

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE UMA VALA DE
INFILTRAÇÃO COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA
EM DRENAGEM URBANA

ALBERTO DOS SANTOS FRELLO

Alberto dos Santos Frello

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE UMA VALA DE
INFILTRAÇÃO COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA EM
DRENAGEM URBANA**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Programa de Graduação
da Universidade Federal de Santa
Catarina em Engenharia Sanitária e
Ambiental

Orientador: Prof^a. Dra. Alexandra
Rodrigues Finotti

Coorientador: Ms Elisa Ferreira
Pacheco

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Frello, Alberto dos Santos

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE UMA VALA DE INFILTRAÇÃO COMO
TÉCNICA COMPENSATÓRIA EM DRENAGEM URBANA / Alberto dos
Santos Frello ; orientadora, Alexandra Rodrigues Finotti
; coorientadora, Elisa Ferreira Pacheco. - Florianópolis,
SC, 2016.

108 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

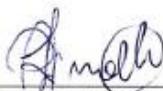
Inclui referências

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Vala de
Infiltração. 3. Técnicas Compensatórias. 4. Drenagem Urbana.
I. Rodrigues Finotti, Alexandra . II. Ferreira Pacheco,
Elisa. III. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. Título.

Alberto dos Santos Frello

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE UMA VALA DE
INFILTRAÇÃO COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA EM
DRENAGEM URBANA**

Esta Monografia foi julgada adequada para a obtenção do Título de “Engenheiro Sanitarista e Ambiental”, e aprovada em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

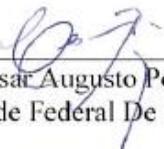


Prof.^aAlexandra Rodrigues Finotti, Dra.^a
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.^aElisa Ferreira Pacheco, Msc.^a
Coorientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Banca Examinadora:



Prof.Cesar Augusto Pompeo, Dr.
Universidade Federal De Santa Catarina



Prof.Patricia Kazue Uda, Dra.
Universidade Federal de Santa Catariana

Florianópolis, 23 de Fevereiro de 2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente aos meus pais, Silvia dos Santos e Hugo Trevisol, minha vó Uda e minha namorada, Priscila, pelo apoio e carinho que me deram durante todo curso nas melhores e piores situações e pela fé que nunca deixaram de depositar em mim.

Agradeço à minha orientadora, Professora Alexandra Rodrigues Finnoti e minha co-orientadora Elisa Ferreira Pacheco por todo o auxílio durante a produção deste trabalho.

Agradeço aos meus colegas de laboratório: Aline, Nívea, Kalil, Alice, Rafaela, Luca e Mozart. Pela companhia e ajuda durante meu período de permanência no Laboratório de Águas Urbanas.

À todos os colegas de curso e professores que me acompanharam e ajudaram durante esse período.

Agradeço também aos meus amigos: Guilherme, Jônatas, Richard e Rodrigo que foram minha família em Florianópolis e me ajudaram a superar as dificuldades.

RESUMO

O processo de urbanização tem dificultado cada vez mais a gestão da drenagem urbana. Os sistemas convencionais de drenagem urbana demonstram não serem mais suficientes, devido ao aumento da impermeabilização do solo e ao aumento das fontes de poluição difusa. Como alternativa para a solução desses problemas, as estruturas compensatórias em drenagem urbana têm sido utilizadas ultimamente, buscando controlar o excesso de escoamento superficial. Contudo, no Brasil, o uso dessas técnicas ainda não é aproveitado como deveria. Por isso, se torna clara a importância de estudos que buscam explorar e entender as características dessas técnicas. Este estudo procura analisar a aplicabilidade de uma vala de infiltração utilizada como técnica compensatória em drenagem urbana, situada no Distrito do Campeche, na cidade de Florianópolis, Santa Catarina. Para tanto será calculado o balanço hídrico de 39 (trinta e nove) eventos de precipitação e a capacidade de infiltração da vala. Após a realização do balanço hídrico, será sintetizada uma tabela de avaliação apresentando as características mais importantes do comportamento hídrico e a eficiência da vala nesses eventos. Além disso, serão feitas análises estatísticas de correlação entre parâmetros, sendo o Coeficiente de Spearman para correlação entre pares de parâmetros e a Análise de Componentes Principais para correlação de todos os parâmetros entre si. Como resultado do estudo, verificou-se que a vala de infiltração funcionou efetivamente como técnica compensatória em drenagem urbana em 49 % dos eventos.

Palavras-chave: Vala de infiltração, Técnicas compensatórias, Drenagem urbana

ABSTRACT

The urbanization process has been making increasingly difficult to manage urban drainage. Conventional urban drainage systems have demonstrated to be not enough, due to the increase of soil impermeabilization and increasing sources of diffuse pollution. As an alternative to solve these problems, compensatory structures in urban drainage have been used recently, seeking to control the surface runoff excess. However, in Brazil, the use of these techniques is not yet used as it should. Hence, it becomes clear the importance of studies that looks to explore and understand the characteristics of these techniques. This study seeks to analyze the applicability of an infiltration trench, located at Campeche District, in the city of Florianópolis, Santa Catarina. For such, the hydric balance of 39 (thirty nine) precipitation events and the infiltration capacity of the trench will be calculated. After the hydric balance, an evaluation chart will be synthesized presenting the most important characteristics of the hydric behavior and the trench efficiency on these events. In addition, statistical analysis of parameters correlation will be done, being the Spearman Coefficient used for the correlation between pairs of parameters and the Principal Components Analysis for correlation between all parameters. As a result, it was verified that the infiltration ditch has worked effectively as a compensatory technique in urban drainage in 49% of the events.

Keywords: Infiltration Ditch, Compensatory Technics, Urban drainage

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	19
1.1.	OBJETIVOS	20
1.1.1	Objetivo Geral	20
1.1.2	Objetivos Específicos	20
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1.	Sistemas de Drenagem Urbana	21
2.2.	Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana	22
2.3.	Estruturas de Infiltração	23
2.4.	Vala de Infiltração	26
2.5.	Análise Quantitativa de Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana	31
3.	METODOLOGIA	35
3.1.	Caracterização da área de estudo	37
3.2.	Instrumentalização e monitoramento da Vala de infiltração	38
3.2.1.	Caracterização da vala de infiltração	38
3.3.	Análise do comportamento hidráulico da vala	40
3.3.1.	Definição de evento de precipitação e de escoamento superficial	40
3.4.	Processamento dos dados	Erro! Indicador não definido.
3.4.1.	Balanco Hídrico	41
3.5.	Análise e Avaliação dos resultados	43
3.5.1.	Matriz de Avaliação da vala como técnica compensatória	43
3.5.2.	Análise estatística dos eventos	44
4.	RESULTADOS	44
4.1.	Balanco Hídrico	44
4.2.	Matriz de avaliação da vala de infiltração como técnica compensatória em drenagem urbana	54
4.3.	Análise Estatística Eventos	58
4.3.1.	Correlação entre os parâmetros	58
4.3.2.	Análise dos componentes principais	60
5.	CONCLUSÃO	63

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

65

APÊNDICE A – Hidrogramas e Curvas de Volumes dos eventos analisados

69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipologia das técnicas compensatórias em drenagem urbana	23
Figura 2 - Esquema geral de uma trincheira de infiltração	24
Figura 3-Plano de infiltração	25
Figura 4- Configurações de Valas de Infiltração	27
Figura 5– Síntese da Estrutura do Projeto	36
Figura 6– Localização do Distrito do Campeche.....	37
Figura 7-Área de contribuição para a vala de infiltração	38
Figura 8 – Vala de Infiltração	39
Figura 9 - Pluviógrafo e Data Logger	40
Figura 10 - Processamento dos Dados	41
Figura 11 – Hidrograma e Curva de Volumes Acumulado em 24/09/2014.....	45
Figura 12 – Hidrograma e Curva de Volumes Acumulado em 12/08/2014.....	47
Figura 13 – Hidrograma e Curva de Volumes Acumulado em 02/09/2014.....	48
Figura 14 – Hidrograma e Curva de Volumes Acumulado em 03/09/2014.....	49
Figura 15 – Hidrograma e Curva de Volumes Acumulado em 15/01/2015.....	50
Figura 16 - Descrição dos componentes principais : (a)Componentes principais referentes aos 12 parâmetros e (b) Scree Plot - gráfico de seleção de PCs significativos	60
Figura 17 - Resultados da Correlação Multivariada A) Composição dos fatores. B) Gráfico representando a relação entre fatores (fator 1e fator 2) e variáveis segundo factor loading s	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos pilotos e resultados dos projetos de técnicas compensatórias	29
Tabela 2 - Resultados quantitativos de estudos sobre técnicas compensatórias em drenagem urbana.....	33
Tabela 3 - Configuração da Vala de Infiltração.....	39
Tabela 4 - Parâmetros calculados e equações.....	42
Tabela 5 - Modelo da Matriz de Avaliação	43
Tabela 6 - Síntese do comportamento hidráulico da vala	51
Tabela 7 – Matriz de Avaliação da vala de infiltração	55
Tabela 8 – Coeficientes de Spearman.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS

% Inf – Porcentagem de Infiltração
ACP – Análise de Componentes Principais
Am – Área Molhada
CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
D – Dias antecedentes sem chuva
he – Nível Máximo de Entrada na Vala
hs – Nível Máximo de Saída na Vala
Im – Intensidade Média da Chuva
Iv – Declividade do Fundo da Vala
Pm – Perímetro Molhado
Pt – Total Precipitado
Qe – Vazão de Entrada na Vala
Qi – Vazão de Infiltração na Vala
Qs – Vazão de Saída na Vala
r – Coeficiente Linear de Pearson
R – Raio Hidráulico
Tasc – Tempo de Ascensão
Tc – Tempo de Concentração da Bacia
Tesc – Tempo de Escoamento
Tescv – Tempo de Escoamento na Vala
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
Ve – Volume de entrada na Vala
Vi – Volume de Infiltração na Vala
Vs – Volume de Saída na Vala
 Δt – Intervalo de Tempo
 ρ – Coeficiente de Spearman

1. INTRODUÇÃO

Desde o início das civilizações a humanidade teve preferência na sua instalação próxima aos cursos d'água, sendo que os rios se demonstraram como seus principais fatores de sedentarização. A disponibilidade de água favorecia seu consumo e higiene, possibilitando as atividades agrícolas, comércio e navegação (BAPTISTA; BARRAUD; NASCIMENTO, 2011).

Os episódios de inundações eram relativamente bem aceitos até o século XVIII, pois eram considerados um mal necessário, levando em conta que sem eles não haveria disponibilidade de água próximo às cidades. Somente no século XIX, com a ocorrência de grandes epidemias de cólera e tifo, a situação foi alterada, surgindo os princípios do higienismo (BAPTISTA et al, 2007).

Num contexto atual, o processo de urbanização tem dificultado ainda mais a gestão da drenagem urbana, devido à impermeabilização do solo, desmatamento, erosão e assoreamento, retificação e canalização dos cursos d'água, uso inadequado do solo, além do mau planejamento urbanístico, resultando em inundações que causam impactos tanto na saúde pública quanto na economia das cidades.

Devido a esse processo de urbanização, os ideais higienistas, baseados na evacuação rápida das águas pluviais, se mostraram limitados quanto a sua eficiência, tornando-se necessária a busca de novas opções para a gestão da drenagem urbana. A partir dessa necessidade, na década de 70, surgiram os conceitos de “técnicas alternativas” ou “compensatórias” em drenagem urbana. Tais técnicas buscam o controle do excesso de escoamento de águas pluviais resultantes da impermeabilização do solo.

