

Trabalho de Conclusão de Curso

ESTUDO E AVALIAÇÃO DE CARGA DE LAVAGEM NO DISTRITO DO CAMPECHE, FLORIANÓPOLIS – SC

Tays de Aguiar Bento

Orientadora: Alexandra Rodrigues Finotti

2014/2

Tays de Aguiar Bento

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DE CARGA DE LAVAGEM NO
DISTRITO DO CAMPECHE, FLORIANÓPOLIS - SC**

Trabalho de Conclusão de Curso de
graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental da Universidade Federal de
Santa Catarina.

Orientador: Professora Dr^a Alexandra
Rodrigues Finotti.

Florianópolis
2015

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

Bento, Tays de Aguiar
ESTUDO E AVALIAÇÃO DE CARGA DE LAVAGEM NO DISTRITO DO
CAMPECHE / Tays de Aguiar Bento ; orientadora, Alexandra
Rodrigues Finotti - Florianópolis, SC, 2015.
63 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. Carga de lavagem. 3. Drenagem urbana. 4. Técnicas Compensatórias. I. Rodrigues Finotti, Alexandra. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

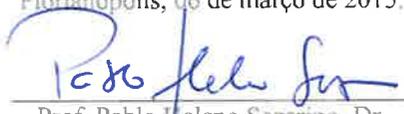
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DE CARGA DE LAVAGEM NO
DISTRITO DO CAMPECHE**

TAYS DE AGUIAR BENTO

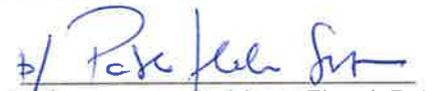
Trabalho submetido à Banca Examinadora
Como parte dos requisitos para a Conclusão do
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental-TCC II.

Florianópolis, 06 de março de 2015.



Prof. Pablo Helno Sezerino, Dr.
Coordenador do Curso.

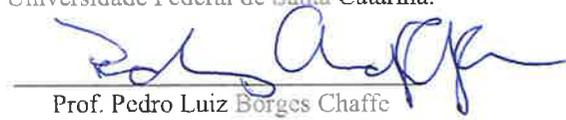
Banca Examinadora:



Prof.ª Alexandra Rodrigues Finotti, Dr.ª.
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina
(Vidéoconferência)



Prof.ª Nadia Bernardi Bonumá, Dr.ª.
Universidade Federal de Santa Catarina.



Prof. Pedro Luiz Borges Chaffe
Universidade Federal de Santa Catarina.

Este trabalho é dedicado aos meus pais, minha família e meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço de coração a todos que me ajudaram na realização deste trabalho. Em primeiro lugar a minha família que sempre me apoiou nos momentos difíceis, ao meu namorado Everton por ser paciente ao longo de toda a graduação, aos meus colegas de curso pela companhia e aos meus colegas de laboratório que me ajudaram na elaboração deste trabalho, no qual faz parte a minha orientadora Alexandra que me ajudou na elaboração e conclusão do trabalho juntamente com minha parceira de campo Elisa.

RESUMO

O crescimento desordenado nas grandes cidades vem ocasionando problemas graves nos sistemas de drenagem urbana, visto que os mesmos não conseguem mais suportar o grande volume de água devido ao aumento das áreas impermeabilizadas e o aumento das poluições de fontes difusas. Para tentar solucionar esse problema as estruturas compensatórias estão sendo muito usadas por todo o mundo, entre elas estão às estruturas de infiltração. É de suma importância que essas novas estruturas sejam dimensionadas corretamente, evitando assim causar problemas ao meio ambiente. Uma forma de avaliar esses poluentes é a partir do estudo do fenômeno de carga de lavagem. Este trabalho traz um estudo de três métodos para a avaliação do fenômeno de carga de lavagem, no qual todos utilizam as curvas $M(V)$, e a utilização dos mesmos para a avaliação de uma vala de infiltração localizada no distrito do Campeche, que se situa no município de Florianópolis – SC. Foram escolhidos quatro eventos e a partir de amostras coletadas foram realizadas análises de qualidade da água para os parâmetros de pH, Turbidez, Condutividade Elétrica e DQO. Como resultado do estudo verificou-se que para dois dos três métodos foi constatado o fenômeno da carga de lavagem, mas quando ele ocorre é de baixa intensidade. E que o melhor método para utilização na estrutura de infiltração é o primeiro método a ser estudado, que relaciona a variável tempo em sua curva $M(V)$.

Palavras-chave: Carga de Lavagem; Drenagem Urbana; Técnicas compensatórias.

ABSTRACT

The uncontrolled growth in large cities has caused serious problems in urban drainage systems, since they can no longer support the large volume of water due to the increase in impermeable areas and the increase of pollution from diffuse sources. In order to solve this problem compensatory structures are being widely used throughout the world, among them are the infiltration structures. Due to the big problem with pollution in cities is of paramount importance that these new structures are sized correctly, thus avoiding causing problems to the environment. One way to assess these pollutants is from the study of the first flush phenomenon. This paper presents a study of three methods for assessment of first flush phenomenon in which all use the $M(V)$ curves and their use for the evaluation of an infiltration trench located in Campeche district, which is located in Florianópolis - SC. Were chosen four events and from collected samples were performed water quality analysis for pH parameters, Turbidity, Electrical Conductivity and COD. As a result of the study it was found that for two of the three methods was found the phenomenon of wash load, but when it occurs it is of low intensity. And the best method to use in the infiltration structure is the first to be studied, which relates the time variable in your curve $M(V)$.

Keywords: First Flush; Urban Drainage; Compensatory techniques.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva M(V) segundo método Gupta e Saul (1996).....	25
Figura 2 - Curva M(V) para utilização dos métodos Bertrand-Krajewski et al (1998) e Deletic (1997).....	26
Figura 3- Localização do distrito do Campeche.....	30
Figura 4 - Delimitação da área de estudo.....	31
Figura 5 - Vala de infiltração.....	32
Figura 6 - Amostrador automático de nível ascendente.....	33
Figura 7 - Disposição dos frascos de coleta de água do amostrador.....	34
Figura 8 - Tempo das amostras do evento 1.....	41
Figura 9 – Tempo das amostras do evento 2.....	41
Figura 10 – Tempo das amostras do evento 3.....	42
Figura 11- Tempo das amostras do evento 4.....	42
Figura 12- Turbidez para evento 1.....	43
Figura 13- Turbidez para evento 2.....	43
Figura 14- Turbidez para evento 3.....	44
Figura 15- Turbidez para evento 4.....	44
Figura 16- Curva-chave da tubulação de montante da vala de infiltração.....	45
Figura 17 - Alturas de lâmina d'água obtidas por eventos.....	46
Figura 18 - Hidrograma dos eventos 1, 3 e 4.....	47
Figura 19 - Hidrograma do evento 2.....	47
Figura 20 - Polutograma de pH dos eventos 1,2 e 4.....	48
Figura 21- Polutograma de pH do evento 3.....	49
Figura 22 - Polutograma de Turbidez dos eventos 1 e 2.....	49
Figura 23 - Polutograma de Turbidez do evento 3.....	50
Figura 24- Polutograma de Condutividade Elétrica dos eventos 2 e 4.....	50
Figura 25- Polutograma de Condutividade Elétrica do evento 3.....	51
Figura 26 - Polutograma de DQO do evento 2.....	51
Figura 27 – Turbidez Evento 1.....	53
Figura 28 – Turbidez Evento 2.....	53
Figura 29 – Turbidez Evento 3.....	53
Figura 30 – Turbidez Evento 4.....	53
Figura 31 – Turbidez Evento 1.....	54
Figura 32 – Turbidez Evento 2.....	54
Figura 33 – Turbidez Evento 3.....	55
Figura 34 – Turbidez Evento 4.....	55
Figura 35 – Turbidez Evento 1.....	56
Figura 36 – Turbidez Evento 2.....	56
Figura 37 – Turbidez Evento 3.....	56
Figura 38 – Turbidez Evento 4.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características hidrológicas dos eventos.....	39
Tabela 2 - Qualidade da água de drenagem na entrada da vala de infiltração.	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVOS.....	20
1.1.1 Objetivo Geral.....	20
1.1.2 Objetivos Específicos.....	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 DRENAGEM URBANA	21
2.1.1 Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana.....	21
2.2 CONTAMINANTES DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS	22
2.2.1 Carga de Lavagem	23
3 METODOLOGIA	29
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	29
3.2 MONITORAMENTO DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO.....	31
3.3 MONITORAMENTO QUALITATIVO DO ESCOAMENTO PLUVIAL	32
3.3.1 Amostragem das Águas Pluviais.....	32
3.3.2 Procedimentos Analíticos	34
3.4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE CARGA DE LAVAGEM	36
3.4.1 Polutograma	36
3.4.2 Hidrograma	37
3.4.1 Método desenvolvido por Gupta e Saul (1996)	37
3.4.2 Método desenvolvido por Bertrand-Krajewski et al (1998).....	37
3.4.3 Método desenvolvido por Deletic (1997).....	38
4 RESULTADOS	39
4.1 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS NO AMOSTRADOR DE NÍVEL ASCENDENTE.....	39
4.2 ANÁLISES OBTIDAS PELO TURBIDÍMETRO	42
4.3 ESTUDO DA CARGA DE LAVAGEM	44
4.3.1 Hidrogramas	46
4.3.2 Polutograma	48
4.3.3 Curva M(V).....	52
5 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização das bacias hidrográficas associados aos sistemas clássicos de drenagem urbana ocasionam vários impactos no ciclo hidrológico urbano. Com a impermeabilização aumenta-se o escoamento superficial urbano e a evapotranspiração, diminuindo a infiltração e recarga das águas subterrâneas. No início dos anos 60 começou-se a pensar em alternativas ao sistema clássico de drenagem, com o estudo das técnicas compensatórias e alternativas, que compensariam as alterações ocorridas no ciclo hidrológico com a urbanização, e seriam alternativas aos sistemas clássicos, baseados no afastamento das águas pluviais o mais rápido possível, pelo uso de tubulações e pela retificação dos rios.

Os sistemas alternativos de drenagem urbana, têm como concepção medidas de drenagem que controlam o escoamento através de estruturas de infiltração e armazenamento das águas pluviais. Porém o uso destas estruturas podem levar a contaminação do ambiente subterrâneo e dos recursos hídricos. A carga de poluição nas águas pluviais é tão nociva quanto à dos esgotos domésticos, na mesma ordem de grandeza, não podendo ser desprezada quando se trata da qualidade do meio receptor (De Lucca (1985) e Chebbo (1992) apud Campana (2012)).

