 5 onde foram extraídos do software MATLAB a partir dos resultados de calibração das variáveis avaliadas.

Tabela 5 – Valores ajustados de R^2 e RMSE extraídos do MATLAB

Experimento	R^2	RMSE
1	0,8750	22,40
2	0,8487	7,92
3	0,9529	59,19
4	0,7761	14,16
5	0,9097	36,92
6	0,5845	23,46
7	0,8022	13,19
8	0,9398	8,53
9	0,9719	35,41

A forma que o software MATLAB utiliza para fazer a análise dos dados é o ajuste não linear para a curva de Horton por meio dos mínimos quadrados. O ajuste para modelos não lineares não possibilita que as expressões que buscam os estimadores dos parâmetros desconhecidos para o modelo pretendido, sejam encontradas de forma analítica, sendo necessário fazer o uso de métodos numéricos. O método numérico empregado pelo programa MATLAB é o de Gauss-Newton que é capaz de resolver problemas de mínimos quadrados não lineares, por meio da soma dos mínimos quadrados da função. O programa basicamente gera várias curvas que se ajustam aos pontos e faz o somatório dos resíduos delas. Quando o somatório alcançar o menor valor possível o programa cessa e fornece os valores para o R^2 e o RMSE. Isso com uma precisão de 0.000001 que consiste em dizer que é aproximadamente zero.

Segundo KRAUSE et al., (2005) um valor de R^2 descreve o quanto da dispersão medida é explicada pela dispersão dos valores ajustados (simulados). Um valor igual a 1 indica que todas essas dispersões são iguais. SAEYS et al. (2005) estabelece que valores de R^2 acima de 0,91 indicam excelentes modelos quantitativos de predição, observando-se assim na Tabela 5, que somente 33% dos ensaios

obtiveram esse bom ajuste da curva e que o ensaio número 6 com valor R^2 de 0,5845 representa possibilidade de discriminação de altas e baixas concentrações no modelo.

Segundo SIHAG (2017) o RMSE é a medida mais comum de sucesso de estimativa numérica. É a expressão do desvio padrão das diferenças entre valores medidos e simulados. Os valores de RMSE de 0 indicam um ajuste perfeito, variando de zero a mais infinito. (MORIASI et al., 2007; LEGATES e MCCABE 1999).

Alguns dos dados obtidos apresentaram uma dada discrepância para os valores de R^2 e RMSE. Há alguns em que o R^2 obteve um valor muito bom, como nos ensaios 3 e 9, porém o RMSE foi um valor relativamente alto comparado aos outros. Isso se deve ao fato de ter se feito necessário acrescentar água para manter a altura da lamina d'água até cerca de um terço da altura do cilindro. Com o acréscimo de água, teve uma mudança na carga hidráulica o que influenciou diretamente os pontos, afetando o valor do RMSE que ficou mais alto se comparado a outros experimentos.

No ensaio 6 onde foi o menor valor de R^2 observa-se que os pontos do gráfico estão bem dispersos, se diferindo de um comportamento ideal de infiltração no solo que seria uma diminuição constante com o tempo. Pode-se notar que em alguns determinados tempos a infiltração aumenta ao invés diminuir e isso pode ser devido à percolação de água lateral no solo, ocasionando maiores erros. Nos ensaios com maiores valores de RMSE são os gráficos onde se observa que os pontos estão mais distantes da curva, se explicando pelos mesmos motivos.

5.4 Determinação do escoamento superficial

Para calcular a quantidade de precipitação efetiva que se transforma em escoamento direto, as perdas de infiltração devem ser determinadas. Utilizou-se então a equação empírica para simulação de infiltração de Horton com os valores médios dos experimentos. Foi verificado se β tem distribuição normal sendo, portanto, realizado o teste de Shapiro-Wilk com nível de significância de 5%. O *p-value* deu um valor igual 0,2909 onde é maior do que o nível de significância adotado, logo não se pode rejeitar a hipótese nula tornando a média representativa para os dados. Portanto, utilizou-se a média dos valores de f_f , β e f_0 como visto na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores experimentais de f_0 , β e f_f

Experimento	f_0 (mm/h)	B	f_f (mm/h)
1	220,80	5,90	37,20
2	68,40	6,74	39,60
3	927,60	7,32	104,40
4	112,80	13,05	19,20
5	394,20	2,38	85,80
6	82,20	7,40	13,80
7	69,00	3,40	27,00
8	97,20	3,17	46,80
9	631,20	1,50	100,80
Média	289,27	5,65	52,73

Através da análise dos dados observados no site do CEMADEN, o mês de Janeiro de 2017 foi examinado, com os dados do bairro Fraron de Pato Branco-PR, onde foi um mês chuvoso comparados aos outros. A Tabela 7 apresenta os dados de chuva extraídos do site (terceira coluna) e a Equação de Horton com os valores médios (quarta coluna).