Nos países desenvolvidos, essa nova abordagem sobre drenagem urbana já está sendo aplicada amplamente. Porém, em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, como o Brasil, a gestão da drenagem urbana ainda é baseada, em sua maioria, nos sistemas clássicos, sem levar em conta as técnicas alternativas.

Devido a essa carência de estudos e implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana no Brasil, se mostra essencial a busca por novas opções para resolver tais problemas. Este estudo tem como objetivo avaliar quantitativamente uma vala de infiltração pluvial, localizada no Distrito do Campeche, Florianópolis, SC. Esta pesquisa foi um recorte no projeto “Avaliação da contaminação de solos e água subterrâneas proveniente de estruturas de controle da drenagem urbana baseadas em infiltração”, financiado pela Cnpq e orientado pela pela

Professora Dra. Alexandra Rodrigues Finotti, do departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

1.1. OBJETIVOS

Com base no exposto acima, o desenvolvimento desta pesquisa buscará atingir os seguintes objetivos:

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar quantitativamente uma vala de infiltração pluvial, localizada no Distrito do Campeche, Florianópolis – SC.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o comportamento Hidráulico da vala de infiltração-Balanco Hídrico;
- Analisar a vala de infiltração como Técnica Compensatória de Drenagem Urbana;
- Avaliar a correlação entre os dados quantitativos de precipitação e escoamento superficial

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Sistemas de Drenagem Urbana

A intensa urbanização observada nas últimas décadas tem causado uma mudança das características do ambiente das cidades, devido à implantação de indústrias, moradias, espaços públicos, entre outros. O processo de urbanização das bacias hidrográficas causa a remoção da cobertura vegetal, a terraplanagem das áreas e a impermeabilização do solo. Segundo Tucci (2009), as consequências da urbanização que interferem na drenagem urbana estão diretamente relacionadas como o incremento do escoamento superficial.

De acordo com Pinto e Pinheiro (2006), sistema de drenagem urbana é o conjunto dos componentes da infraestrutura urbana utilizados para a realização da coleta, transporte e lançamento final das águas superficiais, de forma a diminuir os prejuízos decorrentes das inundações e riscos às populações expostas. Eles visam à melhoria da qualidade de vida da população existente nas cidades.

As medidas de controle de inundações são divididas entre estruturais e não estruturais. As medidas estruturais se caracterizam pela implantação de obras públicas para a retenção ou contenção do escoamento, que causam modificações do sistema natural. Já as medidas não estruturais são medidas de natureza legal e institucional que não alteram a morfologia da região, diminuindo os impactos da ação antrópica nas condições naturais (SMDU, 2012).

Os sistemas clássicos de drenagem urbana, através de medidas estruturais, são baseados nas ideias higienistas, as quais defendiam a ideia de uma evacuação rápida das áreas urbanas, através de condutos funcionando por gravidade. Estes tipos de sistemas são divididos em micro drenagem e macro drenagem. Os sistemas de micro drenagem são constituídos por sarjetas e condutos para o transporte e bocas de lobo para a captação das águas superficiais; os sistemas de macro drenagem constituídos por galerias e canais abertos (BAPTISTA; BARRAUD; NASCIMENTO, 2011).

Segundo Tucci (2012), um dos impactos da urbanização é a impermeabilização do solo e a aceleração do escoamento por condutos e canais. Este processo causa o aumento da vazão máxima, da velocidade de escoamento superficial e da quantidade de resíduos sólidos nos sistemas de drenagem; além da degradação da qualidade das águas pluviais. Tendo como resultados: a erosão do solo, levando sedimentos

para o sistema de drenagem; redução da capacidade de escoamento nos sistemas de drenagem; e o aumento da probabilidade de inundações.

Devido a esses problemas, o modelo clássico de drenagem urbano não se mostrou totalmente eficaz, levando à necessidade de busca de outros modelos para a drenagem urbana. Foi assim que foi desenvolvida outra abordagem na década de 70, principalmente na Europa e na América do Norte, surgindo a ideia de “tecnologias alternativas” e “compensatórias” de drenagem urbana (BAPTISTA; BARRAUD; NASCIMENTO, 2011).

2.2. Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana

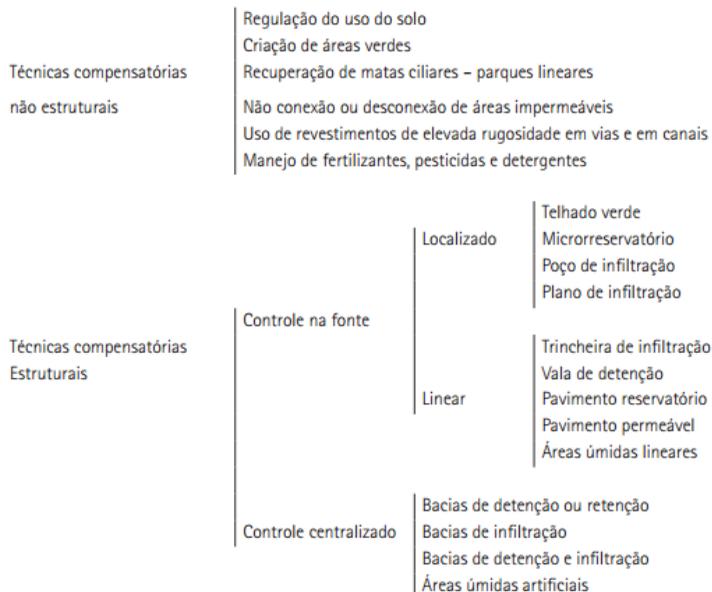
Técnicas compensatórias em drenagem urbana são métodos de drenagem que procuram compensar o impacto da urbanização nos processos hidrológicos, controlando o excesso de escoamento superficial decorrente da impermeabilização causada pela urbanização. Tais técnicas utilizam de soluções tecnológicas que promovem a infiltração e o aumento do tempo de circulação das águas pluviais (BAPTISTA; BARRAUD; NASCIMENTO, 2011). São técnicas de drenagem urbana que tem como objetivo adaptar o planejamento urbano às características do comportamento hídrico das bacias em que estão instaladas, promovendo seu equilíbrio ecológico (SOUSA; MORAIS; ALMEIDA, 2015).

Segundo Righetto (2009), há duas maneiras principais de classificar as técnicas compensatórias, sendo uma baseada no modo de influência na origem do escoamento superficial proveniente das chuvas e outra baseada na sua localização dentro da bacia. Do primeiro ponto de vista elas podem ser classificadas como estruturais ou não estruturais, e do segundo ponto de podem ser classificadas como de controle na fonte ou de controle centralizado. Estas técnicas de controle na fonte e centralizadas não deixam de ser medidas estruturais. A figura (1) apresenta um esquema com os tipos de técnicas compensatórias em drenagem urbana. De acordo com Baptista, Barraud e Nascimento (2011), as características para cada um desses tipos de técnicas estruturais são as seguintes:

- **Técnicas de controle na fonte:** implantação em pequenas parcelas, ou seja, em pequenas superfícies de drenagem;

- **Técnicas lineares:** inseridas em conjunto com o sistema viário, tendo uma grande quantidade de áreas de drenagem associadas;
- **Técnicas de controle centralizado:** normalmente utilizadas junto a grandes áreas de drenagem.

Figura 1 - Tipologia das técnicas compensatórias em drenagem urbana



Fonte: Righetto (2009)

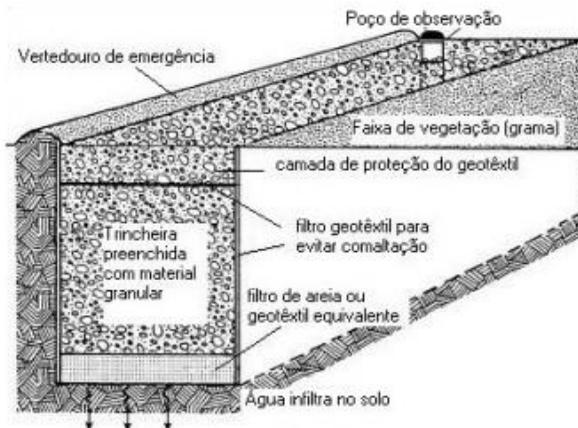
2.3. Estruturas de Infiltração

A infiltração da água no solo é um fenômeno que depende de suas características hidrodinâmicas, sua estrutura e textura, além de suas condições iniciais e de vazão de alimentação (BAPTISTA; BARRAUD; NASCIMENTO, 2011). Os sistemas de infiltração de águas pluviais são complementares às redes de drenagem urbana. A infiltração permite a diminuição do volume de escoamento que é descarregado nas galerias pluviais e sarjetas (REIS; OLIVEIRA; SALES, 2008).

Segundo Silva (2006), as principais estruturas de infiltração são:

- **Trincheiras/valas de infiltração:** trincheiras de infiltração são valetas lineares preenchidas por seixo rolado, brita, entre outros (figura 2). Na interface trincheira/solo é colocada uma membrana geotêxtil. No caso das valas de infiltração não há, necessariamente, material granular e membrana geotêxtil.
- **Poços de infiltração:** estruturas pontuais que ocupam pequenas áreas não apresentam problemas na sua integração com o ambiente urbano. São apropriados para locais onde a superfície possui pouca capacidade de infiltração. Porém, como desvantagem, há a necessidade de manutenção periódica.
- **Planos de infiltração:** são áreas naturais utilizadas para a infiltração do escoamento que não foi possibilitada por uma área impermeável, como residências ou edifícios (Figura 3).
- **Superfícies permeáveis:** são estruturas responsáveis pela infiltração direta das águas pluviais sobre a sua superfície. Podem demonstrar varias configurações, como superfícies de material granular, superfícies cobertas por vegetação, superfícies revestidas por materiais permeáveis ou pavimentos permeáveis.

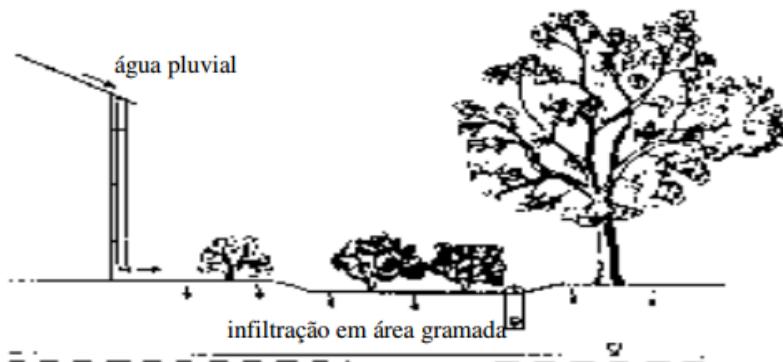
Figura 2 - Esquema geral de uma trincheira de infiltração



Fonte:

Schueler, *apud* Silva (2006) (1987)

Figura 3-Plano de infiltração



Fonte: Urbonas e Stahre (1993), *apud* Silva (2006)

De acordo com Carvalho, Júnior e Carvalho (2012) principais vantagens e desvantagens do uso de estruturas de infiltração são:

- Vantagens
 - a) Infiltração de parte das águas pluviais para o subsolo;
 - b) Podem tornar o ambiente esteticamente agradável;
 - c) Permitem o uso de materiais descartáveis ao invés de agregados naturais;
 - d) Possibilidade de implantação próxima ao lençol freático (com devidos cuidados).

