

Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental
Santa Maria, v. 19, n. 3, set-dez. 2015, p. 837-849
Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM
ISSN : 22361170



Análise da eficiência de calçadas ecológicas como sistema de drenagem sustentável nos centros urbanos: estudo de caso no Parque Flamboyant, Goiânia – Goiás

Analysis of efficiency of sidewalks as ecological sustainable drainage system in urban centers: case study in Flamboyant Park, Goiânia – Goiás

Layara de Paula Sousa Santos¹, Renata Medici Frayne Cuba¹, Valéria de Sousa Leitão²,
Agenor de Sousa Santos Neto²

1. Universidade Federal de Goiás
2. Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Resumo

A crescente urbanização e impermeabilização do solo são alguns dos principais fatores que interferem no escoamento das águas das chuvas, dessa forma, torna-se cada vez mais frequente a ocorrência de alagamentos e inundações. Neste contexto a drenagem urbana tem uma função essencial: minimizar a presença de excessos de circulação de água, especialmente pluviais, em locais indevidos no meio urbano. Esta pesquisa aborda a importância da utilização de sistemas de drenagem sustentável, a fim de diminuir problemas como alagamentos e comprometimentos dos cursos d'água. Dessa forma, o objetivo geral é investigar sobre a contribuição ambiental das calçadas ecológicas na região do Parque Flamboyant localizado na zona urbana de Goiânia - Goiás. Para o levantamento de dados, foram feitas pesquisas bibliográficas, levantamentos em campo com registros fotográficos, consultas à órgãos públicos e ensaio de infiltração realizado no Parque para verificar a eficiência da permeabilidade dos pavimentos intertravados. Os resultados dos ensaios nos pavimentos apresentaram valores satisfatórios em vista de locais impermeáveis.

Palavras-chave: Alagamentos. Drenagem Sustentável. Calçadas Ecológicas. Permeabilidade. Pavimentos Intertravados.

Abstract

Increasing urbanization and soil sealing are among the main factors that affect the flow of rainwater, thus increasingly frequent becomes the occurrence of floods and flooding. In this context the urban drainage is an essential function: to minimize the presence of movement of excess water, especially rain in improper places in urban areas. This research addresses the importance of use of sustainable drainage systems in order to reduce problems such as flooding and commitments of waterways. Thus, the overall objective is to investigate the environmental contribution of the ecological sidewalks in the Flamboyant Park region located in the urban area of Goiânia - Goiás. For data collection, were made library research, field surveys with photographic records, consultation with agencies Public and infiltration test conducted in the Park to check the efficiency of permeability of interlocking pavements. The results of the tests showed satisfactory values floors in view of waterproof locations.

Keywords: Flooding. Sustainable Drainage. Ecological Sidewalks. Permeability. Interlocked Floor.

1 Introdução

As consequências da urbanização vivenciadas pela sociedade moderna nas últimas décadas sustentaram o surgimento de uma nova consciência global acerca das questões relacionadas à interação do homem com o ambiente urbano, impulsionando diferentes setores sociais, principalmente o tecnológico, a buscarem alternativas de desenvolvimento que valorizem o meio ambiente dentro das ações sociais.

No entanto, ainda que a evolução tecnológica tenha beneficiado a sociedade, minimizando os impactos do desenvolvimento, esta não é capaz de equacionar todos os problemas referentes aos aspectos sociais, de qualidade do ambiente urbano e tampouco garantir a sustentabilidade das cidades (ROSSETTO, 2003), devido, em grande parte, à falta de incorporação nas políticas e projetos governamentais dos princípios básicos do desenvolvimento sustentável.

Entre os problemas a serem enfrentados pelos gestores públicos encontram-se aqueles decorrentes das alterações no escoamento superficial direto, causando principalmente, alagamentos, enxurradas, cheias e inundações.

No ano de 2013, o Brasil teve 1.543 municípios atingidos por enchentes ou inundações graduais (27,7% do total dos municípios brasileiros) e 1574 atingidos por enxurradas ou inundações bruscas (28,3%) (IBGE, 2014).

Com relação aos alagamentos, 2065 municípios foram atingidos por alagamentos no período de 2009 a 2013. Esse número equivale a 37,1% do total dos municípios brasileiros, sendo que os municípios com mais de 500 000 habitantes foram os mais atingidos, representando 97,4% do total (IBGE, 2014).

Em geral, esses problemas estão diretamente associados a condições artificiais do meio, como por exemplo, interferência direta na permeabilidade da água no solo, tais como as grandes áreas com ruas asfaltadas e superfícies cimentadas, ou impedimentos ao escoamento superficial da água, como sistemas de drenagem deficientes e por isso, segundo Milograma (2001) são caracterizados por uma sequência de erros que vão desde a definição dos elementos básicos do sistema de drenagem, até a execução de técnicas mais acuradas de controle de cheias.

Segundo Ribeiro (2010), nos grandes centros urbanos, é preciso investir em infraestrutura dos sistemas de microdrenagem com o intuito de minimizar o fluxo das águas pluviais e conseqüentemente os impactos ocasionados devido a esse excesso, em períodos de tempo curtos. Nesse sentido, a implementação de sistemas de drenagem sustentável é estudada em países desenvolvidos com o intuito de gerar um sistema que imite o ciclo hidrológico natural (KOBAYASHI et al., 2008).

Essas medidas estruturais interferem no hidrograma por meio de armazenamento do escoamento superficial direto, percolação e infiltração (PINTO, 2011). Cabe ressaltar que essas medidas possibilitam atribuir características de sustentabilidade aos sistemas de drenagem, pois, quando bem concebidas e mantidas permitem a continuidade do desenvolvimento urbano, ao adequar o sistema de drenagem em função do crescimento e ainda contribuir para a melhoria da qualidade de vida, recuperação e preservação do ambiente (MOURA; BAPTISTA; BARRAUD, 2009).