Tabela 7 – Dados extraídos do CEMADEN e adaptado com a Equação de Horton

Tempo (min)	Tempo (horas)	Precipitação (mm) 07/01/2017	Equação de Horton	Intensidade de chuva (mm/h)
10	0,17	0	165,54	0
20	0,33	0	96,72	0
30	0,50	0	69,89	0
40	0,67	0,98	59,42	5,88
50	0,83	2,76	55,34	16,56
60	1,00	10,17	53,75	61,02
70	1,17	13,63	53,13	81,78
80	1,33	2,95	52,88	17,7
90	1,50	2,36	52,79	14,16
100	1,67	1,37	52,75	8,22
110	1,83	4,33	52,74	25,98
120	2,00	3,35	52,73	20,1
130	2,17	0	52,73	0

Na figura 20, a taxa de infiltração calculada a partir da Equação de Horton é plotada paralelamente à intensidade de chuva. Os valores de escoamento superficial são os valores das barras que interceptam a curva na parte superior. Observa-se que

a maior parcela dessa precipitação infiltra no solo, sendo 36,69mm de altura d'água, representando 85,44% da chuva total. Portanto, o valor de escoamento superficial é de somente 6,25mm de altura d'água, representando 14,56% desta precipitação.

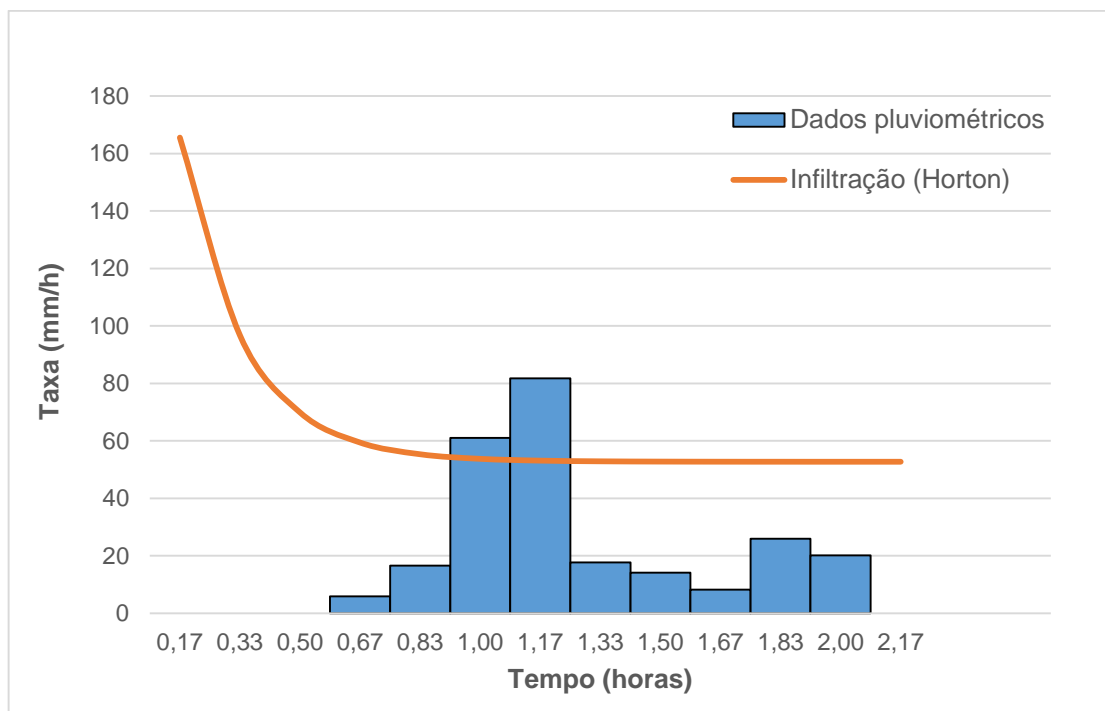


Figura 20 - Hietograma com dados de chuva de Janeiro/2017 contra a curva da taxa infiltração.

Em Pato Branco-PR, vem ocorrendo chuvas muito intensas em curtos períodos de tempo, causando muitos alagamentos em alguns pontos da cidade (Diário do Sudoeste - 2017). As chuvas intensas são as causas das cheias, que geram grandes prejuízos como inundações de casas, ruas, destroem plantações, pontes e rodovias. A ocorrência de uma chuva intensa ocasiona uma lâmina precipitada cujo valor é consideravelmente superior ao normal. Esta lâmina pode promover escoamento superficial direto de grande magnitude, além de erosão e transporte de sedimentos (CANHOLI, 2005).

Para avaliar o comportamento dos pavimentos com esse fenômeno, utilizou-se a equação 4, de simulação IDF (intensidade-duração-frequência) de chuvas intensas, desenvolvida por Fendrich (1991).

Quanto maior o período de retorno, maiores serão as vazões de pico, mais seguras e mais caras serão as obras. Segundo TUCCI (2005) para obras em geral em pequenas bacias urbanas o tempo recomendado é de 5 a 50 anos e em nosso estudo verificou-se para o tempo de retorno mínimo de 5 anos.

Para essa análise, estipulou-se o tempo de 10 em 10 minutos com um tempo de retorno de 5 anos sendo apresentados os resultados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores gerados através da equação IDF

Tempo (h)	I (mm/h)
0,17	130,14
0,33	95,49
0,50	76,88
0,67	65,05
0,83	56,78
1,00	50,63
1,17	45,85
1,33	42,02
1,50	38,87
1,67	36,23
1,83	33,97