No Brasil ainda é incipiente a preocupação com a qualidade das águas superficiais, sendo estas lançadas nos corpos hídricos ou infiltradas no solo, sem nenhum pré-tratamento dos contaminantes carreados pela água do escoamento. Esses contaminantes vão desde areia, até hidrocarbonetos provenientes dos combustíveis fósseis, incluindo metais pesados, agrotóxicos, ftalatos, dentre outros.

Há muitos anos pesquisadores vêm estudando sobre esses contaminantes e suas consequências ambientais, e chegaram à conclusão que pode existir um fenômeno denominado Carga de Lavagem (First Flush). O estudo do fenômeno de carga de lavagem é de suma importância para o dimensionamento das estruturas de drenagem pluvial, pois irá influenciar no tipo de medida a ser adotada e o tipo de exutório em que será lançada. Neste trabalho foram comparados três métodos de análise de carga de lavagem, aplicados a uma vala de infiltração, localizada no distrito do Campeche na cidade de Florianópolis – SC.

Com o aumento das fontes difusas de poluição, é de grande importância que sejam feitos estudos para a avaliação da poluição das

águas pluviais principalmente quando se possui uma técnica compensatória de drenagem urbana de infiltração, pois o poluente pode contaminar o solo e até mesmo chegar às águas subterrâneas. A partir desses estudos pode-se chegar a soluções mais eficazes para os problemas a serem enfrentados em termos de uso de técnicas compensatórias para o controle da drenagem urbana. Especialmente no que se refere à concepção de novas estruturas seu projeto e dimensionamento adequado para retenção da poluição e proteção do meio ambiente.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Investigar a existência do fenômeno de carga de lavagem em uma estrutura de controle alternativo da drenagem urbana no distrito do Campeche, Florianópolis - SC.

1.1.2 Objetivos Específicos

- I. Estudar o comportamento de uma vala de drenagem e a existência do fenômeno da carga de lavagem na entrada desta estrutura.
- II. Estudar e escolher diferentes métodos de avaliação da carga de lavagem aplicar e comparar seus resultados.
- III. Estabelecer metodologias de cálculo de vazão e concentração dos poluentes bem como os polutogramas para os eventos de chuva considerados para a análise.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DRENAGEM URBANA

O sistema de drenagem urbana atualmente faz parte de um conjunto de obras públicas que visam a melhoria da qualidade de vida da população existente nas cidades. Seu sistema é concebido por galerias que direcionam as águas provenientes da precipitação de locais que não são desejadas para locais onde seu acúmulo não causa problemas á população.

O chamado sistema clássico de drenagem urbana foi desenvolvido para o escoamento rápido das águas urbanas e é constituído normalmente por duas partes: a microdrenagem e a macrodrenagem. A primeira serve para a captação das águas pluviais podendo ser por meio de sarjetas ou por sarjetas e galerias. E a segunda, interligado à microdrenagem, para uma disposição final dessas águas, podendo ser em rios, córregos, mar e galerias (Baptista et al., 2005).

Com a impermeabilização causada pela urbanização toda a água que antes era infiltrada passa a ser canalizada no sistema de drenagem, o que acaba reduzindo o tempo de detenção na bacia hidrográfica, aumento de volume superficial, aumento das vazões, acarretando em problemas no sistema de drenagem e em enchentes e alagamentos.

Devido à rápida expansão urbana nas cidades e a impermeabilização crescente o sistema de drenagem urbana acaba ficando subdimensionado. Sendo que nestas cidades muitas vezes não se consegue mais locais para fazer a expansão ou ampliação dessas redes. A solução passa por uma visão integrada da drenagem e da circulação das águas na bacia hidrográfica em muitas situações com a adoção de sistemas alternativos aos do sistema clássico de drenagem.

2.1.1 Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana

Para tentar solucionar os problemas provenientes da aplicação de uma concepção clássica de drenagem urbana surgem nos meados dos anos 60 os sistemas alternativos ou técnicas compensatórias para a drenagem urbana. Segundo Baptista et al.(2005) essas alternativas “buscam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental”.

Sendo essas técnicas efetuadas a partir do controle de excedentes do escoamento superficial. Por meio de técnicas de infiltração ou de retenção dessas águas. Baptista et al (2005) classifica essas estruturas em três técnicas segundo a posição de implantação do dispositivo, que são:

- Técnicas para controle na fonte: implantação em pequenas parcelas, ou seja, em pequenas superfícies de drenagem. Sendo exemplos valas de infiltração ou armazenamento, poços de infiltração, telhados armazenadores, micro-reservatórios individuais;
- Técnicas lineares: implantação em parcelas estreitas de solo como beiradas de estradas, canteiros, estacionamentos, etc. são exemplos nessa técnica trincheiras de infiltração ou armazenamento, pavimentos porosos com infiltração ou não;
- Técnicas para controle centralizado: geralmente usadas em áreas com maior contribuição de águas pluviais, servem na sua maior parte para detenção de cheias. São exemplos as bacias de detenção, retenção e infiltração.

2.1.1.1 Vala de Infiltração

A vala de infiltração é uma técnica compensatória definida segundo Baptista et al (2005) para controle na fonte, é de fácil concepção e baixo custo de investimento, além de poder ser inserida em pequenos locais como praças e nas margens de ruas.

Sua estrutura é basicamente uma escavação no terreno, podendo ter o formato trapezoidal invertido, com a base menor no fundo da vala e a inclinação de suas paredes laterais forma um ângulo suave para evitar processo de erosão, podendo ou não ser revestida com vegetação rasteira.

O seu processo de infiltração além de fazer a redução do escoamento superficial, também ajuda no controle da qualidade da água pluvial reduzindo a carga difusa, evitando a poluição dos cursos d'água.

2.2 CONTAMINANTES DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

Os contaminantes de águas de drenagem urbana possuem uma origem difusa e diversificada, entre eles a abrasão e o desgaste das ruas e dos veículos, os resíduos acumulados ou dispostos nas ruas e calçadas, os resíduos orgânicos de animais, resíduos da construção civil, resíduos

de óleos, graxas e combustíveis, os poluentes atmosféricos depositados na bacia, bactérias, vírus patógenos (Brites, 2005; Tucci, 2003).

Segundo Porto (1998) a poluição que é gerada pelo escoamento superficial da água em locais urbanizados é de origem difusa, pois provém das atividades que depositam poluentes de forma dispersas sobre a bacia hidrográfica. Para Cardoso et al. (2003), essas fontes são difusas pois não é possível identificar a sua geração e assim não podendo ter um monitoramento a partir do seu ponto de origem. Assim como sua relação com os eventos de precipitação, pois a contaminação acontece no momento em que a água da chuva entra em contato com os poluentes depositados na superfície da área de drenagem.

Porto (1998) e Xavier (2005) acreditam que em grandes precipitações possa ocorrer um aumento nos contaminantes da água pluvial devido a uma maior força de arraste que essas águas possuem.

Outro fator que influencia na qualidade da água de drenagem urbana é a ocupação e uso do solo, não podendo se afirmar que áreas residenciais são menos poluidoras que áreas industriais, pois uma área industrial pode possuir uma densidade populacional menor que uma área residencial o faz desta última uma maior poluidora em termos de fontes difusas.

O controle da poluição das águas pluviais seja através de tratamento ou do uso de técnicas compensatórias pode ser melhor realizado se houver compreensão da magnitude da contaminação.

Uma opção para esses estudos é a avaliação do fenômeno de carga de lavagem, que varia de acordo com o local onde se pretende fazer uma estrutura alternativa. Assim, sabendo-se qual a carga de contaminante que consegue ser carregada pelo escoamento superficial pode-se fazer o dimensionamento correto da estrutura de infiltração, permitindo que a mesma consiga reter os contaminantes e degradá-los sem que eles possam contaminar o lençol freático.

2.2.1 Carga de Lavagem

A carga de lavagem é um fenômeno que possui várias definições. No presente momento a sua ocorrência têm sido definida pela maioria dos pesquisadores como sendo a remoção da carga de poluentes de fonte difusa depositados sobre a superfície pelo escoamento superficial causado por eventos de chuva.

Segundo Brites (2005) para ocorrer a carga de lavagem o poluente de origem difusa que é carregado pela chuva deve produzir um pico na concentração de poluentes da água pluvial no início do

escoamento superficial, e este pico deve ocorrer antes da vazão de pico do hidrograma do evento.

A partir de estudos feitos, foi verificado que o fenômeno de carga de lavagem não acontece para todos os eventos de chuva e nem mesmo em todos os lugares, é necessária a combinação de alguns critérios para se avaliar sua existência como a quantidade de dias de seca antecedente aos eventos e o uso e ocupação do solo. Bertrand-Krajewski et al (1998) diz que a variação dos eventos de uma chuva para outra depende de vários fatores como: a variação da intensidade de precipitação, o estado do sistema de drenagem, a quantidade de resíduos depositados na superfície, a massa de poluentes acumulada pela bacia, entre outros.

Para a verificação da carga poluidora é montado para cada evento um polutograma que é basicamente um hidrograma formado pela carga poluidora. Segundo Souza (2012), o polutograma representa a variação da concentração dos parâmetros de qualidade da água dos eventos de precipitação que vão para as galerias de drenagem com a variação da vazão dos eventos monitorados ao longo do tempo do evento. Para sua montagem Brites (2005) considera que essas cargas de poluentes são obtidas a partir da multiplicação do valor da concentração de cada poluente pela vazão do escoamento superficial no tempo considerado, sendo esses valores acumulados durante o tempo de precipitação do evento.

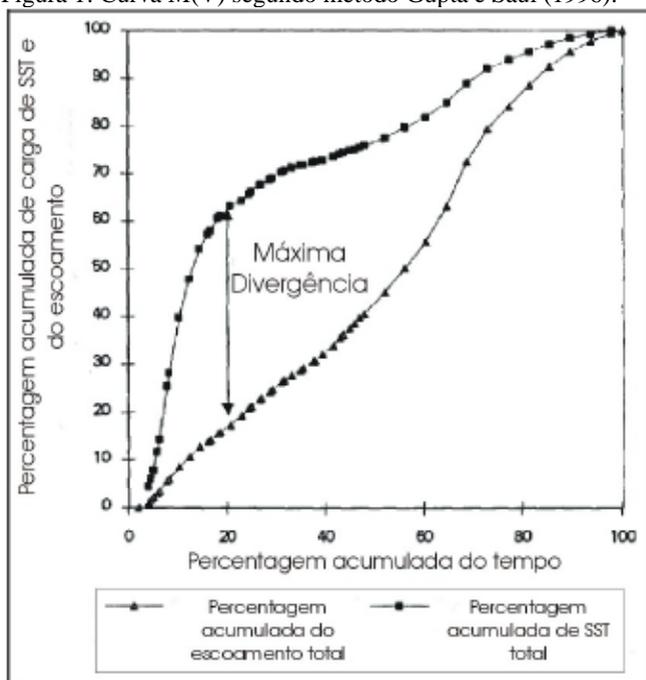
Para o cálculo da carga de lavagem Brites (2005) utiliza o método curva massa vs volume. A massa de poluentes que é transportada pelo escoamento superficial durante os eventos de chuva para a rede de drenagem urbana pode ser descrita por duas curvas, que são o hidrograma e o polutograma. Essas curvas são descritas para cada um dos poluentes a ser analisado, em que os dados do hidrograma são inseridos em m^3/s e os dados do polutograma são inseridos em mg/l . A junção dessas duas novas curvas é que dá origem á curva massa x volume ou $M(V)$. Essas curvas podem ser usadas para comparar descargas de poluentes em diferentes bacias hidrográficas (Brites, 2005; Bertrand-Krajewski et al, 1998).