Existem várias técnicas que visam à mitigação dos efeitos da impermeabilização de superfícies urbanas, dentre elas, pode-se citar: micro reservatórios domiciliares, pavimentos permeáveis, bacias de retenção, trincheiras de infiltração, poços de infiltração e estações de bombeamento (CANHOLI, 2005).

Nesta pesquisa foi dada ênfase aos pavimentos permeáveis utilizados em calçadas ecológicas. É uma técnica que compõe o modelo sustentável de drenagem, composta por pavimentos permeáveis com canais abertos preenchidos por vegetação com o intuito de minimizar as vazões de pico devido ao

aumento de “áreas de infiltração e percolação diminuindo o escoamento superficial e consequentemente, favorecendo, o fluxo subterrâneo” (MONTES; LEITE, 2008, p. 9).

A utilização de calçadas ecológicas tem se destacado, devido à utilização de gramas e plantas em conjunto com uma estrutura permeável, que diferentemente do asfalto e concreto proporcionam ao ambiente uma forma de passeio público de menor impacto térmico, além de aumentar o índice de infiltração (GOMES et al., 2013).

Os pavimentos permeáveis se caracterizam por apresentarem superfícies porosas ou perfuradas que permitem a infiltração de parte do escoamento superficial, tais como os blocos vazados, intertravados e os concregramas, que são assentados diretamente sobre o solo natural compactado (ALMEIDA et al., 2008, p. 7).

De Angelis et al. (2007) propõem a classificação de pavimento permeável em três classes: “pavimento de asfalto poroso, de concreto poroso e de blocos de concreto perfurado preenchidos com areia ou grama”. Tais estruturas apresentam camada de revestimento semelhante à dos convencionais, porém retira-se a fração de areia fina usada na mistura dos agregados da massa.

Segundo Almeida et al. (2008), os parâmetros que devem ser analisados para realizar a adoção do produto citado são: “tipo do solo, nível da água e do lençol freático, profundidade da camada impermeável do solo, aceitação por parte dos moradores, área livre dos lotes, topografia e custos envolvidos”.

O tipo de pavimento objeto do presente estudo foi o formado por blocos de concreto intertravados, bastante utilizados na construção de pavimentos urbanos, pois se caracterizam por sua versatilidade e facilidade de aplicação, não necessitando de equipamentos especiais e de grande porte, o que permite a utilização de mão-de-obra local e frentes de trabalho simultâneas, resultando em economia de tempo de construção e liberação ao tráfego. (SIMIELI et al, 2007; Carmin et al, 2010).

Em Goiânia esse tipo de pavimento, juntamente com outras medidas de prevenção, tem sido utilizado para aumentar as áreas de interceptação da água da chuva e assim minimizar eventos de alagamentos.

Diversos autores realizaram pesquisas com pavimentos permeáveis intertravados com a finalidade de analisar o desempenho hidráulico de um sistema composto por esse tipo de revestimento. Dentre eles, pode-se destacar Almeida e Ferreira (2008) que analisaram os benefícios socioambientais da construção de calçadas ecológicas; Pinto (2011) utilizou modelos matemáticos, capaz de verificar excelente função dos pavimentos intertravados em todas as situações analisadas; Pellizzari (2013) fez uma pesquisa sobre a eficácia de restauração de pavimentos na capacidade de infiltração e Martins (2014) realizou estudos sobre a capacidade de infiltração do pavimento intertravado de concreto.

As infraestruturas utilizadas neste tipo de calçada têm como principal objetivo facilitar a infiltração da água para o sistema aquífero. Como benefícios, destaca-se a redução de carga poluente em águas residuais devido ao papel depurador do solo, além de proporcionar a recarga de aquíferos.

SEWRPC (2006) classifica os métodos de recarga artificial de aquíferos em: (1) Infiltração superficial por intermédio de bacias de infiltração; (2) Infiltração sub-superficial por intermédio de furos ou valas na zona não saturada do solo; (3) Injeção direta por intermédio de furos de injeção; (4) Recarga facilitada por meio de alterações na superfície do solo que aumentam a recarga nas zonas naturais; (5) Infiltração *riverbank* que inclui recarga induzida; (6) *Water banking*, no qual se utiliza um dos métodos anteriores para recarga do aquífero. Cabe ressaltar a necessidade de analisar detalhadamente qual a metodologia mais viável para o objeto proposto.

A infiltração é um processo que depende de diversos fatores, dentre os quais se destacam a condição da superfície, tipo de solo, condições de manejo e preparo do solo adequado, umidade inicial do solo, presença de fendas, compactação do solo e cobertura vegetal (CARVALHO; SILVA, 2006).

A velocidade de infiltração pode ser mais eficaz com a adoção de sistemas que podem ser utilizados para recarga artificial superficial ou em profundidade, para isso são utilizados dispositivos de decantação e sedimentação. No caso de sistemas de infiltração de pequena dimensão podem-se colocar filtros no fundo da estrutura. Os filtros muito permeáveis favorecem uma elevada taxa de infiltração (ASCE, 2001).

Com o objetivo de promover acessibilidade aos pedestres, ao mesmo tempo em que permite a permeabilidade do solo, a Agência Municipal de Obras (AMOB) de Goiânia lançou oficialmente o Programa Calçada Ecológica no ano de 2010, evitando a necessidade de construir galerias pluviais onerosas.