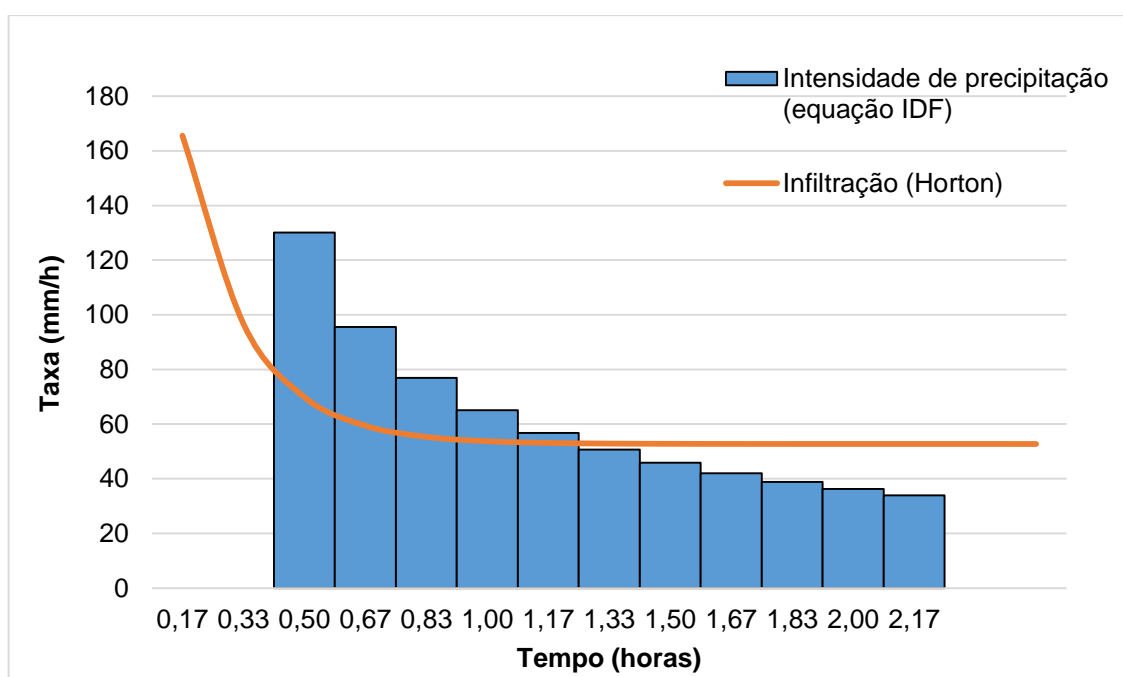


Figura 21 - Hietograma simulado a partir da IDF de Pato Branco contra a curva da taxa de infiltração de Horton

Verifica-se que aproximadamente 27,30mm é o valor de escoamento nessa simulação de chuva intensa, representando um valor 4,3 vezes maior que o caso anterior onde foi pego uma situação real de chuva com pouca intensidade. O valor que escoar no caso de simulação para chuvas intensas ainda é considerado pouco (aproximadamente 3 centímetros de lâmina d'água) o que representaria que os pavimentos analisados se comportam bem ao processo de infiltração de água. No entanto, como discutido anteriormente, sabe-se que a utilização de um infiltrômetro de anel único pode ocorrer a percolação de água lateral ocasionando medidas imprecisas. Outra hipótese para essa grande infiltração, suporta-se na ideia de que as bases dos pavimentos estão com espessura e granulometrias suficientes para que eles aguentem as altas taxas de infiltração.

Os pavimentos de forma geral comportaram-se de forma classificada como moderada conforme a Tabela 2 de classificação da condutividade hidráulica em meio saturado onde se mostra no intervalo de 2 a 6,25 cm.h^{-1} . Este é um resultado bom para pavimentos de blocos intertravados que não são considerados permeáveis, mas mesmo assim contribuem de forma moderada com o escoamento superficial.

6 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi calibrar o modelo matemático de infiltração de Horton em pavimentos de concreto tipo blocos intertravados. A taxa de infiltração foi medida em campo usando o infiltrômetro de anel singular. A constante calibrada do modelo matemático de Horton foi a de decaimento da taxa de infiltração. O valor mínimo de taxa de infiltração obtidos pelos ensaios foi de aproximadamente 50mm/h. Para o dimensionamento e estimativa do escoamento superficial de pavimentos de blocos intertravados de concreto assentados nos solos da região de Pato Branco-PR pode-se utilizar como base este valor mínimo de taxa de infiltração.

Esse valor de taxa mínima de infiltração é menor em relação aos apresentados na literatura científica para pavimentos permeáveis como o de JABUR (2015) onde a taxa mínima em blocos vazados foi de 124,20mm/h e ALESSI (2006) que aferiu um valor de 128,86mm/h em blocos de concreto. Deve ser observado que os valores de taxa de infiltração obtidos nos ensaios de campo podem estar superestimados, por causa da utilização de um anel de infiltração. Isto é, provavelmente pode ter ocorrido a percolação lateral de água no solo durante os ensaios de infiltração.

O modelo matemático de Horton mostrou-se adequado para representar o formato característico da taxa de infiltração ao longo do tempo nos blocos intertravados (RMSE máximo = 59,19 mm h⁻¹ e RMSE mínimo = 7,92 mm h⁻¹). Apesar do elevado valor de RMSE máximo (59,19 mm h⁻¹) em um dos tratamentos, as taxas de infiltração máxima e mínima foram (especificamente nesse tratamento), respectivamente iguais a 927,60 mm h⁻¹ e 104,40 mm h⁻¹.