2.2.1.1 Casos Estudados de Carga de Lavagem

Gupta e Saul (1996) realizaram seu estudo em duas bacias da Inglaterra com características semelhantes. Para o estudo da carga de lavagem, eles definiram que a mesma ocorre quando a divergência entre a variação da concentração de poluentes acumulada em porcentagem e a

variação do volume acumulado em porcentagem plotadas em função do tempo acumulado dos eventos fosse máxima. Como resultado da pesquisa obtiveram que esse método consegue estudar razoavelmente os eventos de carga de lavagem e que os fatores espaciais e temporais influenciam no resultado. Na Figura 1 observa-se a máxima divergência, que é a maior diferença entre a curva de carga poluidora e a curva de vazão, que indica o final do fenômeno.

Figura 1: Curva M(V) segundo método Gupta e Saul (1996).



Fonte: Paz (2004). (Adaptado de Gupta e Saul (1996)).

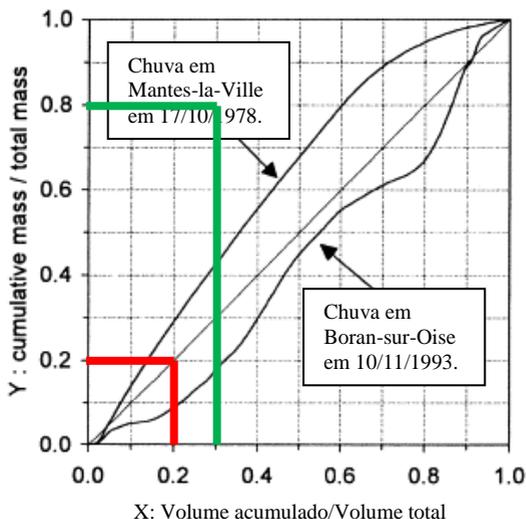
Deletic (1997) realizou o estudo da carga de lavagem em duas bacias hidrográficas urbanas em diferentes locais, mas com características semelhantes, uma na Iugoslávia e outra na Suécia, os dados foram colhidos ao longo de um ano. Para o cálculo da carga de lavagem o método utilizado por Deletic (1997) foi o chamado FF20, no qual se realiza uma curva M(V) e se em 20% da precipitação total se obtiver valores de carga poluente acima de 20% da carga total do evento é considerada a existência do fenômeno da carga de lavagem. Como resultado Deletic (1997) observou que houve o fenômeno de carga de

lavagem nas duas bacias, e que a maior diferença estava na quantidade de sólidos suspensos, que apresentam maior concentração nos eventos de maiores intensidades. Também concluiu-se que analisando o final do sistema de drenagem após uma primeira descarga forte o fluxo maior de poluição não acontece no pico de vazão inicial do evento.

Bertrand-Krajewski et al (1998) analisou dados provenientes de várias bacias da França, esses dados provém de sistemas separador absoluto e sistemas combinados, nesse estudo foram estudados vários métodos para o cálculo da carga de lavagem inclusive a hipótese de Bertrand-Krajewski et al (1998), que foi denominado de 30/80, que quer dizer que 80% dos contaminantes eram carregados nos primeiros 30% do evento de chuva. Teve-se como resultado que dos eventos estudados apenas 1% deles demonstrou essa característica.

A figura 2 mostra a curva M(V) conforme o método de Bertrand-Krajewski et al (1998) e Deletic (1997). As linhas verde e vermelha mostram os limites dos dois métodos, que são respectivamente Bertrand-Krajewski et al (1998) e Deletic (1997), e mostram a ocorrência dos mesmos quando as curvas ultrapassam esses valores.

Figura 2: Curva M(V) para utilização dos métodos Bertrand-Krajewski et al (1998) e Deletic (1997).



Fonte: Adaptado de Bertrand-Krajewski et al (1998)

No Brasil os estudos sobre este fenômeno são incipientes, entre eles podem ser citados os trabalhos de Brites (2005) e de Paz (2004). Paz (2004) realizou o estudo em uma bacia hidrográfica localizadas no município de Santa Maria – RS. Para o estudo o autor coletou dados de duas estações já existentes sendo que uma possuía características rurais e a outra possuía características urbanas, foram também realizadas coletas com Amostrador Automático Ascendente, o qual se fez comparação com os dados das estações, essas amostras foram realizadas para períodos que antecediam os eventos em secos e chuvosos. Para o cálculo da carga de lavagem Paz (2004) utilizou dois métodos baseados nas curvas massa x volume (Deletic, 1998 e Gupta et Saul, 1996a). Como resultado, Paz (2004) concluiu que para os dois métodos analisados a bacia hidrográfica de estudo apresenta pouca susceptibilidade ao evento de carga de lavagem, e que das análises realizadas as que possuem variações expressivas são as de DBO₅, coliformes e de sólidos suspensos.

Brites (2005) realizou seus estudos em duas bacias hidrográficas no município de Santa Maria – RS, Alto da Colina e Cancela, nas quais foram coletadas amostras de água e de resíduos sólidos urbanos. Uma das bacias estudadas foi a de estudo de Paz (2004), Alto da Colina, na qual foram utilizados os dados de estudo do mesmo. Para coleta de amostras foram utilizados Amostradores Automáticos de Nível Ascendente e Descendente. O método para cálculo da carga de lavagem utilizado por Brites (2005) foi o de Gupta e Saul (1996), também foram realizados estudos para tempo seco e úmido. Para o resultado Brites (2004) comparou suas análises com as já existentes de Paz (2004). As bacias apresentaram variação nos estudos de carga de lavagem, sendo a bacia Cancela mais susceptível a ocorrência do evento principalmente para os parâmetros de DBO₅, Coliformes, Sólidos Suspensos, condutividade elétrica e turbidez.

Campana e Bernardez (2010) realizaram o estudo da qualidade do escoamento na rede de drenagem urbana na cidade de Brasília – DF. A bacia hidrográfica de estudo está situada numa área de alta taxa de urbanização com uma área de 335 ha, um dos objetivos do trabalho era o cálculo da carga de lavagem. A área de estudo foi dividida em três seções: uma residencial, uma comercial e a última formada por oficinas. As coletas foram realizadas nas bocas de lobo e a altura da lâmina d'água foi medida na sarjeta. As análises foram realizadas para os parâmetros de DQO, pH, sulfatos, cobre, sódio, zinco, chumbo, sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos, óleos e graxas, DBO, fósforo,

nitrogênio amoniacal, coliformes totais e E-Coli. Como resultado observou-se a formação do evento de carga de lavagem e que há indícios da relação das cargas com o tempo antecedente dos eventos de chuva.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado como parte do Projeto Avaliação da Contaminação de Solos e Águas Subterrâneas Proveniente de Estruturas de Controle da Drenagem Urbana Baseadas em Infiltração, projeto esse financiado pelo CNPq, e orientado pela Professora Doutora Alexandra Rodrigues Finotti, professora no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

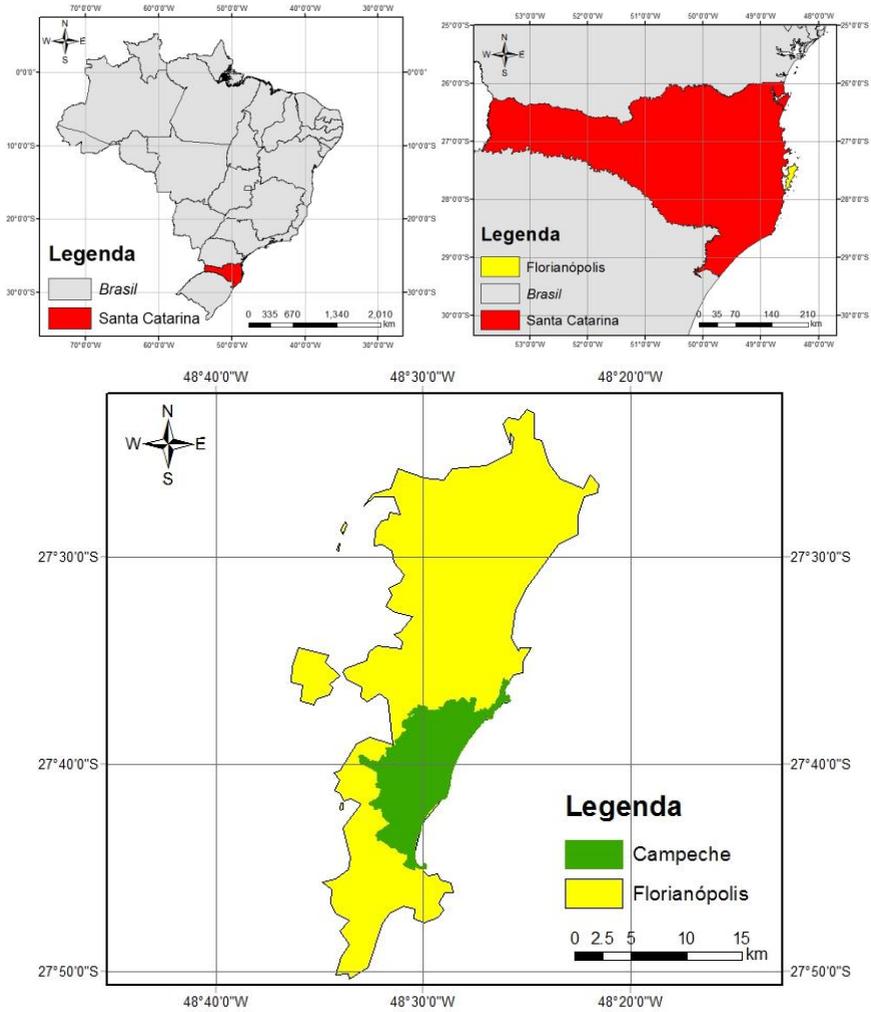
Foi avaliado a ocorrência de carga de lavagem na entrada de uma vala de infiltração no distrito do Campeche nos eventos monitorados. O trabalho foi desenvolvido em três etapas. Caracterização da área de estudo, instrumentalização e monitoramento de uma vala de infiltração, e avaliação da ocorrência do fenômeno de carga de lavagem.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo de caso foi realizado no Distrito do Campeche localizado no município de Florianópolis, Santa Catarina, entre as coordenadas geográficas 27°10' e 27°50' latitude sul, e entre 48°25' e 48°35' de longitude oeste (FLORIANÓPOLIS, 2008). O distrito do Campeche (Figura 3), engloba 2 bacias hidrográficas urbanas :Bacia Hidrográfica do Rio Tavares e Bacia Hidrográfica do Morro das Pedras.,

A vala de infiltração escolhida para o presente trabalho está situada na bacia hidrográfica do Rio Tavares, as margens da Avenida Pequeno Príncipe no quilometro 2. O local é uma área com predominância de comércio, possui um grande supermercado, posto de gasolina e um posto de saúde e com intenso trafego de veículos. Além disto, a área de estudo está em crescente desenvolvimento urbano, com o surgimento de vários condomínios, gerando uma grande movimentação de terra causada pelas terraplanagens realizadas, aumentando o volume de sólidos carreados para a drenagem.