Além de mudar o visual das vias públicas, as obras desse programa tornarão as calçadas transitáveis para qualquer pedestre (crianças, idosos, adultos e portadores de mobilidade reduzida) e facilitarão a absorção e escoamento das águas da chuva (ALVES, 2010, p. 2).

Diferentes áreas do município contam com esse tipo de pavimentação, entre elas o Parque Municipal Flamboyant, inserido na Região Sul de Goiânia. Segundo Oliveira (2011), o Parque, inaugurado em 2007, foi implantado e recuperado com o objetivo de manter a biodiversidade, mas também foi dotado de elementos e equipamentos diversificados em sua infraestrutura capazes de promover o desenvolvimento de atividades culturais e de lazer, como pistas de caminhadas e bicicletas.

No entanto, a área sofreu com a ocupação desordenada do entorno e adjacências do Parque Flamboyant o que gerou comprometimentos a nível ambiental e urbano para o setor e à cidade (OLIVEIRA, 2011). Segundo Goiânia (2007), o solo encontra-se quase totalmente descaracterizado em decorrência da antropização que ocorreu com muita intensidade, ao longo dos anos. Predominava-se o solo argiloso-arenoso rico em matéria orgânica, atualmente verifica-se a introdução de material exótico, tanto pela ação de enxurradas, quanto em virtude do antropismo, decorrente principalmente pela construção de diversos empreendimentos no entorno.

O lençol freático foi rebaixado em diversos pontos devido à construção de edifícios para permitir a construção dos subsolos. Alguns dos impactos ambientais negativos esperados são a redução da umidade do solo e a diminuição do volume de água nos corpos hídricos locais. Dessa forma, o acelerado processo de adensamento e o conseqüente processo de impermeabilização excessiva de terrenos na região do Parque Flamboyant comprometem a capacidade de infiltração do solo.

Devido à importância da área, o objetivo deste trabalho foi o de verificar a capacidade de infiltração das calçadas ecológicas no Parque Flamboyant, inicialmente planejadas para garantir a permeabilidade do solo, mas também, a acessibilidade da população.

2 Metodologia

2.1 Caracterização da área de estudo

O Parque Municipal Flamboyant está inserido na Região Sul de Goiânia, no setor Jardim Goiás, entre a Vila Maria José, Vila São Paulo, Bairro Areião I e Setor Alto da Glória. Localizado próximo à coordenada WGS 84/ UTM Fuso 22 S 687843 E e coordenada 8152411 S.

Segundo o Plano de Manejo do Parque Flamboyant, o solo encontra-se quase totalmente descaracterizado em decorrência da antropização que ocorreu com muita intensidade, ao longo dos anos. Pela diferenciação da composição do solo, faz com que a vegetação também seja distinta em virtude da variação de necessidades de cada planta.

A nascente do córrego Sumidouro, afluente da margem direita do Córrego Botafogo, é um dos elementos naturais que compõem o Parque. Existe no Parque uma área de brejo e lagos.

A vegetação do Parque Flamboyant, antes de ser antropizada, era formada por buritizais e veredas. Descendo uma encosta de vale, o cerrado é diferenciado em campo graminoso úmido estacional e no meio deste ocorre uma faixa de buritis. Encontram-se grande quantidade de espécies nativas e algumas espécies exóticas. A fauna é diversificada, destacando-se a avifauna.

A ocupação desordenada do entorno e adjacências do Parque Flamboyant geraram comprometimentos a nível ambiental e urbano. O rebaixamento do lençol freático causado em

diversos locais pela construção de subsolos dos empreendimentos comprometem os cursos d'água e nascentes, tornando-se necessário a adoção de medidas preventivas e corretivas.

2.2 Ensaios Realizados

Foram realizadas visitas *in loco*, primeiramente, com o intuito de se reconhecer o local e atualizar informações pré-existentes e posteriormente, para a realização dos ensaios de permeabilidade do solo.

Os ensaios de permeabilidade foram realizados segundo o método proposto por ASTM C1701 – *Standard Test Method for Infiltration Rate of in Place Pervious Concrete* (método de ensaio *in situ* para determinação de coeficientes de permeabilidade em concreto permeável).

Para a realização dos testes foram utilizados os seguintes materiais: cilindro aberto em ambas as extremidades com 30 cm de diâmetro interno, provetas graduadas de 1 litro e 2 litros, escova com cerdas de polipropileno, massa de calafetar, cronômetro e água.

Na Imagem 1 é apresentada sequência das etapas do teste de infiltração, proposto por Martins (2014).

Conforme a sequência de fotos apresentadas na Imagem 1, primeiramente, foi efetuada a limpeza do revestimento utilizando a escova para a retirada de sedimentos depositados. Com o intuito de evitar vazamentos, após a limpeza, foi aplicada massa de calafetar na parte inferior do cilindro envolvendo também a superfície do pavimento em contato com o mesmo (Imagens A, B e C).

Posteriormente a instalação do cilindro, foi realizada a pré-molhagem, sendo que o volume total de água utilizado para o ensaio foi de 3,6L conforme sugerido por Marchioni e Silva (2011), apresentada na Imagem D.

O tempo de infiltração foi medido utilizando um cronômetro que era iniciado assim que a água atingia a superfície do pavimento e finalizado quando não houvesse mais água na superfície. O volume de água infiltrado a cada intervalo de tempo foi calculado utilizando a medidas de variação da altura de água no cilindro por meio de uma trena.

O ensaio foi realizado em 4 pontos diferentes do parque, distanciados 1 m entre si, conforme prescrições de Marchioni e Silva (2011). Também foi feito um teste em solo gramado, com o intuito de se comparar os tempos de infiltração.