Os valores de escoamento superficial encontrados pela simulação de chuvas intensas e pelos dados coletados do CEMADEN que foi, respectivamente, 27,30mm e 6,25mm, mostraram-se baixos. Isso representa que estes pavimentos são eficientes do ponto de vista hidráulica-hidrológico, colaborando com a drenagem de águas superficiais e ajudando no controle de inundações. Os pavimentos estudados apesar de não serem permeáveis apresentaram um bom valor de taxa mínima de infiltração, mostrando que também contribuem com a drenagem urbana.

Em futuros trabalhos sugere-se o uso de um simulador de chuvas. Além disso, para diminuir possíveis superestimativas da taxa de infiltração recomenda-se o uso do infiltrômetro de anéis concêntricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULKADIR, A., Wuddivira, M., Abdu, N., & Mudiare, J., (2011). **Use of Horton infiltration model in estimating infiltration characteristics of an alfisol in the Northern Guinea Savanna of Nigeria.** Journal of Agricultural Science and Technology A, 1, 925–931.

AJAYI, A. S., BRAI, M. A., ERIAKHA, E. C., EHIOMOGUE, P. **Evaluation of Methods for Estimating the Decay Constant (K) of Horton's Infiltration Model.** International Journal of Interdisciplinary Research and Innovations. Vol. 4, Issue 2, página 13-18. Abril - Junho 2016. Disponível em <www.researchpublish.com>

ALESSI, Fernando; GOMES, Júlio; KOKOT, Pedro J. **Comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso.** Curitiba, 2006.

ALMEIDA, Dione S.; COSTA, Isaias T. **A drenagem urbana das águas pluviais e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública no município de Santana.** Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Amapá, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3385:** Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer. Pensilvânia, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781– Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BEAN, E. Z.; HUNT, W. F.; BIDELESPACH, D. A.; SMITH, J. T. **Study on the surface infiltration rate of permeable pavements.** Washington, DC: Interlocking Concrete Pavement Institute, 2004.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6ª ed. Viçosa, MG: Imprensa da Universidade - UFV, 1995. 657 p.

BOSSARINO, Danilo. **Calibração de modelos matemáticos de curvas de retenção de água no solo**. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258608/1/Bossarino_Danilo_M.pdf>. Acessado em 15 maio 2017

BRANDÃO, V.S.; PRUSKI, F.P.; SILVA, D.D. **Infiltração da água no solo**. Viçosa:, 2 ed. UFV, 2004. 98p.

CADORIN, Danielle A.; MELLO, Nilvania A. **Efeitos da impermeabilização dos solos sobre a arborização no município de Pato Branco-PR**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2011. Disponível em: <revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/download/1238/840>. Acessado em 15 maio 2017.

CANHOLI, Aluísio Pardo. Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo-SP, 2005 p.21,22.

CARVALHO, Daniel F.; SILVA, Leonardo D. Apostila de Hidrologia. Capítulo 5: Infiltração. Agosto 2006.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Disponível em: <www.cemaden.gov.br/mapainterativo>. Acesso em: 12 out. 2017.

CIPOLLA, S. S.; MAGLIONICO, M.; STOJKOV, I. Research article. **Experimental Infiltration Tests on Existing Permeable Pavement Surfaces**. 2016.

COLLINS, Kelly A.; HUNT, William F.; HATHAWAY, Jon M. **Hydrologic Comparison of four types of permeable pavement and standard asphalt in Eastern North Carolina**. 2008.

Diário do Sudoeste. **CHUVA FORTE COM VENTO PROVOCA ESTRAGOS EM PATO BRANCO E REGIÃO.** Disponível em: www.diariodosudoeste.com.br/noticia/chuva-forte-com-vento-provo-ca-estragos-em-pato-branco-e-regiao. Acesso em: 03 nov. 2017.

FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, Marcio, RUDEL, Norman; SANTOS, T. S.; PORTO, Rebeca. **Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de rondonópolis-mt.** 2012. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2012a/agrarias/determinacao.pdf>. Acesso em: 15 maio 2017.

FERREIRA, P.A. Curso de engenharia de irrigação, módulo II: drenagem. ABEAS: Brasília, 1987. 86p. (módulo, 2).

FREIRE, Maria B. G. dos S. et al. **Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação.** Revista brasileira engenharia agrícola ambiental [online]. 2003, vol.7, n.1, pp. 45-52.

FONSECA, Paulo L.; NASCIMENTO, Elson A.; LONGO, Orlando C. **Gestão ambiental de bacias hidrográficas: medidas não convencionais no controle de cheias urbanas – principais aspectos, considerações e ações integradas.** XIII Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru, São Paulo, 6 a 8 de Novembro de 2006.

GONÇALVES, André B.; OLIVEIRA, Rafael, H. **Pavimentos permeáveis e sua influência sobre a drenagem.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2014.

IBGE. **População nos Censos Demográficos, segundo as Grandes Regiões, as Unidades da Federação e a situação do domicílio - 1960/2010.** <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>. Acessado em 08 Novembro 2017.

JABUR, Andrea S. **Alterações hidrológicas decorrentes de mudança do uso e ocupação do solo a bacia hidrográfica do alto rio ligeiro, Pato Branco - PR.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 2010.

JÚNIOR, A. R. B.; **Elementos de Hidrologia Aplicada**. Disponível em: <http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodrigues/4_Infiltracao.pdf>. Acessado em 15 maio 2017.

JÚNIOR, Ivan J. A. **Pavimento intertravado como ferramenta de moderação do tráfego nos centros comerciais de travessias urbanas – estudo de caso Guaiúba, CE**. Fortaleza, 2007.