Figura 3: Localização do Distrito do Campeche.



A partir de georreferenciamento foi possível analisar a área de estudo na qual se conseguiu calcular os valores da área de contribuição para a vala de drenagem, que possui uma área total de aproximadamente 4,4 ha, (Figura 4), e suas frações com 10,7% de áreas de infiltração, 65,7% de áreas residenciais e 23,6% de área de comércio. A área possui uma inclinação média de 3%, obtida por levantamento topográfico.

Figura 4: Delimitação da área de estudo.



A estrutura estudada é uma vala de infiltração que foi construída a mais de 15 anos pela Prefeitura Municipal de Florianópolis, possui as dimensões de 12 metros de comprimento por 2 de largura e altura de 1,20 metros, ela possui um formato trapezoidal com seu fundo e laterais revestidas por solo e gramíneas como mostra a Figura 5. As tubulações da vala de infiltração de montante e jusante possuem respectivamente diâmetros de 60cm e 50cm.

3.2 MONITORAMENTO DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO

Para o monitoramento da precipitação na bacia, foi instalada uma estação de monitoramento pluvial da Solar Instrumentação, constituída por um Pluviômetro modelo SL2000-P, ligado a um sistema de datalogger SL2000E8Cd. Para o monitoramento da vazão foi instalado dois sensores de nível (montante e a jusante da vala). A coleta dos dados foi programada para um intervalo de 5 minutos.

Figura 5: Vala de infiltração.



A velocidade do escoamento na tubulação foi determinada medindo-se o tempo que uma partícula identificável leva para percorrer uma distância conhecida. A partir da velocidade calculou-se a vazão na tubulação. Assim, sendo calibrada a curva-chave para o monitoramento da vazão. A altura da lâmina de água medida no momento do teste foi validada com as medições sensor de nível modelo SL2000-NV (Solar Instrumentação), instalado a montante da vala.

3.3 MONITORAMENTO QUALITATIVO DO ESCOAMENTO PLUVIAL

Para o monitoramento qualitativo da água do escoamento pluvial, foi instalado a montante da vala de infiltração um amostrador automático e um turbidímetro.

3.3.1 Amostragem das Águas Pluviais

As águas do escoamento pluvial foram coletadas na entrada da vala de infiltração, por intermédio de um amostrador Automático de Fluxo ascendente (Figura 6). Foram realizadas coletas em 8 níveis diferentes, que vão desde a cota do fundo da tubulação até a altura de 28 centímetros. A variação temporal de enchimento dos potes de coleta foi determinada a partir da Curva de nível, gerada pelos dados do sensor de nível.

Figura 6: Amostrador automático de nível ascendente.



A coleta da água pelo amostrador acontece de maneira hidráulica e não automatizado, onde os frascos ficam abaixo do nível da água dos orifícios existentes na tubulação em uma plataforma que possui três níveis. Mangueiras de silicone levam a água para os frascos de vidro que se encontram dentro de uma estrutura de aço inox, cada pote possui um volume de 500 ml para cada nível. Na tampa de cada frasco foi feito um segundo orifício que possui uma mangueira de silicone que serve como respiro do recipiente e evita que os frascos transbordem (figura 7). Para conseguir a quantidade suficiente de amostras foram feitas uma duplicata os furos de coleta para cada nível na prolongação do tubo.

Figura 7: Disposição dos frascos de coleta de água do amostrador.



Como se trata de uma galeria de drenagem já existente, foi necessário fazer uma prolongação do tubo de concreto. Como seria necessário fazer orifícios para a coleta de água teve que se escolher um material que fosse maleável, que não sofresse o processo de oxidação e que não afetasse a qualidade das amostras. Por fim chegou-se a conclusão de fazê-lo com aço inox, um material acessível e que se enquadrava nas especificações.

Foi considerado um intervalo de 24 horas entre cada evento de chuva para se realizar coleta. Após a coleta as amostras eram levadas para o Laboratório de águas urbanas, onde eram acidificadas e armazenadas para as futuras análises. Essas coletas foram realizadas em recipientes adequados para cada tipo de análise, assim como seu acondicionamento até a realização de suas análises. A turbidez foi a única análise realizada in loco, com a utilização do turbidímetro modelo SL2000-T (Solar Instrumentação), e em laboratório, e o restante das análises foram realizadas em laboratórios especializados dentro da Universidade Federal de Santa Catarina.

3.3.2 Procedimentos Analíticos

Para a criação do Polutograma dos eventos analisados foram definidos as análises para os parâmetros utilizados em outros trabalhos de carga de lavagem com o intuito de fazer comparações com os resultados obtidos. A partir da revisão bibliográfica foram determinados

quais parâmetros são mais frequentemente analisados que fossem possíveis de serem realizados para os equipamentos disponíveis. Determinando assim, a análise qualitativa das águas do escoamento para os seguintes parâmetros: Demanda Química de Oxigênio (DQO), a Condutividade Elétrica (CE), a Turbidez (T), e o pH. As determinações analíticas foram realizadas conforme as metodologias descritas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

3.3.2.1 Demanda Química de Oxigênio

A Demanda Química de Oxigênio é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica e inorgânica de águas, sendo utilizada em alternativa para a DBO, por necessitar de um menor volume de amostra e menor tempo de análise. A presença de matéria orgânica é um importante parâmetro qualitativo de medição na rede de água pluvial, principalmente para identificação de ligações de redes clandestinas de águas residuárias. Este parâmetro influencia no dimensionamento e escolhas da melhor medida estrutural a ser utilizada, além disto irá influenciar no processo de colmatação da estrutura.

Para sua análise foi utilizado o método colorimétrico, estas análises as amostras foram acondicionadas em frascos de plástico com um volume de 2,5 ml cada. Para os reagentes foram comprados kits de DQO da Alfakits, após a adição destes reagentes as amostras foram para digestão e depois dessa etapa foi feita a leitura no Espectrofotômetro UV- Vis a 600 nm.

3.3.2.2 Condutividade elétrica

A condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes (CETESB), Sua variação é um indicativo da variação de sais dissolvidos nas águas pluviais, assim sendo um importante indicativo de contaminação.

Para sua análise foi utilizado o método 2510 B, do standart Methods .Um Condutivímetro, que é um aparelho capaz de medir a condutividade da água automaticamente apenas com a inserção de uma sonda na amostra de água. Para a leitura das amostras foi tomado o

cuidado de não deixar bolhas dentro da sonda fazendo movimentos circulares com a mesma imersa na amostra de água, e sua leitura foi realizada na faixa de 200 μm (APHA, 2012).

3.3.2.3 Turbidez

A Turbidez existe quando partículas de sólidos em suspensão causam a diminuição da transparência da água. Nesta análise as amostras são colocadas para leitura direta no aparelho Turbidímetro pelo método nefelométrico. Para a leitura as amostras foram inseridas em cubetas que posteriormente foram colocadas no aparelho para leitura

No projeto foi analisada a turbidez tanto em campo como em laboratório, para se validar os dados qualitativos de acordo com o nível de coleta no amostrador automático, ou seja, a variação temporal do turbidímetro, foi comparada com a variação temporal do sensor de nível de cada amostra coletada, e comparada com a análises de turbidez no laboratório. Para a análise de carga de lavagem foi utilizados os dados medidos em laboratório.

3.3.2.4 pH

O Potencial Hidrogeniônico é uma grandeza que indica a acidez, ou a alcalinidade ou a neutralidade da água. Este parâmetro influencia no comportamento dos contaminantes e nas possíveis transformações químicas destes..A análise de pH foi realizada com o equipamento pHmetro Q-400a (Qimis), onde se tomou o cuidado de a cada utilização do mesmo fazer a calibração com solução de $\text{pH} = 7$ e $\text{pH} = 4$, a leitura é feita diretamente por uma sonda que ao emergir na amostra faz a leitura do pH.

3.4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE CARGA DE LAVAGEM

3.4.1 Polutograma

Para a criação das curvas Massa vs Volume, é essencial a a montagem de um polutograma, em que no eixo das abscissas contém a variação do tempo do evento e no eixo das ordenadas é inserido a variação dos poluentes ao longo do evento. Para o presente estudo foi construído um polutograma para cada parâmetro de cada evento. Os dados de carga dos parâmetros foram calculados em laboratório e de um turbidímetro instalado na vala de infiltração.

3.4.2 Hidrograma

O hidrograma é outro importante dado para a avaliação da carga de lavagem, no qual é demonstrada a variação da vazão na tubulação de montante da vala de infiltração ao longo do tempo do evento de chuva. Para a construção do hidrograma os dados de vazão são inseridos no eixo das ordenadas e a variação do tempo do evento no eixo das abscissas. Os dados para a montagem do hidrograma foram obtidos a partir da curva-chave da tubulação, na qual a vazão é obtida a partir dos dados do sensor de nível, que é o valor a ser inserido na equação da curva-chave, tendo como resultado direto a vazão.

3.4.1 Método desenvolvido por Gupta e Saul (1996)

Para a avaliação da carga de lavagem segundo o método desenvolvido por Gupta e Saul (1996), primeiramente foi realizada a montagem do hidrograma dos eventos e seus respectivos polutogramas. Com a vazão do hidrograma foi possível achar o volume ao longo do tempo do evento e assim fazer o cálculo do volume acumulado por volume total. O outro dado utilizado vem do valor dos parâmetros das análises de água, em que fez-se o valor de concentração de cada parâmetro acumulado dividido pela somatória da concentração. Para finalizar a curva M(V) do método Gupta e Saul (1996) os dois dados anteriores são plotados em um gráfico em que variam sobre o tempo acumulado pelo tempo total. Para a avaliação de carga de lavagem é feita a diferença entre a curva de concentração e a curva de volume, cujo seu pico confere o valor de máxima divergência e é segundo a definição do método até onde ocorre o evento, e sua existência acontece apenas quando o valor dessa diferença é positivo.