- Desvantagens
 - a) Limitação topográfica. Não devem ser instaladas em terrenos com inclinação menor que 0,1%;
 - b) Possibilidade de redução da capacidade de infiltração, através do transporte de materiais sólidos para a zona de infiltração;
 - c) Quando abertas, há a necessidade de poda periódica das áreas gramadas, resultando em custo de manutenção;

- d) Quando é usado agregado graúdo, este pode interferir na capacidade de infiltração da estrutura, devido à compactação do solo pelo seu peso.

2.4. Vala de Infiltração

Valas de infiltração são mecanismos utilizados como técnica compensatória em drenagem urbana, compostas por depressões escavadas linearmente no solo e taludes inclinados, podendo ser preenchidas com agregado graúdo ou recobertas com vegetação. Elas atuam na drenagem urbana através da infiltração das águas pluviais ao longo do seu comprimento, além de diminuir a velocidade do escoamento e acumular o volume de água até sua drenagem ou infiltração (CARVALHO; JUNIOR; CARVALHO, 2012). De acordo com Pinto (2011), elas são as técnicas compensatórias mais antigas em drenagem urbana, funcionando inicialmente apenas para transporte e infiltração da vazão afluente. Uma característica importante das valas de infiltração é a facilidade da sua integração com o ambiente urbano, podendo ser instaladas ao longo das vias de trânsito, jardins, terrenos esportivos ou áreas verdes (BAPTISTA; BARRAUD; NASCIMENTO, 2011).

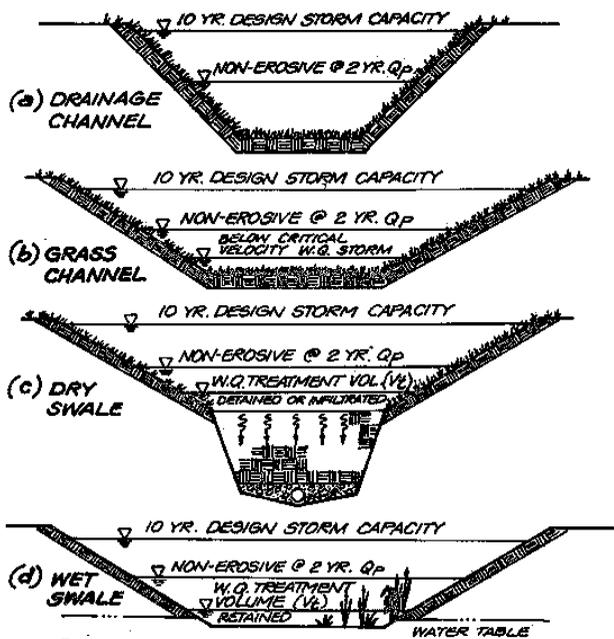
As valas de infiltração funcionam através da introdução das águas de forma direta por escoamento superficial até ela. O armazenamento é feito no interior da estrutura e fica exposto ao ar livre. A evacuação das águas pluviais é efetuada por infiltração para o interior da vala e por escoamento superficial diretamente para o corpo receptor (BAPTISTA; BARRAUD; NASCIMENTO, 2011).

Além de atuar no controle do escoamento superficial, as valas de infiltração também atuam no tratamento da água resultante da drenagem, evitando a contaminação dos lençóis subterrâneos. Uma vala de infiltração de comprimento entre 30m-60m pode remover entre 60%-70% de sólidos e 30%-40% de metais, hidrocarbonetos e bactérias (BUTLER; DAVIS, 2004 apud ELLIS, 1992). De acordo com Fletcher et al. (2002) apud Butlers e Davies (2004), uma vala de infiltração pode remover entre 73%-94% de sólidos totais e 57%-88% de sólidos suspensos, além de uma remoção significativa de nitrogênio e fósforo total.

De acordo com Pacheco (2015), há vários tipos de configuração para valas de infiltração. Porém, a geometria da seção horizontal delas é, na maioria, semelhante, demonstrando uma seção transversal trapezoidal ou parabólica com inclinações laterais relativamente baixas. As inclinações baixas de taludes propiciam o aumento do perímetro molhado da vala, resultando na diminuição da velocidade do escoamento

superficial e no aumento da superfície de contato com a vegetação de cobertura, ajudando na infiltração da água pluvial. Na figura 4 estão apresentados diferentes configurações de valas de infiltração.

Figura 4- Configurações de Valas de Infiltração



Fonte:

Claytor (1996), apud Pacheco (2015)

Segundo Pinto (2011), as principais vantagens e desvantagens da utilização de valas de infiltração como técnicas compensatórias em drenagem urbana são as seguintes:

- Vantagens
 - a) Diminuição dos picos de enchentes, aumentando o tempo de concentração e diminuindo a velocidade de escoamento;
 - b) Retirada de poluentes do escoamento superficial;
 - c) Possibilidade de recarga do lençol freático;
 - d) Fácil execução;
 - e) Baixo custo de construção e manutenção;

f) Integração paisagística e valorização do espaço urbano.

- Desvantagens

- a) Não é recomendada a sua utilização em situações de grande fluxo e alta velocidade de água pluvial, podendo resultar na erosão da vala;
- b) Não deve ser implantada em terrenos muito íngremes e que possuem lençol freático a menos de 1,2 m do fundo da vala;
- c) Necessidade de terrenos com solos de permeabilidade suficiente;
- d) Risco de entupimento;
- e) Necessidade de manutenção periódica;
- f) Provocam o eventual acúmulo de lixo.

Há poucos estudos práticos sobre valas de infiltração, porém Pacheco (2015) realizou em seu estudo um levantamento de informações sobre os pilotos de técnicas compensatórias de infiltração no Brasil, considerando os aspectos físicos, de capacidade de infiltração, de características hidrogeológicas, de métodos de dimensionamento, de qualidade do escoamento contribuinte e das formas de avaliação da colmatção, sendo estas informações apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características dos pilotos e resultados dos projetos de técnicas compensatórias

Referência	Dimensionamento hidrológico e hidráulico.	Monitoramento Quali-quantitativo dos pilotos	Principais resultados
<p>TI, telhadoverde (Ohnuma Jr, 2008) SaC</p>	<p>Trincheira: curva envelope, IDF São Carlos. Reservatório pluvial: Rippl demanda constante e chuva mensal. Telh. verde: balanço hídrico.</p>	<p>Volumes efluentes e afluentes da trincheira de infiltração; Hidrometeorologia; escoamento superficial telhado edificação.</p>	<p>Eficiência hídrica na saída do lote foi de 35% maior com medidas não-convencionais do que com instalações convencionais de uso da água; O estudo da trincheira de infiltração mostrou-se 85% mais eficiente do que uma residência sem controle na fonte</p>
<p>Trinch. vala de detenção e boca-de-lobo. Silva et al., 2009. BH</p>	<p>IDF Belo Horizonte, Tr 10 anos; hidrograma triangular e vazão de pico por método racional; propagação de cheia na estrutura por Puls.</p>	<p>Precipitação; vazão de entrada: calha Parshall; NA em cada dispositivo: sensores piezoresistivos. Qualidade entrada e saída com amostrador automático na entrada.</p>	<p>A eficiência inicial da vala de detenção apresenta comportamento padronizado para remoção de sólidos, a eficiência da vala começa a entrar em consonância com os dados pluviométricos e com o tempo de detenção. Águas de escoamento superficial não atendem os limites da classe 2 (CONAMA). Elevado índice de coliformes semelhante ao esgoto doméstico. O sistema se mostrou interessante para gerenciar poluição.</p>
<p>Gutierrez, 2011 SaC</p>	<p>Curva IDF Distrito Federal, Tr 2 anos. CE 0,95. Curva envelope.</p>	<p>Turb., cor, condut., ST, STD, DQO, Cl-, SO4 2-, NO3, NH4+,</p>	<p>Eficiência de remoção dos parâmetros analisados: zinco</p>

	Infiltração: coef. depermeab. x área infiltração.	colif.totais, colif.fecais, Cd, Cu, Pb e Zn	(90,89%), cobre (88,31%), condutividade elétrica (31,40%), nitrogênio amoniacal (24,32%) e cloreto (5,88%).
Lucas, 2011 SaC	Vol. armazen.: curva envelope, vazão de infiltração pela equação de Darcy.	Precipitação, vazão afluente; nível de água na trincheira e na vala de infiltração. Avaliação de geotêxtil e finos.	Sem registros de extravasamento do sistema estrutura superdimensionada cenário atual; Resultados de eficiência obtidos por modelagem e simulações; Após a construção verificou-se redução de finos de 29% para areia e 58% para brita; Geotêxtil: colmatação redução média de 45% da permeabilidade.
Trincheira e Vala Belotti, 2011	Trinch.infiltração: 20 x 1 m de comprimento, 1,50 altura; Vala de detenção: 12 x 3 m, 1,5	Vazão afluente: calha. Saída da trincheira: infiltração; saída da vala: infiltração e orifício para	O solo da área de estudo apresentava capacidade de retenção dos metais das águas de drenagem. Mas parte dos metais infiltrou no perfil do solo. Nos ensaios de lixiviação, os teores de cromo,

Fonte: Pacheco (2015)

2.5. Análise Quantitativa de Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana

De acordo com Macedo et al. (2015), o balanço hídrico de técnicas compensatórias é importante para o conhecimento da sua verdadeira capacidade de retenção hidráulica e sua influência no processo de infiltração de águas pluviais no solo. Ele exhibe, basicamente, o volume de água que é escoado, infiltrado e armazenado (RONQUIM, 2014).

Ball e Rankin (2009) avaliaram a performance hidrológica de um pavimento permeável em Manly, na Austrália. Eles compararam as condições de infiltração antes e depois da instalação do pavimento permeável, observando uma capacidade de infiltração da bacia de 45% após a instalação do pavimento, em contraste com os 3% antes da instalação. Castro (2011), analisando também o uso de pavimentos permeáveis em Porto Alegre, calculou os Coeficientes de Escoamento Superficial os eventos estudados, resultando num coeficiente máximo de 61,4% e uma média de aproximadamente 30 %.

Beecham, et al (2012), avaliaram quali-quantitativamente o desempenho de uma bacia de detenção em Adelaide na Austrália. Após a análise de 6 eventos, seus resultados demonstraram que a bacia obteve uma capacidade mínima de infiltração de 3%, uma média de 53% e máxima de 100%.

O estudo de Lucke et al (2014) foi baseado na remoção de poluentes e na performance de redução hidráulica de uma vala de infiltração. Em se tratando da análise quantitativa, seu objeto de estudo alcançou uma redução média do escoamento superficial de 52 % e uma redução da vazão de pico de 61%. Stagge (2006), após avaliar o desempenho de uma vala de infiltração por 1,5 anos alcançou resultados de 50 a 53% de redução da vazão de pico e 46 a 54% do volume total de escoamento.

Tecedor (2014) monitorou o funcionamento de um plano de detenção em São Carlos, SP. Seus resultados demonstraram um bom funcionamento da estrutura, sendo que não ocorreu extravasamento em nenhum dos eventos, detendo até 77 % do escoamento superficial direto nos eventos selecionados.