KRAUSE, P.; BOYLE, D.P.; BASE, F. **Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment**. Adv. Geosci., 5 (2005), pag. 89–97

KUNZE, R.J. & KAR-KURI, H.M., 1983. **Gravitational Flow in Infiltration**. In: **National Conference on Advances in Infiltration, Chicago. Proceedings. St Joseph: American Society of Agricultural Engineers**, p. 14-23. (ASAE Publication, 11-83. Advances in Infiltration).

KOBAYASHI, Fabiana Y.; FAGGION, Flávio H. M.; BOSCO, Lara M.; CHIRINÉA, Maria L. B. **Drenagem Urbana Sustentável**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2008.

LIBARDI, Paulo Leonel. **Dinâmica de água no solo**. Editora USP, São Paulo, 2005.

LEGATES, D.R.; MCCABE, G.J. **Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation**. Water Resour. Res., 35 (1999), pp. 233–241

Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público. Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, São Paulo, 2010. 36p.

MARCHIONI, Mariana; SILVA, C.O. **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2010.

MARTINS, Ronaldo M. Análise de capacidade de infiltração do pavimento intertravado de concreto. 2014.

MORIASI, D.N.; ARNOLD, J.G.; VAN LIEW, M.W.; BINGNER R.L.; HARMEL R.D.; VEITH T.L. **Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations** Trans. ASABE, 50 (2007), pp. 885-900

MOURA, T. **Estudo experimental de superfícies permeáveis para o controle do escoamento superficial em ambientes urbanos** (MSc Thesis). Universidade de Brasília. 2005.

New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual. Chapter 2: Low Impact Development Techniques. Fevereiro 2004, páginas 2-21.

OLIVEIRA, Alan É. **modelagem da infiltração de água no solo com o modelo green-ampt**. 2015. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgcs/images/Dissertacoes/ALAN_EBANO_DE_OLIVEIRA.pdf>. Acessado em 15 maio 2017.

OLIVEIRA, Muriel B. **Análise do desempenho de equações de infiltração e de métodos de determinação da capacidade de campo para solos em uma bacia hidrográfica de São José de Ubá-RJ**. 2005 Disponível em: http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/rh/2005/Teses/OLIVEIRA_MB_05_t_M_rhs.pdf>. Acessado em 15 maio 2017.

OTTONI, M. V. **Classificação Físico-Hídrica de Solos e Determinação da Capacidade de Campo in situ a partir de Testes de Infiltração**. Rio de Janeiro, 2005. Dissertação (Mestrado), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PAZ, V. P.; OLIVEIRA, A. S. **Infiltração de água no solo**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA / NEAS – Núcleo de Engenharia de Água e Solo. 2006. Disponível em: <<http://www.neas.ufba.br/downloads.html>>. Acessado em 15 maio 2017.

PAZ, A. R.: **Hidrologia Aplicada**. Disponível em: < http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/apostila_HIDROLOGIA_APLICADA_UERGS.pdf>. Acessado em 15 maio 2017.

PINHEIRO, A., TEIXEIRA, L. P., KAUFMANN, V. **Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola**. Revista Ambiente e Água, v. 4, n. 2, 2009.

PINHEIRO, Lígia. **Projeto técnico: pavimento permeável**. Disponível em: < http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf >. Acessado em 15 maio 2017.

PINTO, L. L. C. A. **O desempenho dos pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. 2011. 255 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PINTO, N. de S.; HOLTZ, A. C. T.: et al. **Hidrologia básica**. Sao Paulo: E. Blucher, 1976. pag. 45.

PORTELA, Maria Manuela: **Modelação Hidrológica: 2005/2006**. Disponível em: < http://www.civil.ist.utl.pt/~mps/Mod_hid/Teoria/teoria%202007%20para%20jpg.pdf>. Acessado em 15 maio 2017.

PHILIP, J.R., 1957. **The Theory of Infiltration: 1. The Infiltration Equation and Its Solution**. Soil Science, Baltimore, v. 83, p. 345-357.

REICHARDT, K., 1990. **A água em Sistemas Agrícolas**. 1º Ed., Manole, São Paulo, 188 pp.

RAWLS, W. J.; L. R.; AHUJA, D. L. BRAKENSIEK, A. 1993. **Infiltration and soil water movement**. Em *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, Inc.

SAYES, W.; MOUAZEN, A.M.; RAMON, H. **Potential for onsite and online analysis of pig manure using visible and near infrared reflectance spectroscopy.** Biosystems Engineering. v.91, p.393-402, 2005.

SCHOLZ, Miklas; GRABOWIECKI, Piort. **Review of permeable pavement systems.** Novembro, 2006.

SIHAG, Parveen; TIWARI N.K.; RANJAN, Subodh. **Estimation and inter-comparison of infiltration models.** 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1110492916300728>> Acessado em 30 de Outubro 2017.

SILVA, E. M. da; LIMA, J. E. F. W.; AZEVEDO, J. A. de; RODRIGUES, L. N. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n.2, pp.323-330, fev. 2006.

SKAGGS, R. W.; e KHALEEL, R. 1982. Capítulo 4: Infiltration. Em Hydrology of Small Watersheds. St Joseph, Mich.: ASAE.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia aplicada.** 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH GWP, 2005. v. 1.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia aplicada.** 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2009. v. 4.