Na grama o cilindro foi enterrado no solo de forma que a água não vazasse pelas laterais. Dessa forma, foi feita a pré-molhagem com 3,6 litros de água, posteriormente adicionou-se 18 litros de água e o tempo foi cronometrado até o final da infiltração.

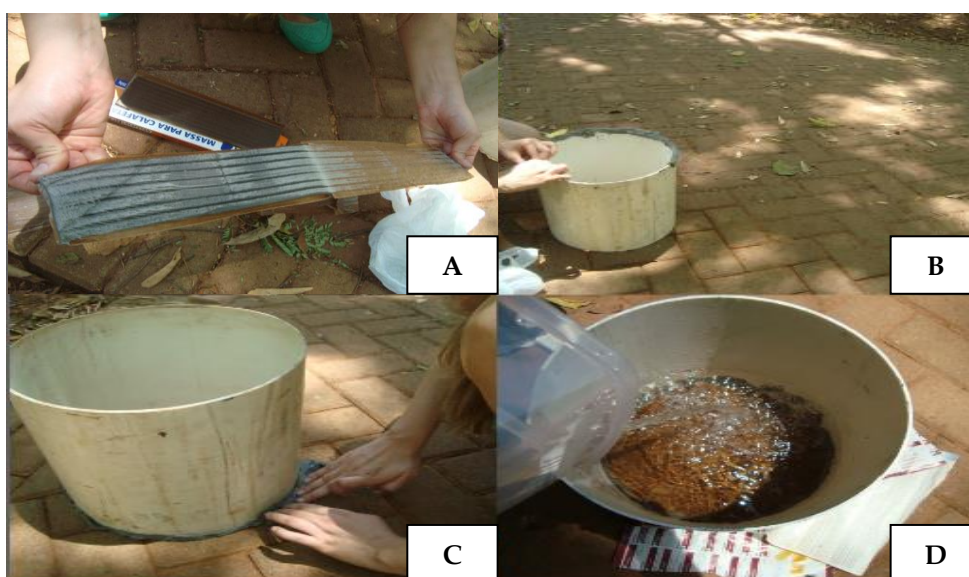


Imagem 1- Etapas do teste de infiltração

Fonte: Autores (2014)

Considerando a lentidão do processo de infiltração nos locais analisados, o teste oficial foi executado desconsiderando a etapa de pré-molhagem. Foi realizado um total de quatro testes de infiltração, considerando-se o teste realizado na grama. Esse último teste foi realizado com o intuito de avaliar a permeabilidade dos pavimentos por meio da comparação com um solo permeável.

O coeficiente de permeabilidade foi obtido por meio da Lei de Darcy, utilizando-se a Equação (1):

$$I = K \times M/D^2 \times t \quad (1)$$

Onde:

I = Coeficiente de permeabilidade (mm/h);

K = Constante = 4.583.666.000 (Sistema Internacional);

M = Massa de água infiltrada (Kg);

D = Diâmetro interno do cilindro (mm);

t = Intervalo de tempo entre adição da água e seu desaparecimento na superfície (s).

Para verificar o perfil da velocidade de infiltração com o tempo e estimar a taxa de infiltração estável (conhecida por velocidade de infiltração básica da água no solo - VIB) do conjunto pavimento permeável + solo, foi utilizado o modelo da Equação Potencial de Kostiakov – 1932, sendo a velocidade de infiltração instantânea (VI) a derivada da infiltração acumulada, em relação ao tempo e representada pela Equação (2).

$$I = n \times T^a + VIB \quad (2)$$

Onde:

I = Infiltração acumulada (mm);

n = Constante dependente do solo;

T = Tempo de infiltração (h); e

a = Constante dependente do solo, variando de 0 a 1.

Após aferidos os valores no ensaio, para se conhecer o grau de permeabilidade do pavimento, os mesmos foram comparados com os valores típicos de permeabilidade de solo apresentados no Quadro 1.

Quadro 1- Valores Típicos de permeabilidade de solos

Tipo de Solo	Coeficiente de Permeabilidade I (m/s)	Grau de Permeabilidade
Brita	>10 ⁻³	Alta
Areia de brita, areia limpa e areia fina	10 ⁻³ a 10 ⁻⁵	Média
Areia, areia suja e silte arenoso	10 ⁻⁶ a 10 ⁻⁷	Baixa
Silte e silte argiloso	10 ⁻⁷ a 10 ⁻⁹	Muito Baixa
Argila	<10 ⁻⁹	Praticamente Impermeável

Fonte: Jabur (2013)

Cabe ressaltar que foram utilizados como padrão os dados apresentados no Quadro 1, visto que segundo Jabur (2013), não existem valores regulamentados para calçadas ecológicas.

Após a obtenção dos resultados, foi utilizada a Tabela 2 para classificar a velocidade de infiltração básica do solo. Segundo Carvalho e Silva (2006) os solos podem ser classificados de acordo com a sua velocidade de infiltração básica conforme informações apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores Padrão de VIB

Classificação do solo	Valores padrão
Solo de VIB baixa	VIB < 5 mm.h ⁻¹
Solo de VIB média	5 < VIB < 15 mm.h ⁻¹
Solo de VIB alta	15 < VIB < 30 mm.h ⁻¹
Solo de VIB muito alta	VIB > 30 mm.h ⁻¹

Fonte: Carvalho e Silva (2006)

Segundo Carvalho e Silva (2006) a equação potencial de Kostiakov modificada é útil para as situações em que a infiltração se dá por um longo período de tempo, resultando em uma taxa de infiltração (TI) correspondente à velocidade de infiltração básica (VIB), diferente de zero.