Através da análise dos resultados dos autores acima, foi sintetizada uma tabela resumo (Tabela 2) apresentando o tipo de estrutura de drenagem, número de eventos estudados e porcentagem de infiltração mínima, média e máxima alcançada. Como alguns resultados foram apresentados de forma diferente, como coeficiente de escoamento superficial, volumes de precipitação e volumes escoados, foi necessário

algumas conversões para exibí-los em forma de porcentagem de infiltração.

Tabela 2 - Resultados quantitativos de estudos sobre técnicas compensatórias em drenagem urbana

Autor	Estrutura	Nº de Eventos	% Inf mín¹	% Inf máx²	% Inf méd³	Local
Beecham et al (2012)	Bacia de detenção	6	3	82	54	Adelaide (Austrália)
Ball e Tankin (2009)	Pavimento Permeável	22	-	95	100	Manly (Austrália)
Lucke et al (2012)	Vala de Infiltração	8	12	100	53	Sunshine Coast (Austrália)
Stagge (2006)	Vala de Infiltração	22	46	54	-	Savage (Estados Unidos)
Castro (2011)	Pavimento Permeável	15	39	100	71	Porto Alegre (Brasil)
Tecedor (2014)	Plano de Infiltração	32	1	77	33	São Carlos (Brasil)

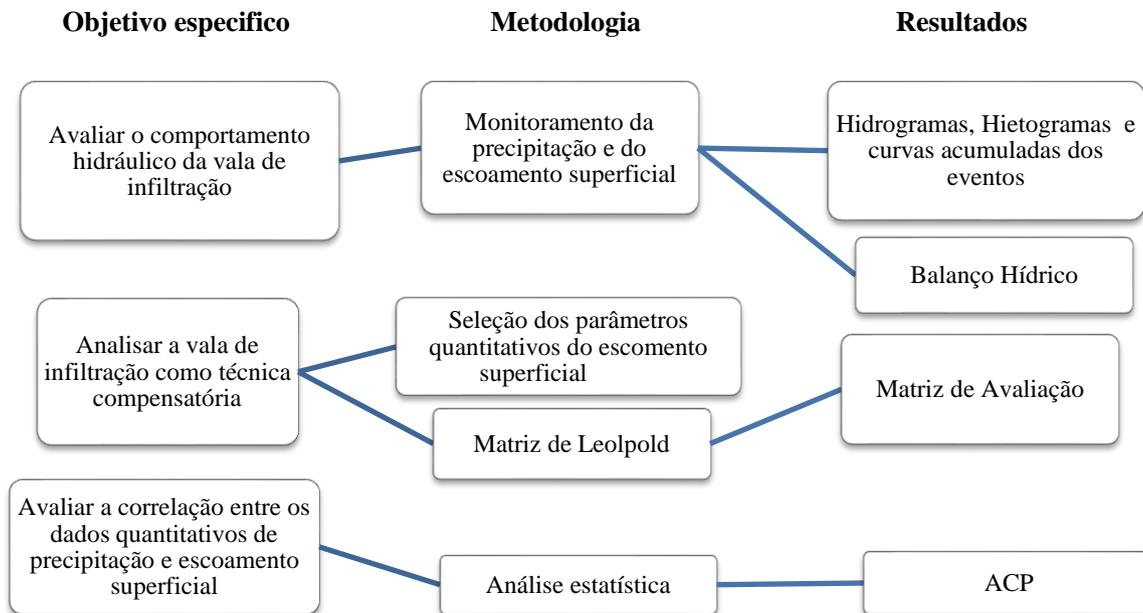
(1) Porcentagem mínima de infiltração, (2) Porcentagem máxima de infiltração, (3) porcentagem média de infiltração

3. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido dando continuidade no projeto de dissertação “Avaliação quali-quantitativa do desempenho de uma vala de infiltração de águas pluviais implantada em Florianópolis” (PACHECO,2015), como um dos elementos de um projeto de maior abrangência chamado “Contaminação de Solos e Águas Subterrâneas Proveniente de Estruturas de Controle da Drenagem Urbana Baseadas em Infiltração”, coordenado pela Professora Alexandra Rodrigues Finotti, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, e financiado pelo CNPq.

Seu foco é avaliar a eficiência de uma vala de infiltração como técnica compensatória em drenagem urbana no quesito de capacidade de infiltração do escoamento superficial. O trabalho foi desenvolvido em três etapas: seleção dos eventos de precipitação, processamento dos dados e , como apresentado na Figura 5.

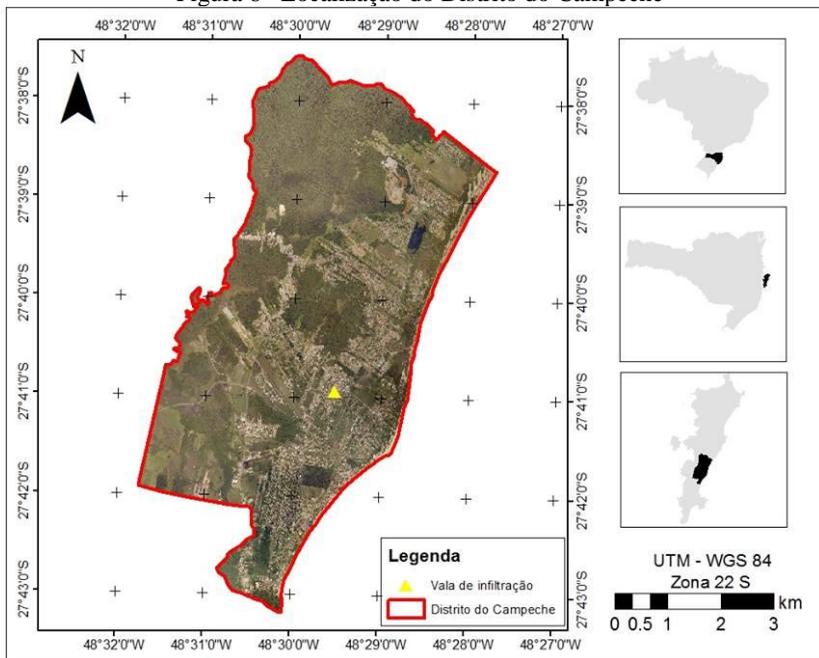
Figura 5– Síntese da Estrutura do Projeto



3.1. Caracterização da área de estudo

A vala de infiltração esta localizadono Distrito do Campeche, localizado na parte sul da região insular de Florianópolis, SC. Mais precisamente, sua localização está entre as coordenadas 27°10' e 27°50' Sul, e entre 48°25' e 48°35' Oeste (FLORIANÓPOLIS, 2008). A Figura 6 apresenta a localização do Distrito do Campeche.

Figura 6– Localização do Distrito do Campeche



A vala de infiltração utilizada para esse estudo está localizada nas margens da Avenida Pequeno Príncipe, Quilômetro 2. Sua área de contribuição direta está englobada pela Bacia Hidrográfica do Rio Tavares e possui aproximadamente 18.000 m² (Figura 7). Esta região demonstrou nos últimos anos um crescente desenvolvimento urbano, com a instalação de um supermercado, posto de gasolina, além de condomínios habitacionais.

Figura 7-Área de contribuição para a vala de infiltração



Fonte: Pacheco (2015)

3.2. Instrumentalização e monitoramento da Vala de infiltração

3.2.1. Caracterização da vala de infiltração

Esta vala de infiltração (Figura 8) é utilizada pela Prefeitura de Florianópolis desde a década de 70. O sistema de drenagem da região é composto por uma série de galerias que iniciam no começo da área de contribuição e chegam até a vala em uma tubulação de 60 cm a montante e, depois da passagem pela vala, continua com uma tubulação de 50 cm a jusante. O formato da vala é trapezoidal, o fundo da vala e solo arenoso e o talude com gramínea. Sendo apresentado na tabela 3 as dimensões da estrutura monitorada.-

Figura 8 – Vala de Infiltração

**Tabela 3 - Configuração da Vala de Infiltração**

Dimensões da Vala de Infiltração	
Comprimento (m)	10,5
Largura Superior (m)	2,9
Largura Inferior (m)	1,6
Profundidade (m)	1,1
Área do Fundo (m ²)	16,8
Inclinação (m/m)	0,03

Fonte: Pacheco (2015)

Foram utilizados os seguintes instrumentos para o monitoramento da estrutura:

- Pluviógrafo - SL200P (Figura 9): utilizado para a obtenção dos dados de variação de precipitação. Foi instalado em um lote residencial ao lado da vala de infiltração;
- Sensor de Nível Submersível SL 2000NV: na tubulação a montante e a jusante da vala foram instalados dois prolongamentos de aço inox. Nesses prolongamentos foi instalado um sensor de nível em cada, para possibilitar o cálculo da vazão de entrada e de saída da vala;
- Data Logger: esse aparelho foi ligado ao pluviógrafo e aos sensores de nível. Com ele foi possível armazenar e coletar os dados da precipitação e nível de entrada e saída da vala;

Figura 9 - Pluviógrafo e Data Logger



3.3. Análise do comportamento hidráulico da vala

3.3.1. Definição de evento de precipitação e de escoamento superficial

O período de amostragem para essa pesquisa foi de abril de 2014 a janeiro de 2016. Não foi possível coletar os dados de todos os eventos de precipitação, devido a problemas técnicos nos sensores e no datalogger. Assim dos 60 eventos monitorados foram selecionados 39 eventos para as análises quantitativas da estrutura de infiltração. Cada evento foi definido pelo tempo de escoamento superficial, ou seja do início da chuva até cessar a variação do sensor de nível a montante da vala de infiltração.

Os dados de precipitação e escoamento superficial foram coletados de acordo com a Figura 10:

Figura 10 - Processamento dos Dados

Precipitação (mm)	<ul style="list-style-type: none"> • Valores obtidos pelo pluviógrafo e registrados pelo datalogger
Tempo de Precipitação (min)	<ul style="list-style-type: none"> • Intervalo de tempo entre o início e o fim da precipitação
Intensidade média (mm/h)	<ul style="list-style-type: none"> • $Im = \frac{P}{T} \cdot 60$
Total precipitado (mm)	<ul style="list-style-type: none"> • Soma de todas a precipitações obtidas pelo pluviógrafo durante o evento
Tempo de Escoamento (min)	<ul style="list-style-type: none"> • Intervalo de tempo entre o início da precipitação e o fim do escoamento na entrada da vala (obtido pelo sensor de nível a montante)
Tempo de Escoamento na Vala (min)	<ul style="list-style-type: none"> • Intervalo de tempo entre o início do escoamento na entrada da vala e o fim do escoamento na saída da vala
Tempo de Ascensão (min)	<ul style="list-style-type: none"> • Intervalo de tempo entre o início da precipitação e o primeiro pico observado no hidrograma do evento

3.3.2. Balanço Hídrico

Foi utilizado o *Software Excel 2010* para o processamento dos dados dos sensores de nível para estimar os valores de: vazão de entrada e de saída da vala; vazão, infiltração; e os volumes acumulados de entrada

e saída da vala, e infiltração. Através desses resultados foram plotados os hidrogramas dos eventos e os gráficos dos volumes acumulados. Para o cálculo da vazão de entrada (Q_e), foi estimado o coeficiente de Manning de 0,061, através do teste dos flutuadores. Para a vazão de saída, foi adotado 0,025 devido à composição do solo, sendo arenoso descoberto (PACHECO 2015). Os demais parâmetros e fórmulas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 4 - Parâmetros calculados e equações