TURNER, Ellen R. **Comparison of infiltration equations and their field validation with rainfall simulation.** 2006.

UNAMA – Universidade da Amazônia. **Apostila de Hidrologia aplicada.** Belém, 2009.

WARDYNSKI, Brad J.; WINSTON, Ryan J.; HUNT, William F. **Internal water storage enhances exfiltration and thermal load reduction from permeable pavement in the North Caroline mountains.** Fevereiro 2013.

WEBER, Juan F. **Parámetros del modelo de infiltración de Horton obtenidos mediante el uso de un simulador de lluvia, Córdoba, Argentina.** Ambiente & Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. Março 2014.

APÊNDICE A – TABELAS COM DADOS COLETADOS EM CAMPO

Experimento 1

Dia: 11/08/2017		Local: Bloco J1		Início: 13:30 Término: 15:00 Temperatura: 25°C			
Tempo (min)	Tempo (horas)	Tempo acumulado (min)	Tempo acumulado (horas)	Altura lâmina (cm)	Lâmina infiltrada (cm)	Lamina infiltrada (mm)	Taxa de infiltração (mm/h)
0	0	0	0	25,15	0	0	0,00
1	0,017	1	0,017	24,72	0,43	4,30	258,00
1	0,017	2	0,033	24,45	0,27	2,70	162,00
2	0,033	4	0,067	23,89	0,56	5,60	168,00
2	0,033	6	0,100	23,41	0,48	4,80	144,00
2	0,033	8	0,133	23,00	0,41	4,10	123,00
5	0,083	13	0,217	22,09	0,91	9,10	109,20
5	0,083	18	0,300	21,23	0,86	8,60	103,20
5	0,083	23	0,383	20,60	0,63	6,30	75,60
5	0,083	28	0,467	19,97	0,63	6,30	75,60
5	0,083	33	0,550	19,50	0,47	4,70	56,40
10	0,167	43	0,717	18,60	0,90	9,00	54,00
10	0,167	53	0,883	17,92	0,68	6,80	40,80
10	0,167	63	1,050	17,27	0,65	6,50	39,00
10	0,167	73	1,217	16,65	0,62	6,20	37,20

Experimento 2

Dia: 17/10/2017		Local: Biblioteca		Início: 14:10 Término: 15:20 Temperatura: 26°C			
Tempo (min)	Tempo (horas)	Tempo acumulado (min)	Tempo acumulado (horas)	Altura lâmina (cm)	Lâmina infiltrada (cm)	Lamina infiltrada (mm)	Taxa de infiltração (mm/h)
0	0	0	0	25,52	0	0	0,00
1	0,017	1	0,017	25,34	0,18	1,80	108,00
1	0,017	2	0,033	25,19	0,15	1,50	90,00
2	0,033	4	0,067	24,94	0,25	2,50	75,00
2	0,033	6	0,100	24,72	0,22	2,20	66,00
2	0,033	8	0,133	24,52	0,20	2,00	60,00
5	0,083	13	0,217	23,97	0,55	5,50	66,00
5	0,083	18	0,300	23,54	0,43	4,30	51,60
5	0,083	23	0,383	23,13	0,41	4,10	49,20
5	0,083	28	0,467	22,63	0,50	5,00	60,00
5	0,083	33	0,550	22,27	0,36	3,60	43,20
10	0,167	43	0,717	21,50	0,77	7,70	46,20
10	0,167	53	0,883	20,84	0,66	6,60	39,60
10	0,167	63	1,050	20,18	0,66	6,60	39,60

Experimento 3

Dia: 15/08/2017		Local: RU		Início: 13:45 Término: 15:20 Temperatura: 20°C			
Tempo (min)	Tempo (horas)	Tempo acumulado (min)	Tempo acumulado (horas)	Altura lâmina (cm)	Lâmina infiltrada (cm)	Lamina infiltrada (mm)	Taxa de infiltração (mm/h)
0	0	0	0	23,16	0	0	0,00
1	0,017	1	0,017	21,44	1,72	17,20	1032,00
1	0,017	2	0,033	19,98	1,46	14,60	876,00
2	0,033	4	0,067	17,95	2,03	20,30	609,00
2	0,033	6	0,10	16,39	1,56	15,60	468,00
2	0,033	8	0,13	15,09/20,31*	1,30	13,00	390,00
5	0,083	13	0,22	17,66	2,65	26,50	318,00
5	0,083	18	0,30	15,50/21,16*	2,16	21,60	259,20
5	0,083	23	0,38	19,04	2,12	21,20	254,40
5	0,083	28	0,47	17,22	1,82	18,20	218,40
5	0,083	33	0,55	15,68	1,54	15,40	184,80
10	0,167	43	0,72	13,33/20,65*	2,35	23,50	141,00
10	0,167	53	0,88	17,77	2,88	28,80	172,80
10	0,167	63	1,05	15,29	2,48	24,80	148,80
10	0,167	73	1,22	13,50/18,86*	1,79	17,90	107,40
10	0,167	83	1,38	16,83	2,03	20,30	121,80
10	0,167	93	1,55	14,97	1,86	18,60	111,60
10	0,167	103	1,72	13,20	1,77	17,70	106,20
10	0,167	113	1,88	11,46	1,74	17,40	104,40