Para os cálculos de VIB, k e a foi utilizado o programa Origin 8.0.

2.3 Fatores que influenciaram os resultados

Como o processo de infiltração é influenciado por diversos fatores, foram considerados os seguintes:

- **Condição da superfície:** O local apresenta elevado tráfego de pedestres, porém não causa grandes interferências na permeabilidade;
- **Temperatura:** A velocidade de infiltração aumenta com a temperatura, devido à diminuição da viscosidade da água. No dia 20/09/2014 a temperatura mínima estava prevista para 20°C e a temperatura máxima estava prevista para 38°C. No dia 28/09/2014 a temperatura mínima estava prevista para 21°C e a temperatura máxima estava prevista para 36°C segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2014).
- **Idade do pavimento:** Pavimentos mais antigos podem apresentar menor eficiência de infiltração. No local analisado verificou-se que a idade do pavimento é em torno de 7 anos segundo dados obtidos no Plano de Manejo do Parque Flamboyant.
- **Limpeza:** As juntas do pavimento apresentavam-se colmatadas no dia da realização do ensaio, este aspecto demonstra falta de limpeza, esse fator acarreta diminuição da eficiência de infiltração da água no local.

3 Resultados e discussões

3.1 Ensaio de permeabilidade

Os resultados obtidos para o volume de água, tempo de infiltração, infiltração (mm/h) e infiltração (m/s) nos pontos monitorados encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Resultados obtidos nos ensaios de infiltração

Data	Local	Vol. de Água (L)	Tempo (s)	I (mm/h)	I (m/s)
20/09/2014	1	3,6	25260	7,258	2,016 x 10 ⁻⁶
20/09/2014	2	3,6	23280	7,875	2,187 x 10 ⁻⁶
28/09/2014	3	3,6	28800	6,360	1,760 x 10 ⁻⁶
28/09/2014	4	18	223	4110,911	1,141x10 ⁻³

Fonte: Autores (2014)

O local 4 refere-se ao ensaio realizado na grama, o restante dos ensaios foram feitos nos pavimentos intertravados localizados em pontos distintos do Parque.

No local 4, referente à permeabilidade da grama, foram utilizados 18 litros em decorrência do rápido processo de infiltração e também de sua ligeira saturação com os 3,6 litros de água iniciais.

Analisando a Tabela 1, verifica-se que os valores de infiltração para o pavimento ficaram entre $1,760 \times 10^{-6}$ (m/s) a $2,187 \times 10^{-6}$ (m/s), o que de acordo com o Quadro 1, classifica o grau de permeabilidade dos pavimentos como baixo. Já o grau de permeabilidade da grama, ficou classificado como alta de acordo com o resultado que foi de $1,141 \times 10^{-3}$ (m/s).

Na Imagem 2, são retratados os locais de estudo para realização dos ensaios de infiltração.



Imagem 2 - Locais de estudo para ensaios de infiltração realizados na grama e no pavimento intertravado

Fonte: Autores (2014)

3.2 Análise da velocidade de infiltração e velocidade básica de infiltração

Nas Imagens 3, 4 e 5 são apresentados os resultados obtidos para o cálculo da velocidade básica de infiltração para os locais 1, 2 e 3 respectivamente.

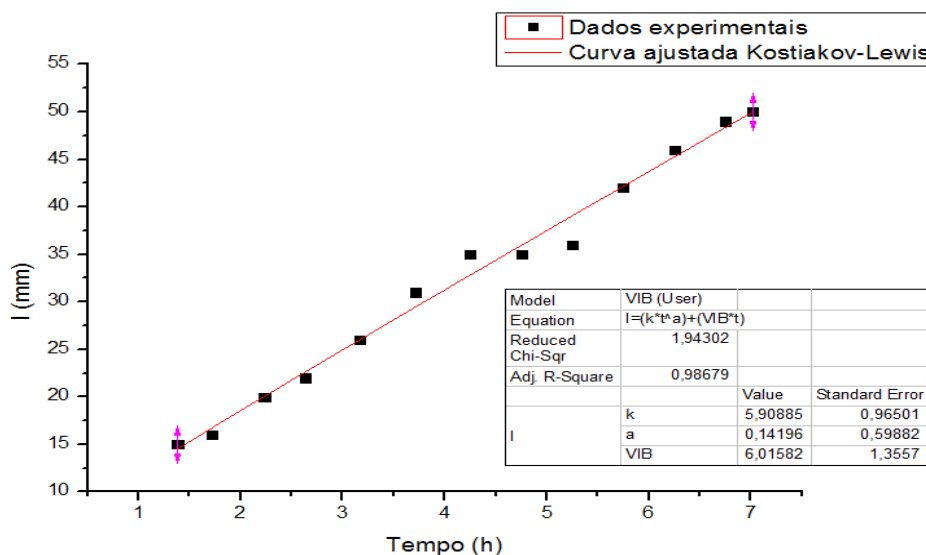


Imagem 3 - Perfil de velocidade de infiltração com o tempo para o local 1

Fonte: Autores (2014)