3.4.2 Método desenvolvido por Bertrand-Krajewski et al (1998)

O método desenvolvido por Bertrand-Krajewski et al (1998) utiliza apenas os dados de concentração das análises e do volume, exatamente os mesmos utilizados para o método de Gupta e Saul (1996), mas são plotados um em função do outro, com o volume acumulado/volume total nas abscissas e a concentração acumulada/ concentração Total nas ordenadas. Para a ocorrência do fenômeno de carga de lavagem definido por Bertrand-Krajewski et al (1998), o fenômeno ocorrerá se nos primeiros 30% do evento houver o carreamento de no mínimo 80% da concentração total para cada parâmetro analisado.

3.4.3 Método desenvolvido por Deletic (1997)

A montagem do método de Deletic (1997) ocorre exatamente como o de Bertrand-Krajewski et al (1998). Para a avaliação do fenômeno de carga de lavagem é observado se houve a existência do FF20, segundo o método o fenômeno ocorrerá se nos 20% iniciais do evento ocorrer o carreamento de ao menos 20% da concentração total de cada parâmetro analisado.

4 RESULTADOS

A estrutura foi monitorada no período de 24/07/14 a 04/11/14 e foram selecionados quatro eventos para serem analisados. Os eventos foram selecionados em função do número de amostras coletadas pelo amostrador de nível ascendente e os parâmetros que foram analisados.

4.1 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS NO AMOSTRADOR DE NÍVEL ASCENDENTE

O amostrador foi construído e instalado na saída da tubulação de montante da vala de infiltração com o objetivo de fazer as coletas ao longo do tempo durante o evento de chuva, os eventos serão chamados de Evento 1, Evento 2, Evento 3 e Evento 4 os quais se referem respectivamente aos dias 04/08/14, 02/09/14, 12/10/14 e 04/11/14. A característica hidrológica de cada evento está disposta na Tabela 1, e a Tabela 2 traz o resultado das análises para os eventos estudados.

Tabela 1: Características hidrológicas dos eventos.

	Evento 1 (04/08/14)	Evento 2 (02/09/14)	Evento 3 (12/10/14)	Evento 4 (04/11/14)
Tempo de duração do evento (min)	100	315	115	70
Tempo de duração do escoamento (min)	100	365	155	90
Dias antecedentes sem chuva	2,5	2	2	7
Volume total do escoamento superficial (m³)	7,07	69,9	229,01	16,13
Intensidade média da precipitação (mm/h)	5,7	2,85	4,2	3,52

Para os dados de qualidade das amostras foi considerado o tempo de enchimento das garrafas a partir do instante em que a altura da lâmina d'água chega ao nível do orifício que coleta a água para o amostrador. A tabela 2 apresenta a altura para cada nível de coleta.

Tabela 2: Qualidade da água de drenagem na entrada da vala de infiltração.

Nível (cm)	Amostra	Evento 04/08/14			Evento 02/09/14				Evento 12/10/14			Evento 04/11/14	
		pH	Turbidez (NTU)		pH	Conductividade (200 ms)	DQO (mg/l)	Turbidez (NTU)	pH	Conductividade (200 ms)	Turbidez (NTU)	pH	Conductividade (200 ms)
23	2	6,5	268	-	7,73	-	1236,5	-	6,98	34,7	-	-	-
18	3	6,89	158	72,1	6,98	498,4	730	7,46	38,6	636	-	-	-
13	4	6,75	450	112,2	7,82	667,6	698	7,39	41,9	621	7,23	113,3	-
10	5	6,93	433	-	6,97	357,4	1380	6,88	47,1	508	7,08	115,4	-
7	6	-	-	-	-	-	-	7,39	53,4	898	7,18	124,2	-
4	7	7,59	495	119,5	7,47	665,6	3629	6,68	43,6	133	7,39	112,7	-
2	8	-	-	-	7,46	914,9	-	6,64	42,9	37	7,19	123,8	-
0	9	-	-	-	-	-	-	7,09	53,5	152	7,45	125,9	-

As figuras 8 a 11 mostram o enchimento das garrafas conforme a variação do nível d'água na tubulação para cada evento. A partir do gráfico do nível de lâmina d'água na tubulação foi estimado o tempo de enchimento das garrafas com os dados já conhecidos do nível do amostrador (tabela 2). Foi definido para facilidade de cálculo que no instante em que a lâmina chega no nível do amostrador é o tempo em que a garrafa está cheia.

Figura 8: Tempo das amostras do evento 1.

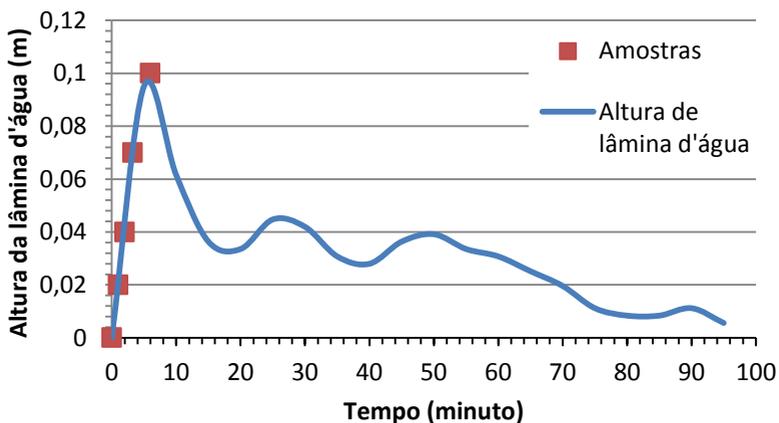


Figura 9: Tempo das amostras do evento 2.

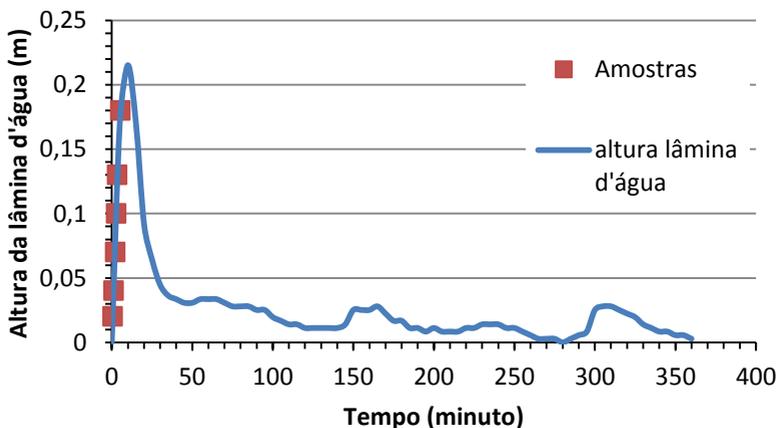


Figura10: Tempo das amostras do evento 3.

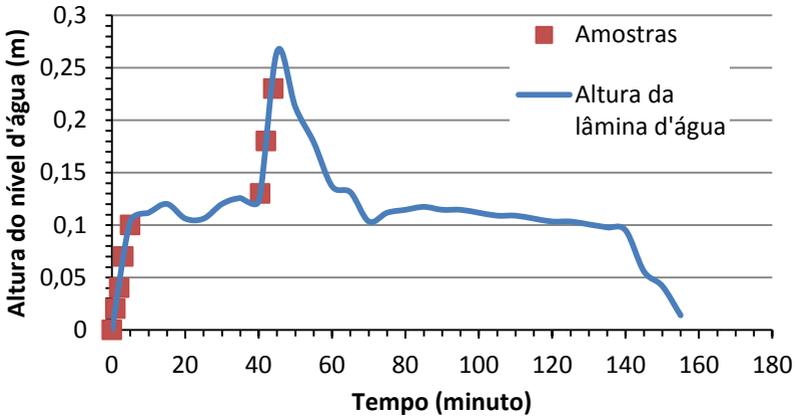
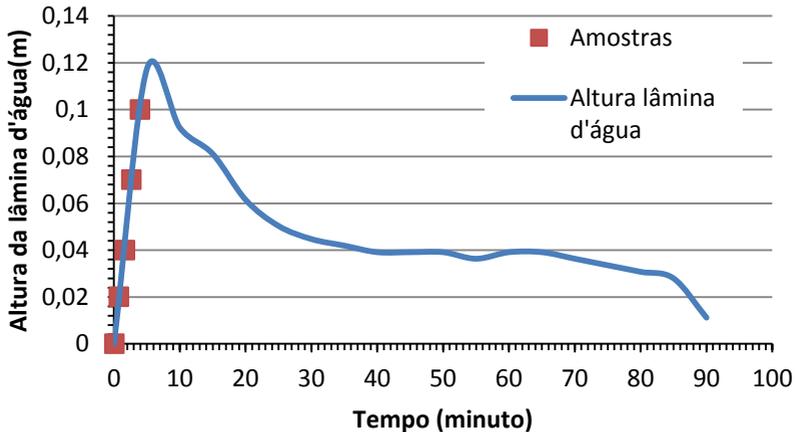


Figura 11: Tempo das amostras do evento 4.



Observa-se que por se tratar de um amostrador de nível ascendente, as amostras serão obtidas somente para a ascensão do pico do escoamento superficial. Não conseguindo representar as cargas até o final do evento.

4.2 ANÁLISES OBTIDAS PELO TURBIDÍMETRO

Além dos dados obtidos pelo amostrador de nível ascendente, a estrutura de estudo possui também um turbidímetro, no qual faz as medidas de turbidez numa variação de 5 minutos, conseguindo assim

realizar as medidas junto com a variação da lâmina d'água na tubulação. As Figuras 12 a 15 mostram as curvas da turbidez ao longo dos eventos.

Figura 12: Turbidez para evento 1.

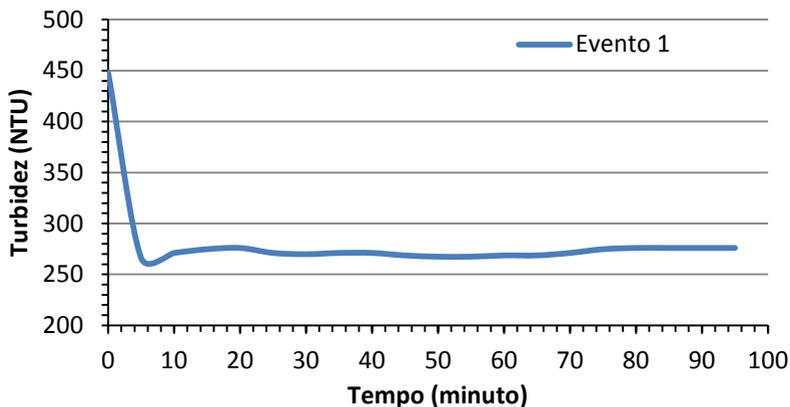


Figura 13: Turbidez para evento 2.