Parâmetro Encontrado	Equação	Termos Integrantes
Perímetro Molhado (P)	$P = \alpha \cdot \frac{D}{2}$	P = Perímetro molhado (m) α = Ângulo central molhado (°) D = Diâmetro da tubulação (m)
Área Molhada (A_m)	$A_m = \frac{D}{8} \cdot (\alpha - \text{sen}\alpha)$	A_m = Área molhada (m ²) D = Diâmetro da tubulação (m) α = Ângulo central molhado (°)
Raio Hidráulico (R)	$R = \frac{A_m}{P}$	R = Raio hidráulico (m) A_m = Área molhada (m ²) P = Perímetro Molhado (m)
Vazões de entrada e Saída (Q_e e Q_s)	$Q = A \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$	Q = Vazão (m ³) n = Coeficiente de manning R = Raio hidráulico (m) I = Declividade do fundo da vala (m/m)
Vazão de Infiltração (Q_i)	$Q_i = Q_e - Q_s$	Q_{inf} = Vazão de infiltração (m ³ /s) Q_e = Vazão de entrada na vala (m ³ /s) Q_s = Vazão de saída na vala (m ³ /s)

Volumes de Entrada, Saída e Infiltração (V_e , V_s , V_i)	$V = Q \times \Delta t \times 60$	$V = \text{Volume (m}^3\text{)}$ $Q = \text{Vazão (m}^3\text{/s)}$ $\Delta t = \text{Intervalo de tempo de leitura do pluviógrafo (min)}$
---	-----------------------------------	---

3.4. Análise e Avaliação dos resultados

3.4.1. Matriz de Avaliação da vala como técnica compensatória

À Vala de Infiltração foi avaliada como técnica compensatória de infiltração, por intermédio de uma matriz de avaliação baseada na Matriz de Leopold et al (1971), aplicada a cada evento, considerando a redução do volume do escoamento superficial, adiantamento do pico de vazão, eficiência na infiltração e risco a população. Sendo estes parâmetros caracterizados de acordo com a Tabela 4.

Tabela 5 - Modelo da Matriz de Avaliação

		Eficiência como Técnica Compensatória de Infiltração
Redução do volume do escoamento	$V_i < V_s$	Baixa
	$V_i > V_s$	Elevada
Adiantamento do Pico de Vazão	$t_{asc} < t_c$	Elevada
	$t_{asc} > t_c$	Baixa
Eficiência na Infiltração (% do V_{inf})	0-30	Baixa
	30-60	Média
	60-90	Elevada
Risco a população devido o transbordamento	$h_s < 0,5$	Baixa
	$h_s > 0,5$	Elevada

.Para construir a matriz foi avaliado se o volume infiltrado foi superior ao volume escoado pela pelo exutório da vala, avaliando-se assim se a infiltração foi o principal mecanismo de controle do escoamento superficial, ou se a vala estava funcionando somente como uma estrutura de detenção , auxiliando no amortecimento da cheia.

Foi utilizado o método

3.4.2. Análise estatística dos eventos

Nesta etapa foi feita a correlação entre os parâmetros, de modo a encontrar a intensidade da interferência dos parâmetros entre si e melhor compreender o comportamento da vala de infiltração como técnica compensatória de drenagem urbana.

Primeiro os parâmetros foram correlacionados aos pares, através do coeficiente de Spearman (ρ) e será definido seu grau de relação não linear. Em seguida será feita uma Análise de Componentes Principais (ACP) para relacionar e encontrar padrões entre todos os parâmetros simultaneamente. Para ambos os testes, foi utilizado o Software Statistica8.

Para a correlação entre duas variáveis o método mais comum utilizado hoje em dia é o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson (r) (LIRA, 2004) Porém a utilização deste método demanda alguns requisitos, como dados dispostos em distribuição normal e relação linear entre os parâmetros (REGRA, 2010) Como a maioria dos parâmetros utilizados nesse trabalho não possui distribuição normal, foi escolhido o coeficiente de Spearman, por ser um método que não exige que os dados estejam em distribuição normal.

Já a Análise de Componentes Principais pode ser entendida como uma técnica de análise multivariada que possibilita a determinação de variáveis de maior influência na formação de cada parâmetro. Ela é usada hoje em dia, principalmente, para situações nas quais os parâmetros originam de processos onde varias características deverão ser observadas ao mesmo tempo (VICINI, 2005) .

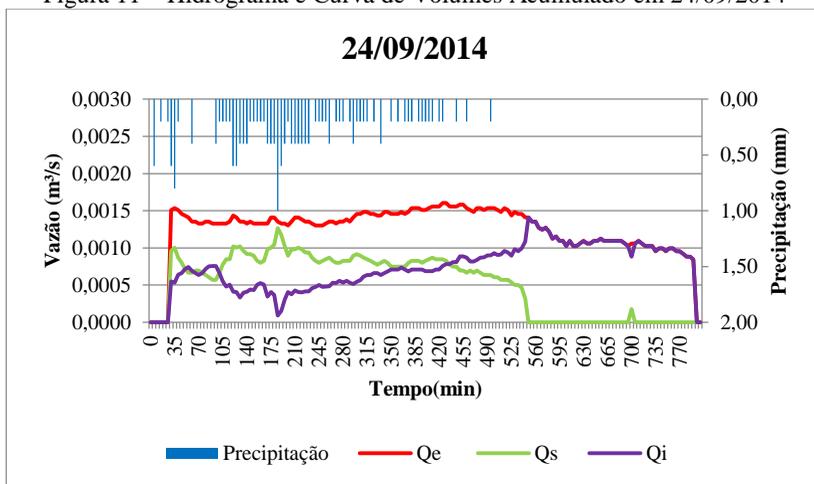
4. RESULTADOS

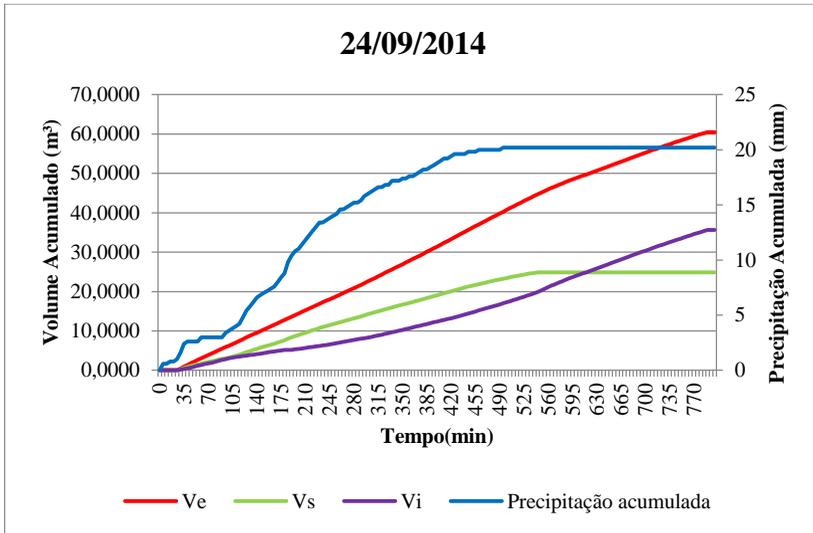
4.1. Balanço Hídrico

Os gráficos com os hidrogramas e volumes acumulados dos eventos selecionados estão apresentados no Apêndice 1.As variáveis exibidas nos gráficos citados acima são: Precipitação ; vazão de entrada na vala (Q_e); vazão de saída na vala (Q_s); vazão de infiltração na vala (Q_i); precipitação acumulada; volume total de entrada na vala (V_e); volume total de saída na vala (V_s) e volume total de infiltração na vala (V_i). A Tabela 5 apresenta a síntese do comportamento hidráulico da vala.

Nos eventos dos dias 24/9/2014, 11/10/2014, 3/12/2014, 12/12/2014, 04/02/2015, 09/03/2015 e 19/03/2015 houve precipitações de grandes durações, porém intensidades de chuvas baixas, além de mais de um dia de estiagem. Na Figura 11 estão apresentados os gráficos de hidrogramas e volumes acumulados do evento do dia 24/9/2014, os demais estão disponíveis no apêndice. O número alto de dias de estiagem pode ter feito com que o nível da água subterrânea abaixasse e, junto com a intensidade baixa da precipitação, possibilitasse um volume de infiltração maior do que o volume de saída da vala, promovendo um bom funcionamento da vala.

Figura 11 – Hidrograma e Curva de Volumes Acumulado em 24/09/2014





Nos eventos dos dias 12/08/2014 (Figura 12), 16/08/2014, 25/08/2014 e 25/08/2015, mesmo apresentando intensidades baixas de chuva, número alto de dias de estiagem e vazões de pico de entrada e saída da vala baixas, o volume de infiltração foi menor do que o volume de saída da vala – Os gráficos dos outros eventos citados acima estão disponíveis no apêndice. O que não é um comportamento esperado, demonstrando uma baixa eficiência da vala como técnica compensatória em drenagem urbana. Por outro lado, nos dias 02/09/2014 (Figura 13), 13/02/2015, e 15/03/2015 a vala se comportou de modo contrário, tendo uma boa infiltração apesar de altas intensidades.