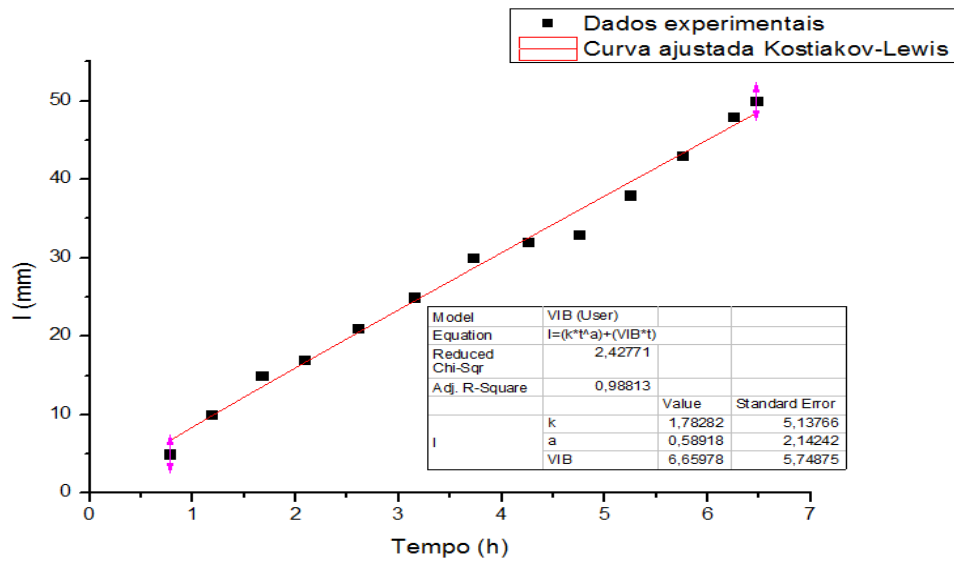


Imagem 4 - Perfil de velocidade de infiltração com o tempo para o local 2
 Fonte: Autores (2014)

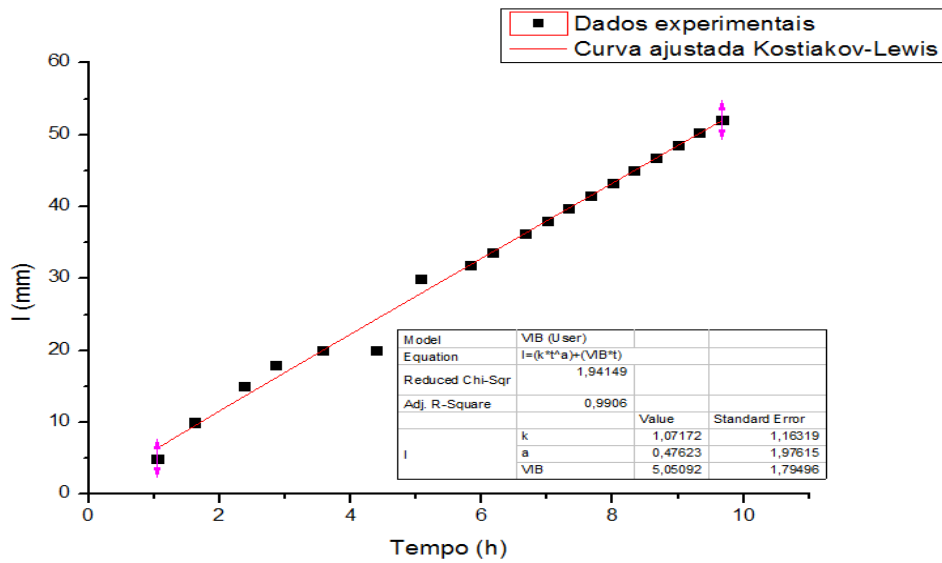


Imagem 5 - Perfil de velocidade de infiltração com o tempo para o local 3
 Fonte: Autores (2014)

Com os valores de a e k foi possível plotar os gráficos para as velocidades de infiltração. As Imagens 6, 7 e 8 apresentam esses resultados.

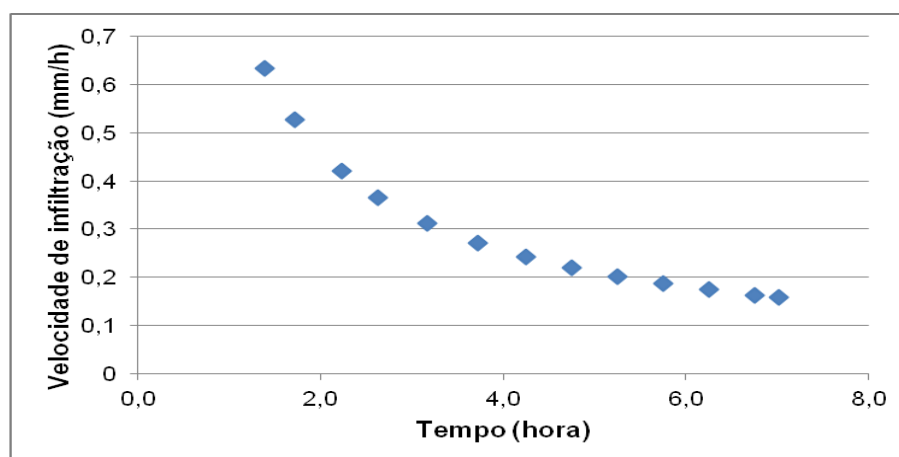


Imagem 6 - Perfil de velocidade de infiltração com o tempo para o local 1

Fonte: Autores (2014)