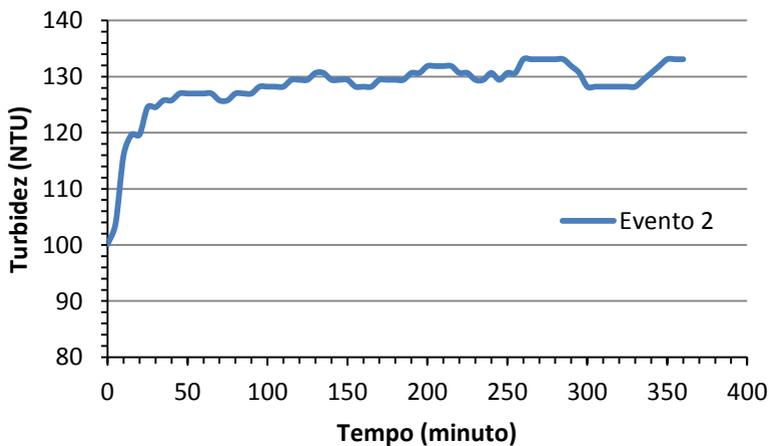


Figura 14: Turbidez para evento 3.

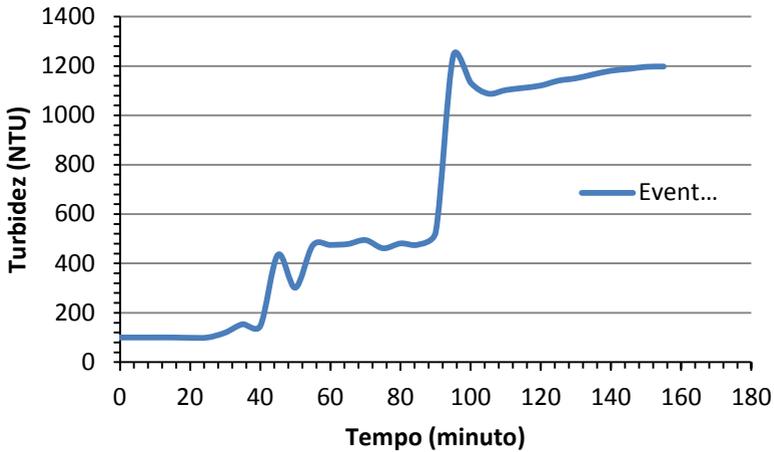
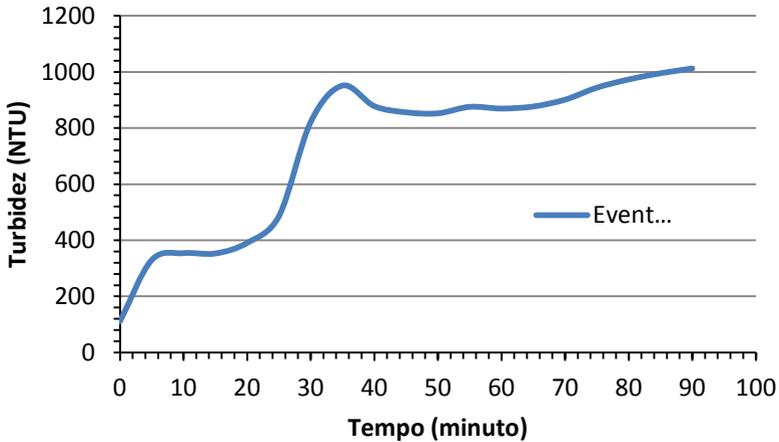


Figura 15: Turbidez para evento 4.

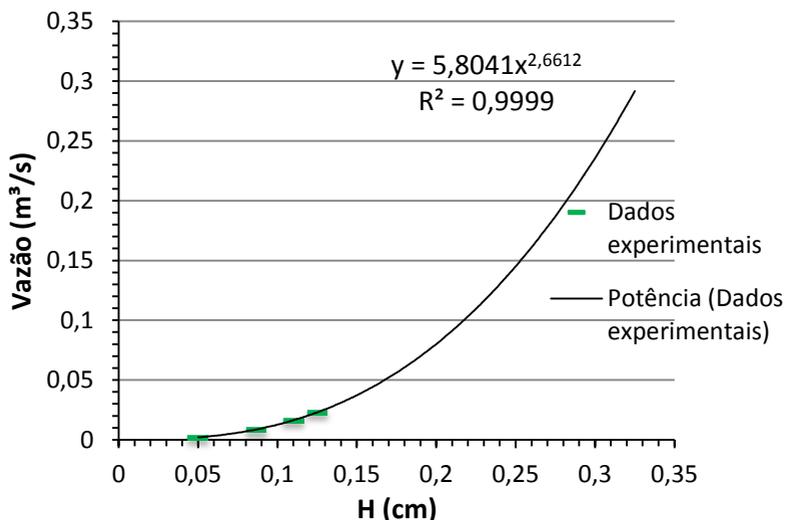


4.3 ESTUDO DA CARGA DE LAVAGEM

Para o cálculo da carga de lavagem foram escolhidos quatro eventos cujo período de coleta foi de 04/08/14 até 04/11/14, a Tabela 2 mostra os dados de qualidade da água utilizados para a elaboração dos polutogramas e posteriormente das curvas M(V).

A partir da curva-chave da tubulação (Figura 16) foi possível elaborar os hidrogramas para cada evento, dos quais provêm os volumes utilizados na criação da curva M(V).

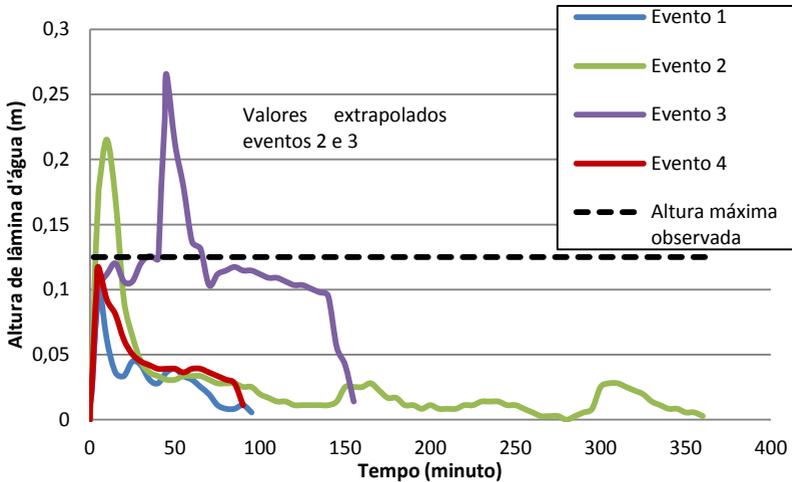
Figura 16: Curva-chave da tubulação de montante da vala de infiltração.



Fonte: Pacheco (2014).

Para o cálculo da vazão dos hidrogramas foram utilizadas as alturas da lâmina d'água para cada evento na equação da curva chave, sendo a altura máxima observada de 0,125 m, assim todo valor acima desta altura é um resultado criado a partir de uma extrapolação da curva-chave como mostram as figuras 17, 18 e 19. A figura 17 se refere às alturas de lâmina d'água obtida para todos os eventos ao longo do tempo, que tiveram sua medição realizada por um sensor de nível.

Figura 17: Alturas de lâmina d'água obtidas por eventos.



No cálculo da carga de lavagem foram aplicados 3 métodos distintos, o método de Gupta e Saul (1996), o método de Bertrand-Krajewski et al (1998) e o método de Deletic (1997), que serão chamados respectivamente de método 1, método 2 e método 3.

Sendo apresentados a seguir os resultados obtidos a partir do estudo da carga de lavagem e sua discussão.

4.3.1 Hidrogramas

As figuras 18 e 19 representam respectivamente os hidrogramas para os eventos 1 e 4, e 2 e 3, nos quais possuem a variação da Vazão (m^3/s) pelo Tempo (minuto).

Figura 18: Hidrograma dos eventos 1, 3 e 4.

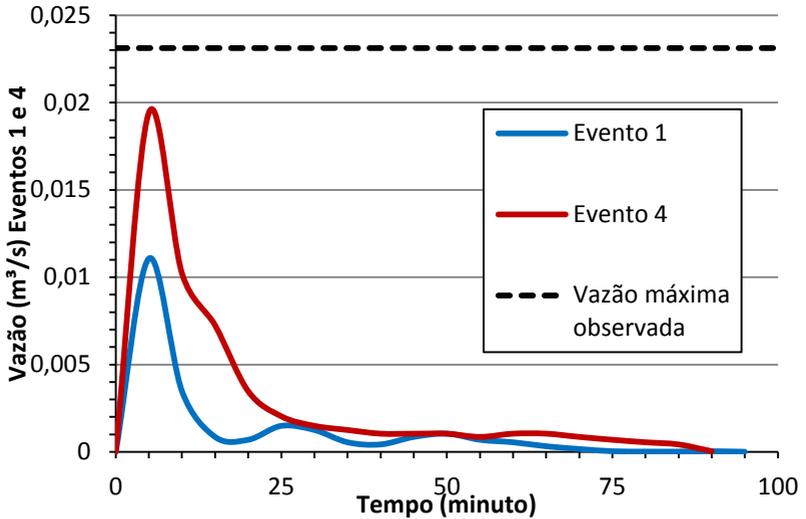
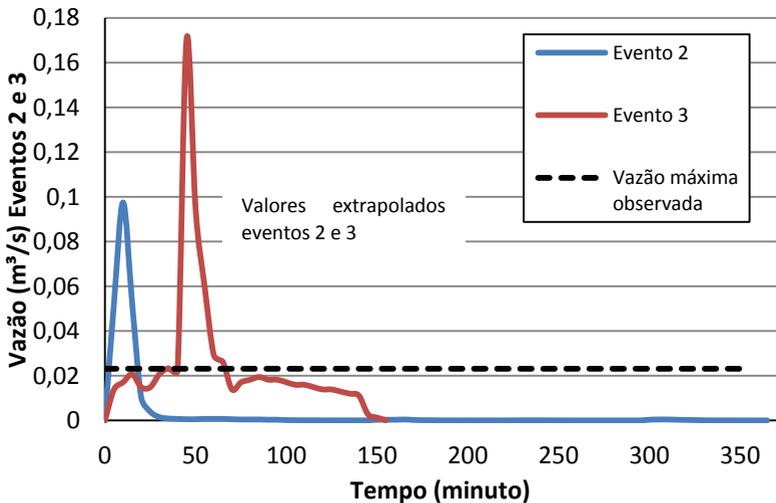


Figura 19: Hidrograma do evento 2.