*Pontos em que foi preciso repor água no cilindro

Experimento 4

Dia: 16/08/2017		Local: RU		Início: 13:50 Término: 14:20 Temperatura: 22°C			
Tempo (min)	Tempo (horas)	Tempo acumulado (min)	Tempo acumulado (horas)	Altura lâmina (cm)	Lâmina infiltrada (cm)	Lamina infiltrada (mm)	Taxa de infiltração (mm/h)
0	0	0	0	26,80	0	0	0,00
1	0,017	1	0,017	26,58	0,22	2,20	132,00
1	0,017	2	0,033	26,48	0,10	1,00	60,00
2	0,033	4	0,067	26,27	0,21	2,10	63,00
2	0,033	6	0,10	26,11	0,16	1,60	48,00
2	0,033	8	0,13	25,95	0,16	1,60	48,00
5	0,083	13	0,22	25,60	0,35	3,50	42,00
5	0,083	18	0,30	25,33	0,27	2,70	32,40
5	0,083	23	0,38	25,05	0,28	2,80	33,60
5	0,083	28	0,47	24,79	0,26	2,60	31,20
5	0,083	33	0,55	24,59	0,20	2,00	24,00
10	0,167	43	0,72	24,20	0,39	3,90	23,40
10	0,167	53	0,88	23,84	0,36	3,60	21,60
10	0,167	63	1,05	23,52	0,32	3,20	19,20

Experimento 5

Dia: 22/08/2017		Local: Bloco J1		Início: 14:10 Término: 15:40 Temperatura: 19°C			
Tempo (min)	Tempo (horas)	Tempo acumulado (min)	Tempo acumulado (horas)	Altura lâmina (cm)	Lâmina infiltrada (cm)	Lamina infiltrada (mm)	Taxa de infiltração (mm/h)
0	0	0	0	24,40	0	0	0,00
1	0,017	1	0,017	23,60	0,80	8,00	480,00
1	0,017	2	0,033	22,84	0,76	7,60	456,00
2	0,033	4	0,067	21,42	1,42	14,20	426,00
2	0,033	6	0,10	20,15	1,27	12,70	381,00
2	0,033	8	0,13	19,10	1,05	10,50	315,00
5	0,083	13	0,22	16,64	2,46	24,60	295,20
5	0,083	18	0,30	14,44	2,20	22,00	264,00
5	0,083	23	0,38	12,62	1,82	18,20	218,40
5	0,083	28	0,47	11,00	1,62	16,20	194,40
5	0,083	33	0,55	9,65	1,35	13,50	162,00
10	0,167	43	0,72	8,5/20,25*	1,15	11,50	69,00
10	0,167	53	0,88	18,36	1,89	18,90	113,40
10	0,167	63	1,05	16,56	1,80	18,00	108,00
10	0,167	73	1,22	15,10	1,46	14,60	87,60
10	0,167	83	1,38	13,68	1,42	14,20	85,20
10	0,167	93	1,55	12,3	1,38	13,80	82,80
10	0,167	103	1,72	10,80	1,50	15,00	90,00
10	0,167	113	1,88	9,34	1,46	14,60	87,60
10	0,167	123	2,05	7,91	1,43	14,30	85,80

*Pontos em que foi preciso repor água no cilindro

Experimento 6

Dia: 29/08/2017		Local: Biblioteca		Início: 10:35 Término: 11:40 Temperatura: 25°C			
Tempo (min)	Tempo (horas)	Tempo acumulado (min)	Tempo acumulado (horas)	Altura lâmina (cm)	Lâmina infiltrada (cm)	Lamina infiltrada (mm)	Taxa de infiltração (mm/h)
0	0	0	0	24,63	0	0	0,00
1	0,017	1	0,017	24,47	0,16	1,60	96,00
1	0,017	2	0,033	24,35	0,12	1,20	72,00
2	0,033	4	0,067	24,24	0,11	1,10	33,00
2	0,033	6	0,10	23,85	0,39	3,90	117,00
2	0,033	8	0,13	23,75	0,10	1,00	30,00
5	0,083	13	0,22	23,70	0,05	0,50	6,00
5	0,083	18	0,30	23,55	0,15	1,50	18,00
5	0,083	23	0,38	23,34	0,21	2,10	25,20
5	0,083	28	0,47	23,19	0,15	1,50	18,00
5	0,083	33	0,55	23,08	0,11	1,10	13,20
10	0,167	43	0,72	22,83	0,25	2,50	15,00
10	0,167	53	0,88	22,60	0,23	2,30	13,80

Experimento 7

Dia: 01/09/2017		Local: Parque Tecnológico		Início: 15:50 Término: 17:00 Temperatura: 27°C			
Tempo (min)	Tempo (horas)	Tempo acumulado (min)	Tempo acumulado (horas)	Altura lâmina (cm)	Lâmina infiltrada (cm)	Lamina infiltrada (mm)	Taxa de infiltração (mm/h)
0	0	0	0	24,05	0	0	0,00
1	0,017	1	0,017	23,89	0,16	1,60	96,00
1	0,017	2	0,033	23,70	0,19	1,90	114,00
2	0,033	4	0,067	23,39	0,31	3,10	93,00
2	0,033	6	0,10	23,10	0,29	2,90	87,00
2	0,033	8	0,13	22,97	0,13	1,30	39,00
5	0,083	13	0,22	22,40	0,57	5,70	68,40
5	0,083	18	0,30	21,99	0,41	4,10	49,20
5	0,083	23	0,38	21,61	0,38	3,80	45,60
5	0,083	28	0,47	21,30	0,31	3,10	37,20
5	0,083	33	0,55	20,92	0,38	3,80	45,60
10	0,167	43	0,72	20,42	0,50	5,00	30,00
10	0,167	53	0,88	19,95	0,47	4,70	28,20
10	0,167	63	1,05	19,5	0,45	4,50	27,00