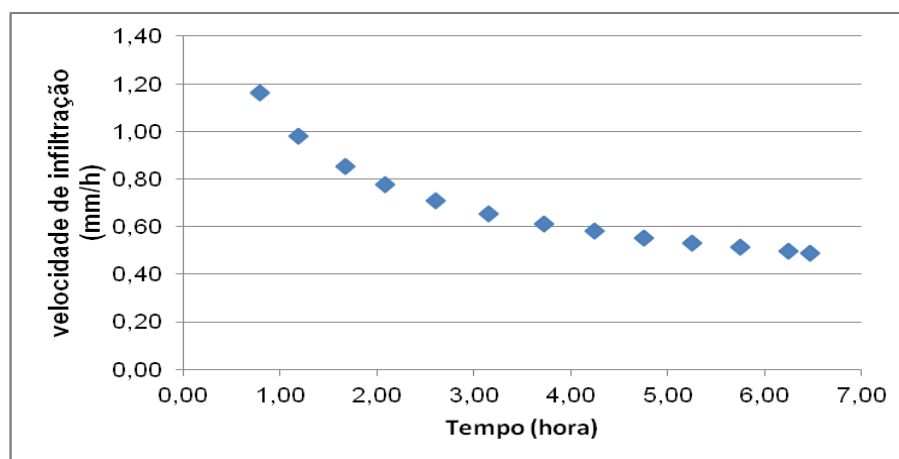


Imagem 7 - Perfil de velocidade de infiltração com o tempo para o local 2

Fonte: Autores (2014)

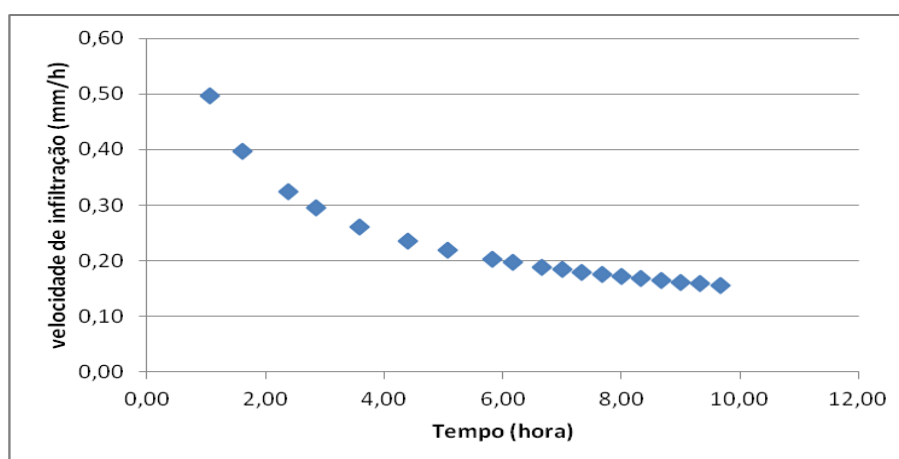


Imagem 8 - Perfil de velocidade de infiltração com o tempo para o local 3

Fonte: Autores (2014)

Em todos os gráficos apresentados, percebe-se que a taxa de infiltração da água no solo é alta no início do processo de infiltração, isso porque o solo está muito seco inicialmente, mas tende a

decrecer com o tempo, aproximando-se de um valor constante, denominado taxa de infiltração estável, também conhecida por velocidade de infiltração básica da água no solo - VIB. Este comportamento pode ser compreendido a partir da aplicação da equação de Darcy às condições de escoamento, em meio não-saturado.

Para facilitar a visualização dos dados os valores obtidos para os coeficientes a e k , utilizados na equação para o cálculo de velocidade de infiltração, e o valor da taxa de infiltração estável, os mesmos encontram-se apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Valores de a , k e VIB

Local	Valor de a	Valor de k	VIB (mm/h)
1	0,14196	5,90885	6,01582
2	0,58918	1,78282	6,65978
3	0,47623	1,07172	5,05092

Fonte: Autores (2014)

Como pode ser observado os valores de VIB encontram-se em um intervalo de 5,05092 a 6,65978 mm/h.

Desta forma, pode-se verificar que o conjunto pavimento permeável e solo no local estudado encontra-se classificado como um solo com velocidade de infiltração básica média de acordo com a Tabela 2.

Esse fator pode estar associado à baixa permeabilidade do pavimento, verificada e/ou o fato de o preparo do solo para a colocação destes pavimentos exigirem a compactação do solo em conjunto com a falta de limpeza adequada, o que também, pode levar à diminuição da permeabilidade.

Com relação à melhoria da funcionalidade dos pavimentos, recomenda-se que estes recebam pelo menos uma limpeza anual. Sugere-se para futuras pesquisas a análise laboratorial do coeficiente de permeabilidade do material de rejunte utilizado nas juntas. Recomenda-se ainda a análise laboratorial do solo do Parque Flamboyant e testes de permeabilidade e resistência do solo com permeâmetro e penetrometro de impacto respectivamente, visto que estes fatores interferem na eficiência da infiltração.

Outro método que pode ser utilizado para melhorar a eficiência da permeabilidade é aumentar a largura das juntas dos pavimentos por meio de um novo dimensionamento. Relacionado a esse fator de áreas abertas demonstra-se também a importância de áreas permeáveis como as faixas gramadas nas calçadas.

9 Considerações finais e recomendações

Os pavimentos intertravados estão sendo cada vez mais utilizados nas calçadas, principalmente devido ao aspecto estético que proporcionam e também devido à contribuição na redução do escoamento superficial.

Foram alcançados os objetivos, visto que foi possível confirmar que as calçadas ecológicas feitas com pavimentos intertravados favorecem o contexto urbano tanto com relação aos benefícios advindos da infiltração quanto dos benefícios proporcionados pela arborização.

Os testes de infiltração foram realizados de acordo com a norma americana ASTM C1701, para avaliar a capacidade de infiltração da camada superior do pavimento. Os ensaios foram realizados de forma satisfatória, visto que a massa de calafetar apresentou bom resultado como material de vedação e as equações representadas no gráfico demonstram regularidade nos resultados.

Foi possível verificar que a capacidade de permeabilidade nos locais analisados, com exceção da grama, é baixa. Porém, ainda assim consegue infiltrar água da chuva com relativa eficiência ao se comparar com as calçadas impermeáveis.