Pode ser observado que para a todos os eventos o pico de vazão ocorre nos primeiros minutos de precipitação, e devido ao sistema de coleta adotado consegue-se apenas dados de qualidade da água para esse

período curto e não ao longo do evento. Os eventos podem ser classificados também como chuvas de convecção, por serem curtas e passageiras. A chuva do evento 3 é a que diverge um pouco das demais pois seu pico é um retardado em comparação as demais, mas é a que possui a maior vazão dentre os quatro eventos escolhidos.

4.3.2 Polutograma

A seguir são mostrados os polutogramas de cada evento feitos para cada tipo de análise realizada, em que são montadas curvas de variação da carga pela variação do tempo. Os polutogramas são mostrados nas figuras 20 a 26, para os respectivos parâmetros: pH, Turbidez, Condutividade Elétrica e DQO.

Figura 20: Polutograma de pH dos eventos 1,2, e 4.

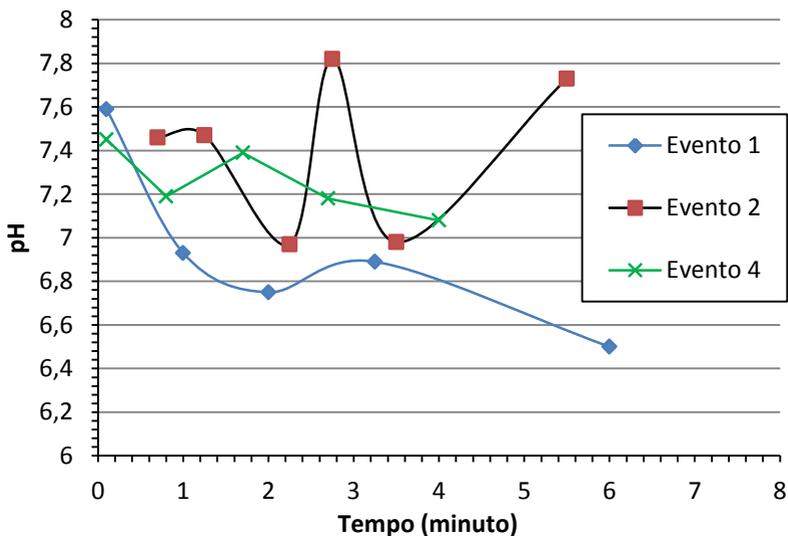


Figura 21: Polutograma de pH do evento 3.

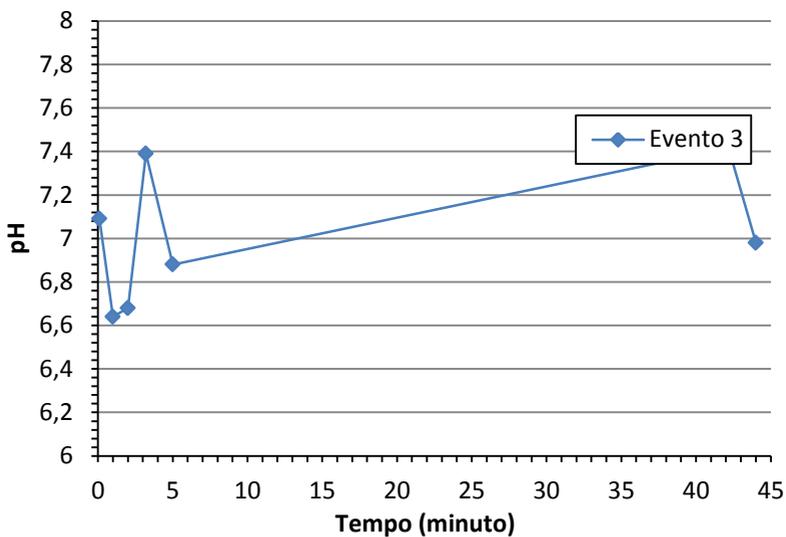


Figura 22: Polutograma de Turbidez dos eventos 1 e 2.

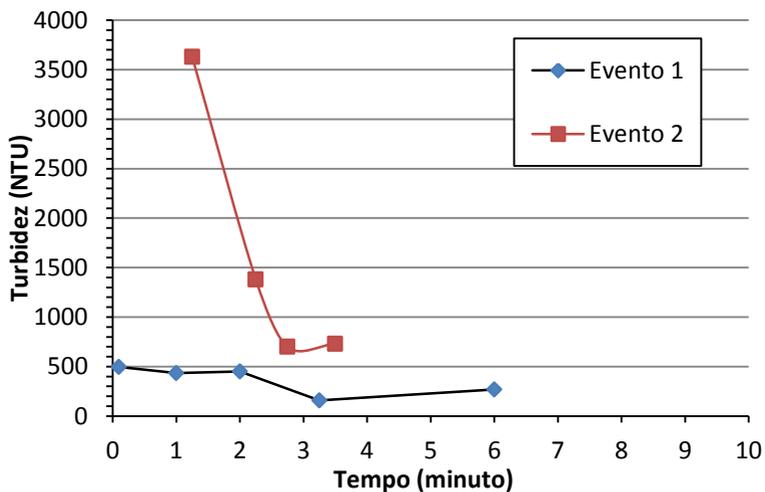


Figura 23: Polutograma de Turbidez do evento 3.

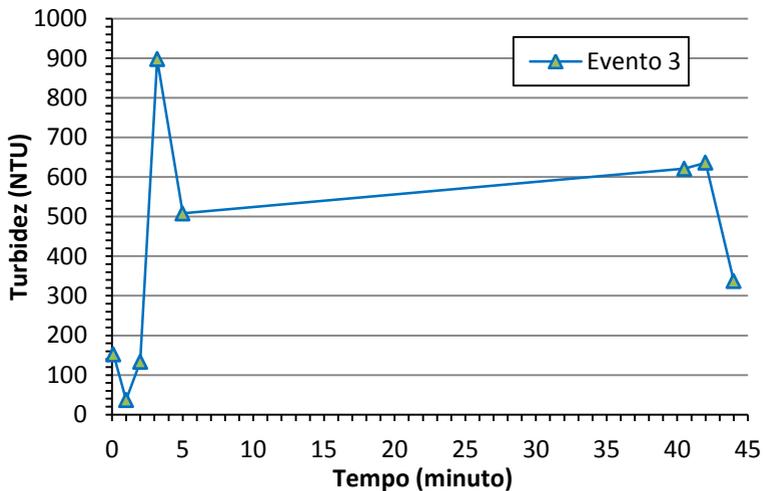


Figura 24: Polutograma de Condutividade Elétrica dos eventos 2 e 4.

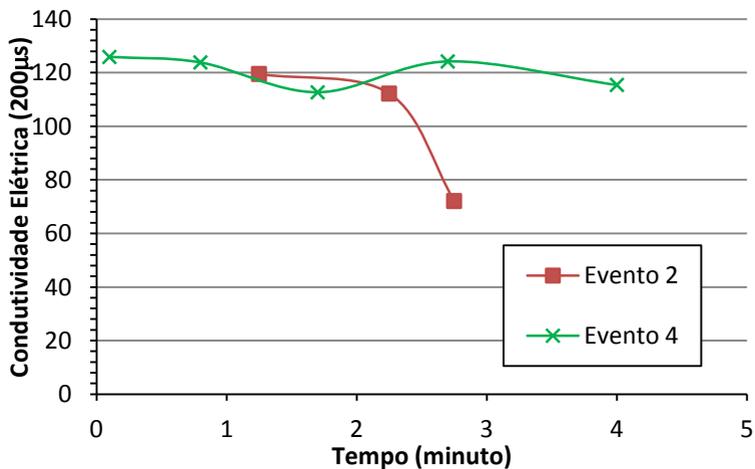


Figura 25: Polutograma de Condutividade Elétrica do evento 3.

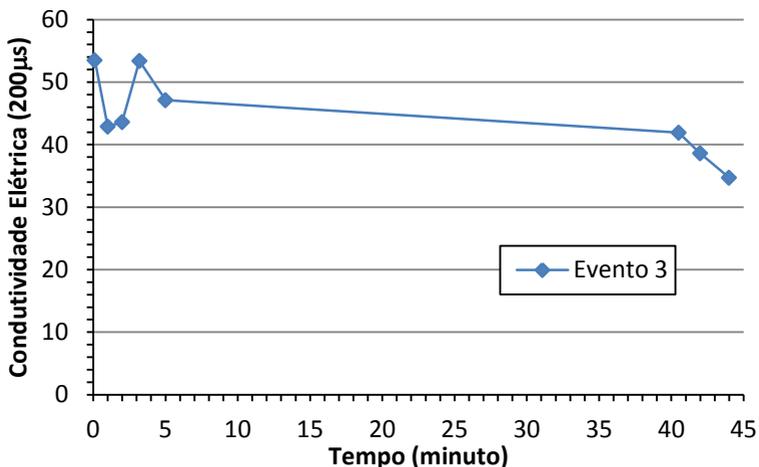
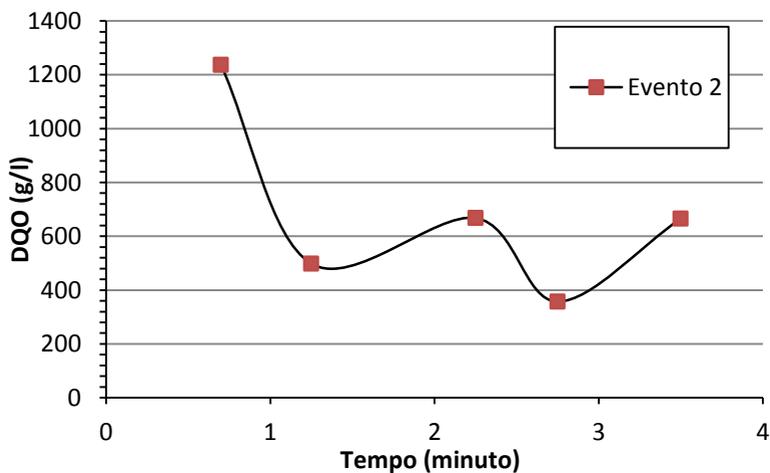


Figura 26: Polutograma de DQO do evento 2.



A partir dos polutogramas é possível observar nas Figuras 20 e 21 que o pH é um parâmetro que não varia muito, em todos os eventos ele permaneceu na faixa de 6,5 a 8, o que quer dizer que se encontra dentro dos limites de pH para águas não poluídas.