Experimento 8

Dia: 15/09/2017		Local: Anfiteatro		Início: 13:50 Término: 15:00 Temperatura: 22°C			
Tempo (min)	Tempo (horas)	Tempo acumulado (min)	Tempo acumulado (horas)	Altura lâmina (cm)	Lâmina infiltrada (cm)	Lamina infiltrada (mm)	Taxa de infiltração (mm/h)
0	0	0	0	25,57	0	0	0,00
1	0,017	1	0,017	25,33	0,24	2,40	144,00
1	0,017	2	0,033	25,07	0,26	2,60	156,00
2	0,033	4	0,067	24,69	0,38	3,80	114,00
2	0,033	6	0,10	24,29	0,40	4,00	120,00
2	0,033	8	0,13	23,94	0,35	3,50	105,00
5	0,083	13	0,22	23,15	0,79	7,90	94,80
5	0,083	18	0,30	22,47	0,68	6,80	81,60
5	0,083	23	0,38	21,88	0,59	5,90	70,80
5	0,083	28	0,47	21,20	0,68	6,80	81,60
5	0,083	33	0,55	20,68	0,52	5,20	62,40
10	0,167	43	0,72	19,74	0,94	9,40	56,40
10	0,167	53	0,88	18,83	0,91	9,10	54,60
10	0,167	63	1,05	18,05	0,78	7,80	46,80

Experimento 9

Dia: 16/09/2017		Local: Parque Ambiental		Início: 09:30 Término: 12:05 Temperatura: 21°C			
Tempo (min)	Tempo (horas)	Tempo acumulado (min)	Tempo acumulado (horas)	Altura lâmina (cm)	Lâmina infiltrada (cm)	Lâmina infiltrada (mm)	Taxa de infiltração (mm/h)
0	0	0	0	25,40	0	0	0,00
1	0,017	1	0,017	24,18	1,22	12,20	732,00
1	0,017	2	0,033	23,01	1,17	11,70	702,00
2	0,033	4	0,067	20,77	2,24	22,40	672,00
2	0,033	6	0,10	18,68	2,09	20,90	627,00
2	0,033	8	0,13	16,79	1,89	18,90	567,00
5	0,083	13	0,22	12,42	4,37	43,70	524,40
5	0,083	18	0,30	8,70 / 23,05*	3,72	37,20	446,40
5	0,083	23	0,38	19,10	3,95	39,50	474,00
5	0,083	28	0,47	15,55	3,55	35,50	426,00
5	0,083	33	0,55	12,84	2,71	27,10	325,20
10	0,167	43	0,72	8,08 / 21,04*	4,76	47,60	285,60
10	0,167	53	0,88	15,74	5,30	53,00	318,00
10	0,167	63	1,05	11,84/25,15*	3,90	39,00	234,00
10	0,167	73	1,22	20,22	4,93	49,30	295,80
10	0,167	83	1,38	16,53	3,69	36,90	221,40
10	0,167	93	1,55	13,54	2,99	29,90	179,40
10	0,167	103	1,72	11,25	2,29	22,90	137,40
10	0,167	113	1,88	9,40/21,03*	1,85	18,50	111,00
10	0,167	123	2,05	18,49	2,54	25,40	152,40
10	0,167	133	2,22	16,40	2,09	20,90	125,40
10	0,167	143	2,38	14,60	1,80	18,00	108,00
10	0,167	153	2,55	12,92	1,68	16,80	100,80

*Pontos em que foi preciso repor água no cilindro

APÊNDICE B – VALORES DAS PRECIPITAÇÕES OBTIDAS NO SITE DO CEMADEN (TABELA MODIFICADA COM SOMENTE OS DADOS RELEVANTES)

Agosto	Intensidade (mm/dia)	Setembro	Intensidade (mm/dia)	Outubro	Intensidade (mm/dia)
01/ago	0	01/set	0	01/out	14,35
02/ago	13,99	02/set	0	02/out	11,45
03/ago	6,71	03/set	0	03/out	0
04/ago	0,2	04/set	0	04/out	132,69*
05/ago	0	05/set	0	05/out	sem dados
06/ago	0	06/set	0		
07/ago	0	07/set	0		
08/ago	4,33	08/set	0		
09/ago	0	09/set	0		
10/ago	0	10/set	0		
11/ago	0	11/set	0		
12/ago	0	12/set	0		
13/ago	43,13	13/set	0		
14/ago	0	14/set	0,79		
15/ago	0	15/set	0		
16/ago	0	16/set	0		
17/ago	0	17/set	0		
18/ago	0	18/set	0		
19/ago	5,34	19/set	0		
20/ago	45,3	20/set	0		
21/ago	0	21/set	0		
22/ago	0	22/set	0		
23/ago	0	23/set	0		
24/ago	0	24/set	0		
25/ago	0	25/set	0		
26/ago	0	26/set	0		
27/ago	0	27/set	1,57		
28/ago	0,8	28/set	0,98		
29/ago	0	29/set	32,51		
30/ago	0	30/set	1,78		
31/ago	0				

*Dado não exato, pois o pluviômetro parou de funcionar nesse dia.