Referências

- ALMEIDA, Rodrigo Braga de; FERREIRA, Osmar Mendes. **Calçadas Ecológicas: construção e benefícios sócio-ambientais**. Universidade Católica de Goiás – Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental. Goiânia: PROPE. PUC, junho/2008. 28p.
- ALVES, Gilson. **Amob Lança Programa Calçadas Ecológicas**. 30 de julho de 2010. Disponível em: <<http://www.goianiabr.com.br/2010/07/amob-lanca-programa-calcada-ecologica.html>> Acesso em: 25 maio 2014.
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **Standard Guidelines for Artificial Recharge of Groundwater**. EWRI/ASCE, 2001.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- CARNIN, Raquel Luísa Pereira; OLIVEIRA, Cláudio Silva; POZZI, Ricardo José; CARDOSO JÚNIOR, Dirceu; FORGUERAS, Marilena Valadares; MALKOWSKI, Wendel . Desenvolvimento de peças de concreto (Paver) contendo areia descartada de fundição para pavimento intertravado. **Revista Pavimentação**. 2010.
- CARVALHO, Daniel Fonseca de; SILVA, Leonardo Duarte Batista da **Hidrologia**. Rio de Janeiro/RJ: UFRRJ, 2006.
- DE ANGELIS, Bruno Luiz Domingos; PEREIRA, Amauri Divino; DE ANGELIS NETO, Generoso; BARROS, Rafaela De Angelis. A função das áreas verdes em parques industriais: o A função das áreas verdes em parques industriais: o caso de Maringá, Estado do Maringá, Estado do Estado do Paraná. **Acta Sci. Technol.** Maringá, v. 29, n. 2, p. 187-193, 2007.
- GOIÂNIA. Plano de Manejo Parque Flamboyant. Goiânia/GO, 2007.
- GOMES, Lucimar dos Santos; QUEIROZ, Sunélio Ferreira de; OLIVEIRA, Cristiane Aparecida de; COLARES, Carla Jovina Gomes. **Uso e Aplicação de Calçadas Ecológicas na Cidade de Anápolis – GO**. Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes. Cidades Verdes, v.01, abr. 2013, p. 223.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Perfil dos Municípios Brasileiros**, 2013. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Perfil_Municípios/2013/munic2013.pdf> Acesso em: 14 maio 2015
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Disponível em: <www.inmet.gov.br> Acesso em: 20 set. 2014.
- JABUR, Andrea Sartori, Projeto de Pesquisa: MAPLU 2 - **Manejo de Águas Pluviais em Meio Urbano - Técnicas Compensatórias**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.
- KOBAYASHI, Fabiana Y. et al. **Drenagem Urbana Sustentável**. São Paulo: USP, 2008.
- MARCHIONI, Mariana, SILVA, Cláudio Oliveira. **Pavimento Intertravado Permeável – Melhores Práticas**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011.
- MARTINS, Ronaldo Miotto. **Análise da Capacidade de Infiltração do Pavimento Intertravado de Concreto**. Pato Branco/PB: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014. 49p.
- MILOGRAMA, Jussanã. **Estudo de medidas de controle de cheias em ambientes urbanos**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade de Brasília, 2001. 98p.
- MONTES, Rafael Menegazzo; LEITE, Juliana F. A **Drenagem Urbana de Águas Pluviais e seus Impactos Cenário Atual da Bacia do Córrego Vaca Brava - Goiânia – GO**. Goiânia/GO: Universidade Católica de Goiás, 2008. 29p.

- MOURA, Priscila Macedo; BAPTISTA, Márcio Benedito; BARRAUD, Sylvie. Avaliação Multicritério de Sistemas de Drenagem de Água. **REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina**, v.6, n.1, p.31-42, jan/jun.2009.
- OLIVEIRA, Maria Aparecida de. **Parque Flamboyant: Transformação da Paisagem Urbana em Goiânia/ Goiás**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Produção Sustentável). Goiânia/GO: Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2011. 111p.
- PELLIZZARI, Vinícius. **Avaliação da Eficácia da Restauração da Capacidade de Infiltração da Camada Superior de Pavimentos Porosos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Goiás – Departamento de Engenharia – Engenharia Civil. Porto Alegre: UFRGS, dezembro/2013. 53p.
- PINTO, Liliane Lopes Costa Alves. **O Desempenho de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano**. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica). São Paulo: USP, 2011. 255p.
- RIBEIRO, Maria Eliana Jubé. **Infraestrutura verde: uma estratégia de conexão entre pessoas e lugares. Por um planejamento urbano ecológico para Goiânia**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). São Paulo: FAUUSP, 2010. 179p.
- ROSSETTO, Adriana Marques. **Proposta de um Sistema Integrado de Gestão do Ambiente Urbano (SIGAU) para o Desenvolvimento Sustentável das Cidades**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 2003. 334p.
- SIMIELL, Daniel; MIZUMOTO, Camilo; SEGANTINI, Anderson da Silva; MOREIRA, Flávio. Utilização de Agregados Reciclados em Pavimentos Intertravados. **Revista Exata**. Centro Universitário Nove de Julho. São Paulo, 2007, 10p.
- SEWRPC (2006). **State-of-the-Art of Water Supply Practices. Southeastern Wisconsin Regional Planning Commission (SEWRPC)**. Technical Report N.º 43, Chapter VI-Artificial Groundwater Recharge and Management. Disponível em: <http://www.sewrpc.org/SEWRPCFiles/Publications/TechRep/tr-043_water_supply_practices.pdf> Acesso em: 11 set. 2015.