Figura 12 – Hidrograma e Curva de Volumes Acumulado em 12/08/2014

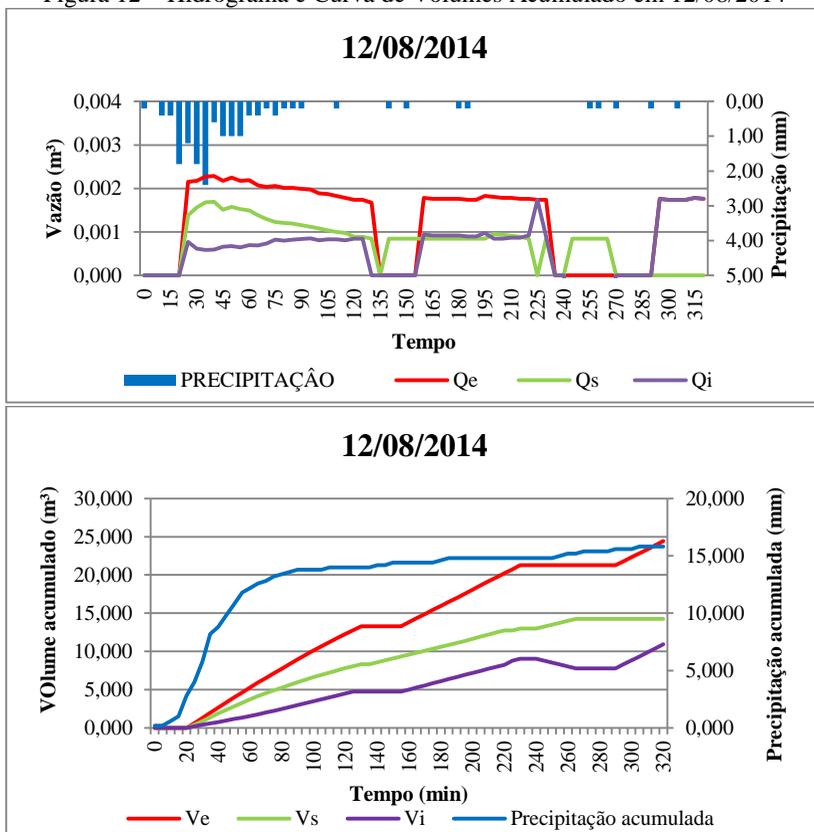
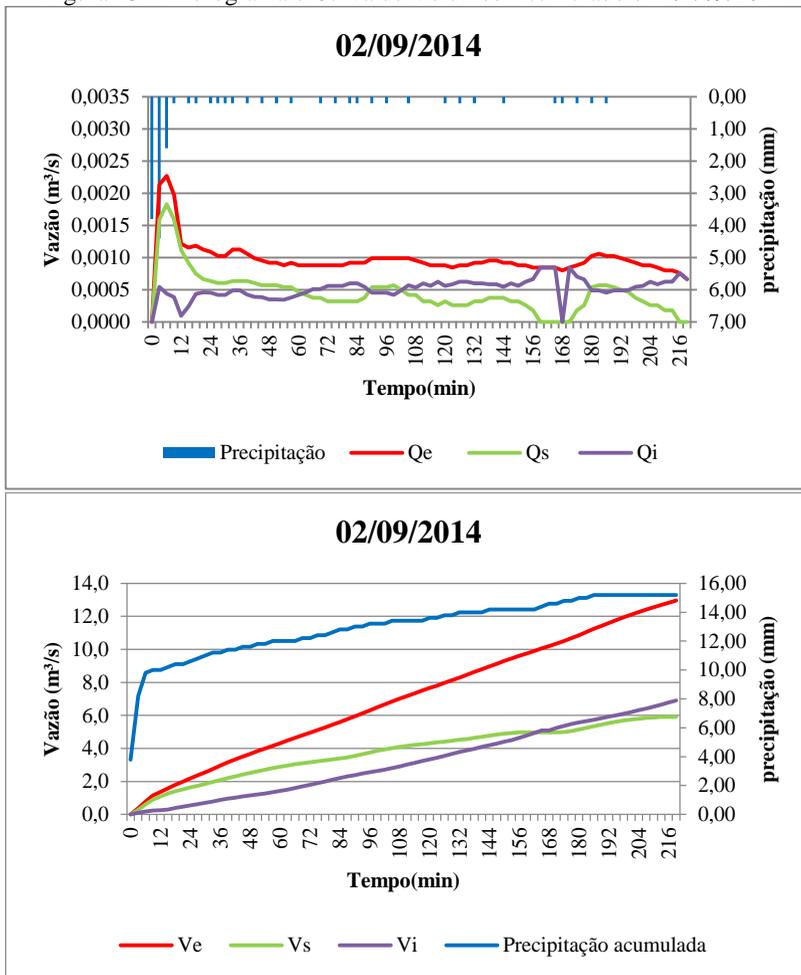


Figura 13 – Hidrograma e Curva de Volumes Acumulado em 02/09/2014



O bom funcionamento da vala nos dias 03/09/2014 (Figura 14), 13/12/2014, 21/08/2015, 22/08/2015, 26/08/2015, 26/11/2015 e 07/01/2016 pode ser explicado pelas relativas baixas intensidades médias de chuva e baixas vazões de pico de entrada e saída da vala – os demais gráficos dos eventos citados acima estão disponíveis no apêndice. Já no dia 15/01/2015 (Figura 15), o seu bom funcionamento poderia ser explicado pelos numerosos dias de estiagem, mesmo tendo intensidade alta de chuva e vazões de pico altas.

Figura 14 – Hidrograma e Curva de Volumes Acumulado em 03/09/2014

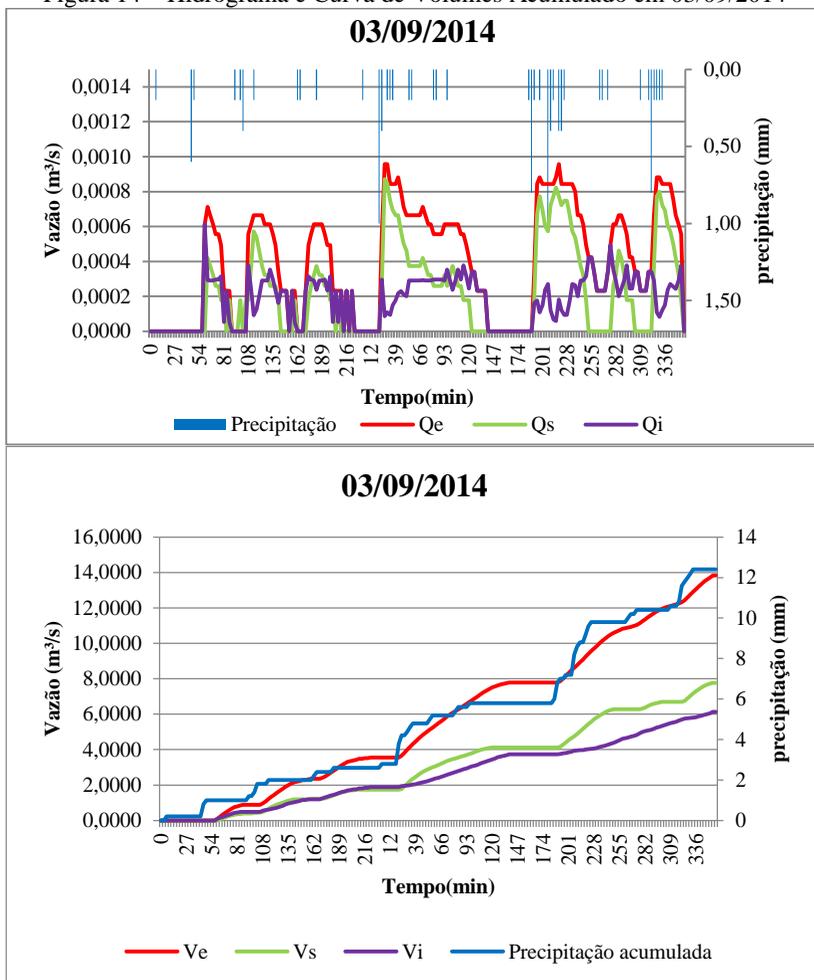
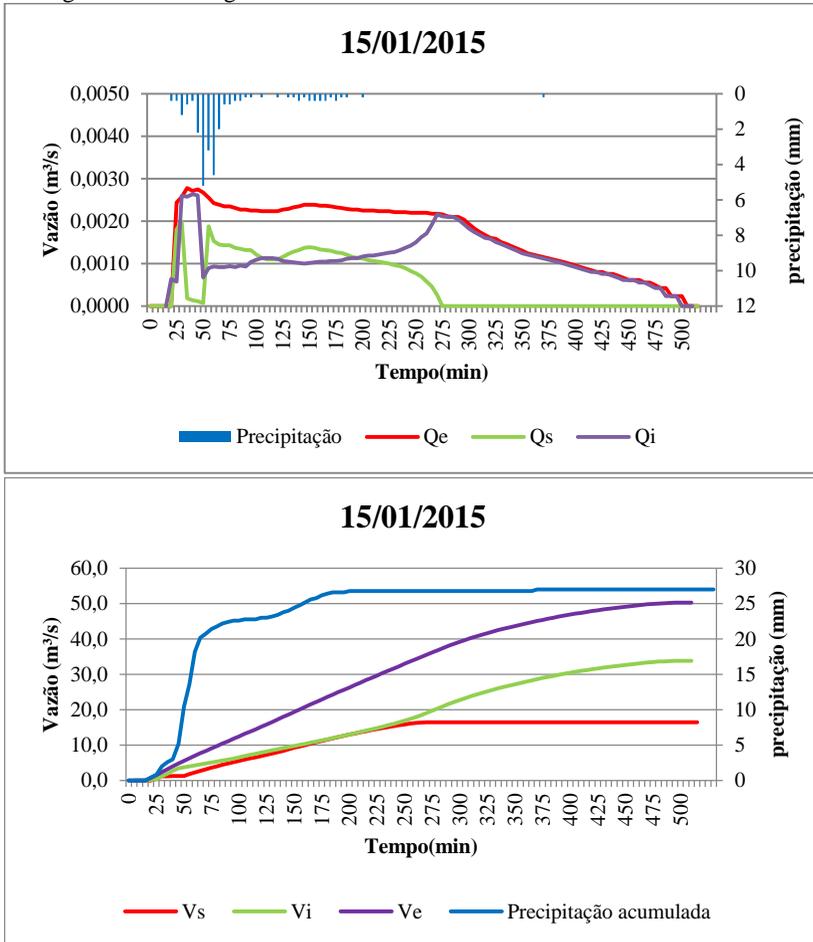


Figura 15 – Hidrograma e Curva de Volumes Acumulado em 15/01/2015



Outro fator que pode ser observado através da Tabela 5 é que a partir do final de 2014, a vala se demonstrou eficiente no controle do escoamento com mais frequência e em situações menos esperadas, como chuvas de altas intensidades e com menos dias de estiagem. Pode-se dizer que sua capacidade de infiltração foi naturalmente aprimorada com o passar do tempo.

Tabela 6 - Síntese do comportamento hidráulico da vala

Evento	Tp(min) ¹	tesc (min) ²	tescv (min) ³	Tasc (min) ⁴	D (dias) ⁵	Pt (mm) ⁶	He (m) ⁷	Hs (m) ⁸	Im (mm/h) ⁹	Ve (m³)	Vs (m³)	Vi (m³)	% Inf ¹⁰
1/8/14	120	300	270	80	7	14,6	0,171	0,154	7,30	6,0	3,9	2,8	0,46
4/8/14	135	195	180	20	2,5	10,4	0,222	0,164	4,62	16,9	10,2	6,2	0,37
12/8/14	345	345	320	130	7	16	0,193	0,187	2,78	24,4	14,2	10,9	0,45
16/08/14 (manha)	249	198	138	120	4	10	0,154	0,117	2,41	16,0	8,9	6,1	0,38
16/08/14 (tarde)	345	375	375	39	0	7,40	0,146	0,098	1,29	29,6	16,4	8,9	0,30
25/8/14	285	300	280	30	9	15,2	0,165	0,123	3,20	29,9	15,8	14,1	0,47
31/8/14	369	387	381	207	6	38,4	0,245	0,181	6,24	47,2	25,7	21,5	0,46
2/9/14	189	387	381	6	0	15,2	0,190	0,213	4,83	13,0	5,9	6,9	0,53
03/09/14 - I	180	165	150	63	0	2,6	0,022	0,025	0,87	3,6	1,7	1,9	0,53
03/09/14-II	333	333	333	27	0	9,8	0,039	0,056	1,77	10,3	6,0	4,2	0,41
24/9/14	495	765	520	30	5	20,2	0,102	0,112	2,45	60,5	24,9	35,6	0,59
26/9/14	420	765	765	145	0	9,6	0,088	0,084	1,37	30,7	20,7	9,9	0,32

27/9/14	135	270	180	45	0	3	0,036	0,050	1,33	11,7	5,8	4,2	0,36
11/10/14	505	495	395	410	5	11	0,276	0,266	1,31	54,4	11,2	43,2	0,79
13/10/14	754	845	855	590	2	60,8	0,570	0,444	4,84	80,5	43,9	36,6	0,46
4/11/14	70	125,00	90	15	1	4,4	0,086	0,117	3,77	7,4	4,2	3,1	0,43
6/11/14	130	180	175	45	2	12	0,271	0,185	5,54	13,8	9,5	5,2	0,38
8/11/14	45	200	151	25	2	5,8	0,199	0,124	7,73	16,0	9,3	6,7	0,42
22/11/14	80	190	125	85	1,5	3,2	0,159	0,000	2,40	8,3	5,7	3,7	0,45
25/11/14	1174	1315	1305	55	2	60,8	0,235	0,254	3,11	114,1	84,7	29,8	0,26
3/12/14	535	695	635	10	9	8,2	0,237	0,274	0,92	42,9	18,8	24,1	0,56
12/12/14	450	410	235	285	9	17	0,235	0,137	2,27	34,6	14,1	20,5	0,59
13/12/14	75	235	170	20	0	3	0,204	0,171	2,40	17,4	5,7	11,7	0,67
15/1/15	350	480	255	40	8	27	0,268	0,308	4,63	50,3	16,4	33,8	0,67
4/2/15	1138	1209	994	25	2,5	53,8	0,134	0,061	2,84	17,0	8,2	9,2	0,54
13/2/15	406	521	491	130	2	45,6	0,600	0,500	6,74	39,1	19,0	20,4	0,52
8/3/15	560	675	750	115	3	97,6	0,600	0,500	10,46	43,7	24,7	20,0	0,46
9/3/15	1372	1467	1422	145	0	50,4	0,235	0,171	2,20	79,1	37,5	41,8	0,53
15/3/15	170	930	850	150	3,25	26,8	0,235	0,152	9,46	44,4	15,3	29,2	0,66
19/3/15	530	770	610	20	2	6,4	0,155	0,117	0,72	34,1	9,2	24,9	0,73

21/3/15	177	322	269	21	2	18,6	0,132	0,213	6,31	21,7	14,4	7,6	0,35
28/3/15	334	363	-	62	2	20,8	0,173	0,110	3,74	33,0	24,0	9,0	0,27
29/3/15	530	540	535	37	0	25,8	0,162	0,033	2,92	23,5	5,6	17,9	0,76
21/8/15	670	666	600	110		9,2	0,094	0,045	0,82	40,2	10,6	29,8	0,74
22/8/15	240	420	325	75	0	2,8	0,094	0,045	0,70	30,6	5,7	24,9	0,81
25/8/15	1110	1125	945	220	3	30,6	0,124	0,081	1,65	90,7	46,0	44,7	0,49
26/8/15	420	405	400	35	0	2,4	0,104	0,040	0,34	37,2	14,5	22,7	0,61
26/11/15	493	579	528	51	1	5,4	0,148	0,076	0,66	46,0	12,5	31,0	0,68
7/1/16	411	420	420	69	1	19,53	0,266	0,089	2,85	43,5	12,8	30,7	0,71

(1) Tempo de precipitação, (2) Tempo de escoamento, (3) Tempo de escoamento na vala, (4) Tempo de ascensão, (5) Dias anteriores sem chuva, (6) Precipitação total, (7) Nível de água na entrada da vala, (8) nível de água na saída da vala, (9) Intensidade média, (10) Porcentagem de infiltração do escoamento)

4.2. Matriz de avaliação da vala de infiltração como técnica compensatória em drenagem urbana

A matriz de avaliação da vala de infiltração como técnica compensatória em drenagem urbana está apresentada na Tabela 6.

Nos eventos de 04/08/2014, 16/08/2014 (tarde), 25/08/2014, 03/09/2014 (II), 04/11/2014, 08/11/2014 e 21/03/2015 a vala se comportou de maneira similar de modo que houve um tempo de ascensão baixo, com muita precipitação em pouco tempo, resultando em um volume de infiltração menor do que o volume de saída. Entretanto nos eventos de 02/09/2014, 24/09/2014, 03/12/2014, 13/12/2014, 04/02/2015, 19/03/2015, 29/03/2015 e 26/08/201, a vala se comportou de maneira contrária, demonstrando eficiência no controle do escoamento superficial.

Nos eventos de 13/02/2015 e 08/03/2015, houve extravasamento da tubulação de saída da vala, fazendo com que ela funcionasse como um canal e apresentando infiltração não considerável.

De uma maneira geral, a vala de infiltração não alcançou uma redução satisfatória do escoamento, de modo que em apenas 49% dos eventos o volume de infiltração foi maior do que o volume escoado. Em 15 % dos eventos o tempo de ascensão foi menor do que o tempo de concentração da bacia, o que causa um adiantamento da vazão de pico, teoricamente, deveria dificultar a infiltração do escoamento. Em 64% dos eventos a porcentagem de infiltração ficou entre 30 e 60 %, o que para esse trabalho é considerado um desempenho médio para o controle do escoamento. Todos os parâmetros obtiveram um grau de eficiência baixo nessa matriz de avaliação, com exceção da porcentagem de infiltração.

Tabela 7 – Matriz de Avaliação da vala de infiltração

Evento	Redução do volume do escoamento		Adiantamento do Pico de Vazão (tc=20min)		Eficiência na Infiltração (% Inf)			Risco a população devido o transbordamento	
	Vi<Vs	Vi>Vs	tasc<tc	tasc>tc	0-30	30-60	60-90	hs<0,5	hs>0,5
01/08/2014	x			x		x		x	
04/08/2014	x		x			x		x	
12/08/2014	x			x		x		x	
16/08/2014 (manha)	x			x		x		x	
16/08/2014 (tarde)	x			x	x			x	
25/08/2014	x			x		x		x	
31/08/2014	x			x		x		x	
02/09/2014		x	x			x		x	
03/09/2014 - I		x		x		x		x	
03/09/2014-II	x			x		x		x	
24/09/2014		x		x		x		x	
26/09/2014	x			x		x		x	
27/09/2014	x			x		x		x	

11/10/2014		x		x			x	x	
13/10/2014	x			x		x		x	
04/11/2014	x		x			x		x	
06/11/2014	x			x		x		x	
08/11/2014	x			x		x		x	
22/11/2014	x			x		x		x	
25/11/2014	x			x	x			x	
03/12/2014		x	x			x		x	
12/12/2014		x		x		x		x	
13/12/2014		x	x				x	x	
15/01/2015		x		x			x	x	
04/02/2015		x		x		x		x	
13/02/2015		x		x		x			x
08/03/2015	x			x		x			x
09/03/2015		x		x		x		x	
15/03/2015		x		x			x	x	
19/03/2015		x	x				x	x	
21/03/2015	x			x		x		x	
28/03/2015	x			x	x			x	

29/03/2015		x		x			x	x	
21/08/2015		x		x			x	x	
22/08/2015		x		x			x	x	
25/08/2015	x			x		x		x	
26/08/2015		x		x			x	x	
26/11/2015		x		x			x	x	
07/01/2016		x		x			x	x	
Total Magnitude	20	19	6	33	3	25	11	37	2
Porcentagem	51%	49%	15%	85%	8%	64%	28%	95%	5%
Eficiência	Baixa		Baixa		Média			Baixa	

4.3. Análise Estatística Eventos

4.3.1. Correlação entre os parâmetros

Para a correlação não linear entre os parâmetros foi utilizado o coeficiente de Spearman. Os graus de moderação válidos considerados neste trabalho foram $0,4 \leq \rho \leq 0,7$ para correlação moderada e $0,7 \leq \rho \leq 1,0$ para correlação forte.

A Tabela 7 apresenta os coeficientes de Spearman para correlação não linear de cada dupla de parâmetro, sendo que os destacados em roxo apresentam grau de correlação moderada e em vermelho, grau de correlação forte. Através da análise da Tabela 7 pode-se fazer as seguintes observações:

- Os parâmetros Tempo de Precipitação (Tp), Tempo de Escoamento (Tesc), Tempo de Escoamento na Vala (Tescv) e Precipitação Total (P), tiveram relação não linear e não paramétrica entre si;
- Os parâmetros Tempo de Ascensão (Tasc) e Porcentagem de Infiltração (% Inf) não apresentaram correlação moderada nem forte com nenhum parâmetro. Porém, vale salientar que, no caso da % Inf, os parâmetros que mais tiveram correlação foram Tp, Tesc, Tescv, e uma correlação negativa com a Intensidade Média (Im);
- O parâmetro Tempo de Estiagem (D) apresentou correlação moderada com Pt, Cota Máxima de Entrada (He), Cota Máxima de Saída (Hs), Vazão de Pico de Entrada (Qe) e Vazão de Pico de Saída (Qs). Porém, ao contrario do que era esperado e foi observado na análise do balanço hídrico, apresentou uma relação quase insignificante com % Inf; Isso pode ser explicado pela proximidade da vala com o mar e seu nível alto de água subterrânea alto, o que impede a variação desse nível e consequentemente não altera na capacidade de infiltração da vala;
- Os parâmetros que mais apresentaram correlação com outros foram He, Hs, Qe e Qs;

Tabela 8 – Coeficientes de Spearman

	Tp	Tesc	Tescv	T asc	D	P	He	Hs	Im	Qe	Qs	% Inf
Tp	1,00	0,86	0,84	0,32	0,15	0,53	0,18	0,03	-0,30	0,18	0,09	0,30
Tesc	0,86	1,00	0,95	0,31	0,11	0,56	0,21	0,10	-0,14	0,22	0,14	0,36
Tescv	0,84	0,95	1,00	0,27	0,02	0,55	0,19	0,07	-0,11	0,19	0,10	0,27
T asc	0,32	0,31	0,27	1,00	0,22	0,37	0,29	0,12	0,02	0,27	0,07	0,05
D	0,15	0,11	0,02	0,22	1,00	0,43	0,45	0,49	0,36	0,41	0,44	0,05
P	0,53	0,56	0,55	0,37	0,43	1,00	0,57	0,49	0,59	0,50	0,49	-0,08
He	0,18	0,21	0,19	0,29	0,45	0,57	1,00	0,81	0,54	0,91	0,79	0,10
Hs	0,03	0,10	0,07	0,12	0,49	0,49	0,81	1,00	0,59	0,72	0,96	-0,16
Im	-0,30	-0,14	-0,11	0,02	0,36	0,59	0,54	0,59	1,00	0,45	0,54	-0,33
Qe	0,18	0,22	0,19	0,27	0,41	0,50	0,91	0,72	0,45	1,00	0,73	0,04
Qs	0,09	0,14	0,10	0,07	0,44	0,49	0,79	0,96	0,54	0,73	1,00	-0,16
% Inf	0,30	0,36	0,27	0,05	0,05	-0,08	0,10	-0,16	-0,33	0,04	-0,16	1,00

4.3.2. Análise dos componentes principais

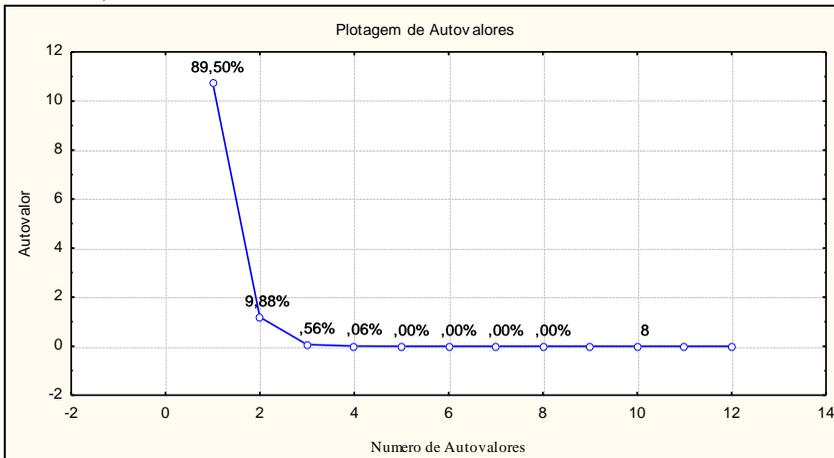
Antes de realizar a Análise de Componentes Principais foi feita a normalização dos dados, para minimizar as redundância e inconsistências e facilitar a manipulação dos dados. Foi feita a ACP de todos os 39 eventos e foram selecionados os seguintes parâmetros: Tp, Tesc, Tesv, D, P, He, Hs, Im, Qe, Qs e %Inf.

O conjunto de parâmetros foi modelado para 2 fatores, apresentando uma porcentagem de variância de 99,38 %, como mostra a Figura 16.

Figura 16 - Descrição dos componentes principais : (a)Componentes principais referentes aos 12 parâmetros e (b) Scree Plot - gráfico de seleção de PCs significativos

Fator	Autovalor	% de Variância Total	Autovalor Acumulado	% Acumulada de Variância Total
1	10,74	89,50	10,74	89,50
2	1,18	9,88	11,92	99,38
3	0,06	0,56	11,99	99,94
4	0,006	0,06	11,99	99,99

a)

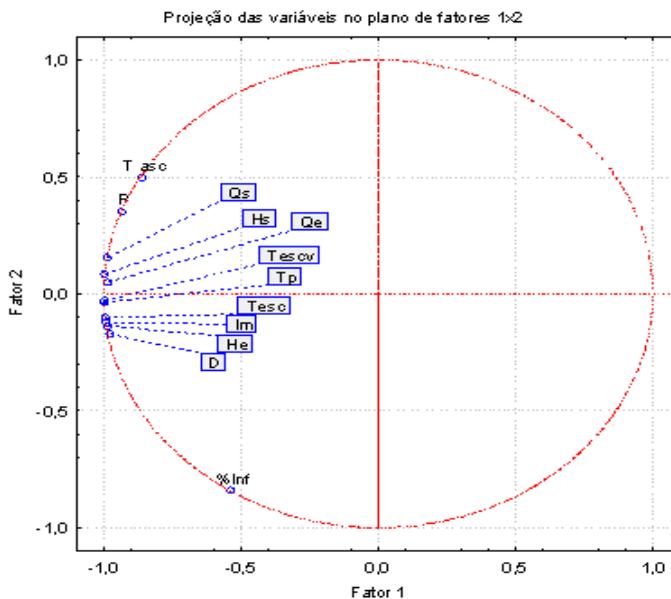


b)

Figura 17 - Resultados da Correlação Multivariada A) Composição dos fatores.
 B) Gráfico representando a relação entre fatores (fator 1e fator 2) e variáveis segundo factor loading s

Parâmetro	PC 1	PC 2
TP	-0,999238	-0,033956
Tesc	-0,994516	-0,102511
Tescv	-0,999427	-0,028049
T asc	-0,860879	0,496173
D	-0,977504	-0,172849
P	-0,934399	0,351709
He	-0,988883	-0,137388
Hs	-0,996252	0,085858
Im	-0,992285	-0,122171
Qe	-0,983361	0,049102
Qs	-0,986230	0,154631
%Inf	-0,537999	-0,840417

a)



b)

Através da análise da Figura 17 podem-se observar padrões comportamentais dos parâmetros quantitativos relacionados à vala de infiltração. É possível separar 3 grupos de relação multivariável, sendo que os parâmetros % Inf, P e T asc não se encaixou em nenhum deles. Os grupos são os seguintes:

- Grupo 1: Tesc, Im, He e D;
- Grupo 2: Tescv e Tp;
- Grupo 3: Qs, Hs e Qe.

Ao contrário das outras análises feitas até agora, foi encontrado um grau de correlação entre a intensidade média e os dias sem chuva com os outros parâmetros. O que não significa necessariamente que eles interfiram uns com os outros, mas estão estatisticamente correlacionados.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar quantitativamente uma vala de infiltração pluvial como técnica compensatória em drenagem urbana. O local de estudo desse trabalho foi uma bacia hidrográfica do Distrito do Campeche, no município de Florianópolis, SC.

Os dados de precipitação utilizados foram obtidos através de um datalogger ligado a um pluviômetro instalado ao lado da vala de infiltração, além de dois sensores de nível instalados na entrada e na saída da vala. Com os valores dos níveis e precipitação foi possível encontrar através de uma planilha eletrônica os valores de vazão de entrada, vazão de saída, vazão de infiltração intensidade média e volumes acumulados de entrada, saída e infiltração. Com esses resultados foi possível gerar os hidrogramas e gráficos de volumes acumulados dos 39 eventos.

Através da análise dos hidrogramas e gráficos de volumes acumulados foi possível observar que houve 7 eventos com precipitações de grande duração e intensidade baixa, resultando num bom funcionamento da vala e 3 eventos com comportamento contrário, não esperado; 7 eventos com precipitação com baixas intensidades e baixas vazões de pico, resultando num bom funcionamento, e um evento com comportamento contrário ao esperado, com eficiência no controle do escoamento mesmo com intensidade alta e alta vazão de pico; além disso percebe-se o aumento da eficiência da vala com o passar do tempo.

Após a análise dos gráficos foi desenvolvida uma Matriz de Avaliação do Desempenho da Vala, baseada na Matriz de Leopold, para avaliar de forma geral a vala com base nos parâmetros V_s , V_i , T_{asc} , T_c , H_s e % Inf. Através dela constatou-se que na maioria dos eventos a vala não foi eficiente no controle do escoamento superficial. O alto nível do lençol freático e o comprimento pequeno da vala poderiam ser uma explicação para esses resultados.

Além dessas análises ainda foram usados dois métodos de correlação estatística: O coeficiente de Spearman para correlação não linear entre pares de parâmetros e a Análise de Componentes Principais, para correlacionar todos os parâmetros entre si. Nesse caso, ao contrário do que era esperado durante a análise dos gráficos não foi encontrada relação forte entre os parâmetros, T_{asc} , D e I_m e % Inf. O nível alto do lençol freático e a proximidade do mar poderiam explicar essa falta de relação. Sendo que a variação do nível da água subterrânea é quase nula o que não interferiria na capacidade de infiltração da vala.

De uma maneira geral, seria importante a realização de estudos mais controlados, sem que haja problemas técnicos, como danificação e descalibragem. Uma análise de todos os eventos de precipitação de um período de tempo considerável poderia trazer resultados diferentes e mais positivos com relação ao funcionamento da vala. Outra ideia também seria mudar o local de estudo, ou até fazer em escala piloto em laboratório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **PORTARIA Nº 149: Lista de Termos Para o Thesaurus de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas**. Brasília, 2014.

BALL, J. E.; RANKIN, K.. The hydrological performance of a permeable pavement. **Urban Water Journal**. Sydney, p. 79-90. abr. 2010.

BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, NASCIMENTO, N. O. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2 Ed. Porto Alegre: ABRH, 2011. 318 p

BAPTISTA, M. B.; BRASIL, L. S.S.; FREITAS, I. C.; DIAS, R. F. C. **Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas**: guia do profissional em treinamento, nível 2 e 3. Ministério das cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – Belo Horizonte. ReCESA, 2007, 52p.

BEECHAM, S; KANDASAMY, J; PEZZANITI, D. Stormwater detention basin for improving road-runoff quality. **Water Management**. Sydney, p. 461-471. jul. 2012.

BUTLER, D; DAVIES, J. W. **Urban Drainage**. 2. ed. Londres: Spon Press, 2004. 543 p

CARVALHO. J. C, JUNIOR . G.F.N.G.; CARVALHO.E.T.L. **Tópicos sobre infiltração**: teoria e prática aplicadas a solos tropicais /, organizadores. – Brasília : Faculdade de Tecnologia, 2012. 644 p

CASTRO, A. S. **Uso de Pavimentos Permeáveis e Coberturas Verdes no Controle Quali-Quantitativo do Escoamento Superficial Urbano**. 2011. 161 f. Tese (Doutorado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

FLORIANÓPOLIS. IPUF. **Plano Diretor Participativo da Cidade: Leitura da Cidade** (vol. 1) 2008. Florianópolis: Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis, 2008.

LIRA, S. A. **ANÁLISE DE CORRELAÇÃO: ABORDAGEM TEÓRICA E DE CONSTRUÇÃO DOS COEFICIENTES COM APLICAÇÕES.** 2004. 196 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Métodos Numéricos em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

LUCKE, T; MOHAMED, M. A. K; TINDALE, N. Pollutant Removal and Hydraulic Reduction Performance of Field Grassed Swales during Runoff Simulation Experiments. **Water.** Sunshine Coast, p. 1887-1904. jun. 2014.

MACEDO, M. B; ROSA, A; MENDIONDO, E. M; SOUZA, V. C. B. **Otimização da Eficiência de Técnicas Compensatórias de Bioretenção em Clima Subtropical,** 8., 2015, Brasília.

PACHECO, E. F. **AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DO DESEMPENHO DE UMA VALA DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS IMPLANTADA EM FLORIANÓPOLIS.** 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

PINTO, L. H; PINHEIRO, S. A.; **Orientações Básicas para Drenagem Urbana.** Belo Horizonte: FEAM, 2006. 30 p

PINTO, L. L. C. A. **O Desempenho de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano.** 2011. 255 p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

REGRA, C. M. F.s - **Análise estatística do processo de reconhecimento, validação e certificação de competências no CNO dos CTT.** Lisboa : s.n., 2010. 146 p.

REIS, R. P. A; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais. **Ambiente Construído,** Porto Alegre, v. 8, n. 2, p.99-117, abr. 2008.

RIGHETTO, A. M. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas.** Rio de Janeiro: PROSAB – tema 3- tema IV. Editora ABES, 2009. 396 p

RONQUIM, J. **Gestão da Drenagem Urbana em Palmas-PR: Conflitos e Alternativas**. 2014. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais: Gerenciamento do Sistema de Drenagem Urbana**. São Paulo, 2012. 168 p

SILVA, B. L.. “**Avaliação Experimental Sobre a Eficiência de Superfícies Permeáveis com Vistas ao Controle do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas.**” Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.TD-01/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 2006. 180p

SOUSA, C. S.; MORAIS, L. R.; ALMEIDA, F. Estudo Sobre Técnicas Compensatórias De Drenagem Urbana: Um Estudo De Caso Na Revitalização Do Córrego Cascavel. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Goiás, v. 3, n. 19, p.111-134, 2015.

STAGGE, J. H. **FIELD EVALUATION OF HYDROLOGIC AND WATER QUALITY BENEFITS OF GRASS SWALES FOR MANAGING HIGHWAY RUNOFF**. 2006. 217 f. Tese (Doutorado) - Curso de Civil And Environmental Engineering, University Of Maryland, Maryland, 2006.

TECEDOR, N. **Monitoramento e Modelagem Hidrológica de Plano de Infiltração Construído em Escala Real**. 2014. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

TOMASELLA, J; ROSSATO, L. Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas: Balanço Hídrico. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da Drenagem Urbana**. Textos para Discussão CEPAL - IPEA. LC/BRS/R.274. 2012. 54 p

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRH, 2009. 943 p

VICINI, L. ANÁLISE MULTIVARIADA DA TEORIA À PRÁTICA. 2005. 215 f. Monografia (Especialização) - Curso de Estatística, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

APÊNDICE A – Hidrogramas e Curvas de Volumes dos eventos analisados