Já o polutograma de turbidez, nas Figuras 22 e 23, teve um pico de variação muito grande entre os eventos 1 em relação ao evento 2,

provavelmente pelo fato do evento 2 possuir um pico de vazão muito maior que os dois primeiros como mostram os hidrogramas, o que leva a maior arrasto das partículas da superfície pelo escoamento. O evento 3 apesar de possuir um volume muito superior em relação ao evento 2 porém seu volume de escoamento foi mais distribuído, assim não tendo tanta força para o arraste das partículas de poluentes.

Nas Figuras 24 e 25 pode-se perceber o valor elevado da condutividade elétrica, para os eventos 2 e 4 o valor é mais que o dobro do observado para o evento 3. Esse valor elevado pode ser indícios de poluição no local de estudo ou até mesmo spray de água do mar trazido pelo vento.

Para o polutograma de DQO, na Figura 26, não se tem um outro evento para a comparação, mas percebe-se a tendência de diminuição da carga ao longo do evento.

4.3.3 Curva M(V)

As curvas Massa vs Volume, ou M(V), são curvas utilizadas para a avaliação dos métodos de carga de lavagem na qual são plotadas a variação de carga de um parâmetro acumulada pela variação do volume ao longo de um evento de chuva, e dependendo do método escolhido resultará em existência do fenômeno ou não.

Para todos os eventos analisados neste estudo foi considerado somente o parâmetro de turbidez para a avaliação da carga de lavagem, cujos dados são provenientes do turbidímetro situado in loco e do resultado de turbidez lida em laboratório. As análises realizadas em laboratório com o material coletado do amostrador de nível não conseguem demonstrar o que acontece na recessão do pico da vazão na tubulação, assim não mostrando um resultado confiável para a avaliação do fenômeno.

Para a turbidez, no entanto, como o resultado das análises de laboratório está num intervalo de tempo em que o turbidímetro não tem sensibilidade para ler (5 em 5 minutos) os dados medidos pelo amostrador e do turbidímetro foram unidos, conseguindo assim representar a turbidez ao longo de todo o eventos.

Nos tópicos a seguir é mostrado o resultado da carga de lavagem para cada um dos métodos definidos para todos os evento.

Curva M(V) – Método 1

Nas Figuras 27 a 30 são representadas as curvas M(V), ou seja Massa vs Volume, para o parâmetro de Turbidez nos eventos 1, 2, 3 e 4 respectivamente. Mostrando a carga acumulada/carga total vs o tempo acumulado/tempo total e o volume acumulado/volume total vs o tempo acumulado/tempo total. Para a existência de carga de lavagem a diferença entre massa e volume deve ser positiva, assim aparecendo a curva Massa – Volume.

Figura 27: Turbidez Evento 1.

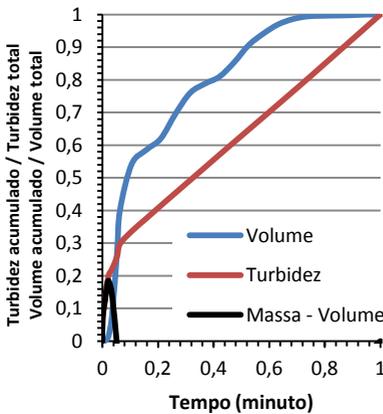


Figura 28: Turbidez Evento 2.

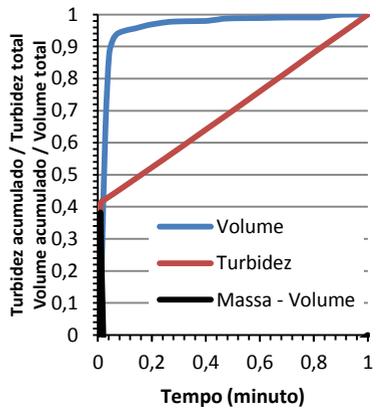


Figura x: Turbidez Evento 29.

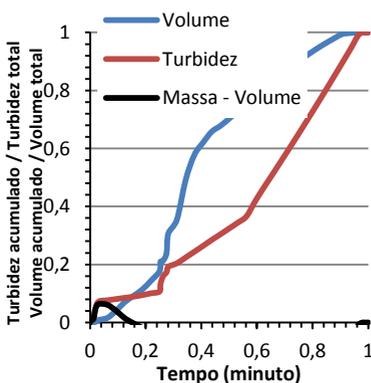
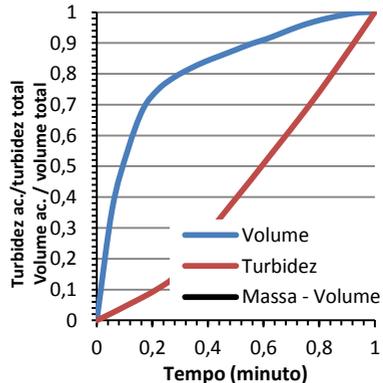


Figura 30: Turbidez Evento 4.



Segundo o método de avaliação do fenômeno de carga de lavagem de Gupta e Saul (1996) foi observado a existência do fenômeno nos eventos 1, 2 e 3, para a Turbidez. Como observado na tabela 2 o evento 4 não possui dado de amostragem no laboratório, podendo este ser um dos motivos para a não geração do fenômeno.

Nota-se que para o evento 2 ocorreu a maior divergência entre as curvas, mas é o evento 3 que possui o maior volume de água na tubulação. O evento 4 é o que possui o maior intervalo entre os dias sem evento, mas não mostrou o fenômeno.

Esses resultados são diferentes dos apresentados por Gupta e Saul (1996), pois os autores afirmam que os fatores temporais e espaciais influenciam no resultado.

Em relação a qualidade do escoamento observa-se que para o dimensionamento de uma nova estrutura na região do distrito do Campeche deve ser levado em conta a carga de lavagem para a turbidez segundo o método descrito por Gupta e Saul (1996).

Curva M(V) – Método 2

As Figuras 31 a 34 apresentam as curvas M(V) segundo a definição do método 2 para os eventos 1, 2, 3 e 4 respectivamente para o parâmetro de Turbidez, a bissetriz e o limite 30/80. O limite 30/80 quer dizer que para haver a carga de lavagem o valor da carga a 30% do volume total deve ser de pelo menos 80% da carga total, como descreve o método 2.

Figura 31: Evento 1 Turbidez.

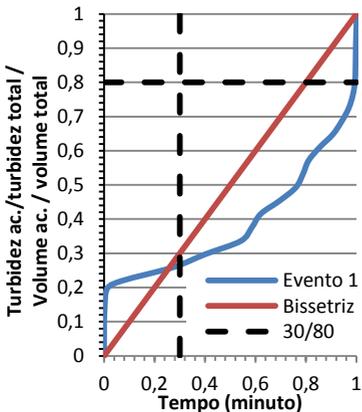


Figura 32: Evento 2 Turbidez.

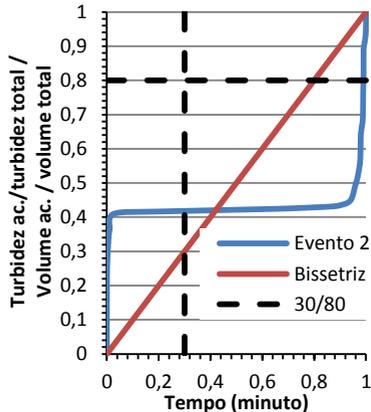


Figura 33: Evento 3 Turbidez.

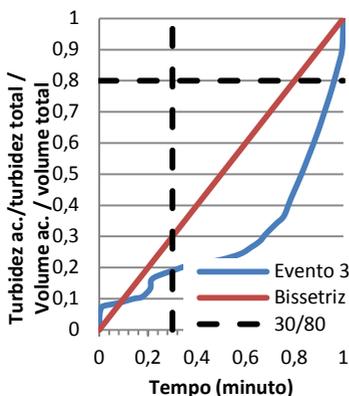
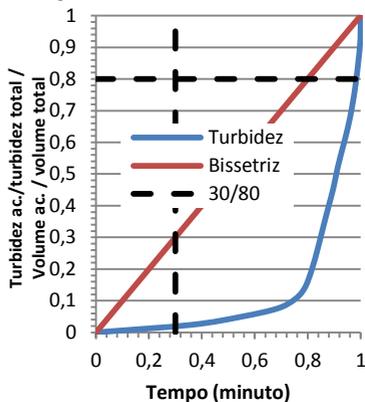


Figura 34: Evento 4 Turbidez.



Observa-se que para o método 2 não ocorreu a formação do evento de carga de lavagem. Provavelmente isto se dá pelo rigoroso critério utilizado pelo autor. Os resultados encontrados são semelhantes aos observados pelos autores, no qual encontraram a formação do evento em somente 1% dos eventos analisados.

Em relação a qualidade do escoamento para o dimensionamento de estruturas na região do distrito do Campeche o método 2 não mostra preocupações em relação a turbidez

Curvas M(V) – Método 3

As Figuras 35 a 38 mostram o resultado das curvas Massa vs Volume (M(V)) para o parâmetro de Turbidez para os eventos 1, 2, 3 e 4, respectivamente utilizando o método 3 para sua análise. Juntamente na figura aparece a bissetriz e o limite FF20, que representa os 20% de carga total do evento em 20% do volume total, quando a curva for superior a esse limite confirma a existência da carga de lavagem.

Figura 35: Evento 1 Turbidez.

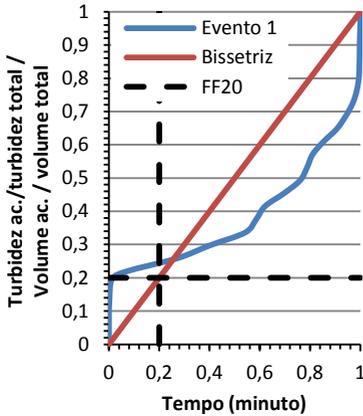


Figura 36: Evento 2 Turbidez.

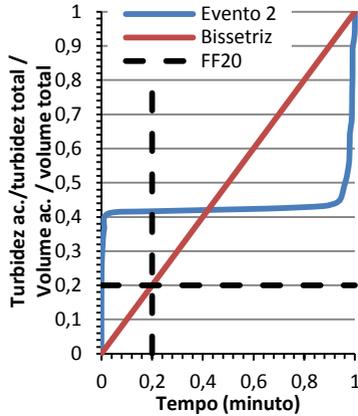


Figura 37: Evento 3 Turbidez.

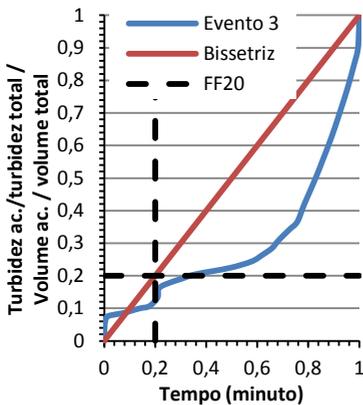
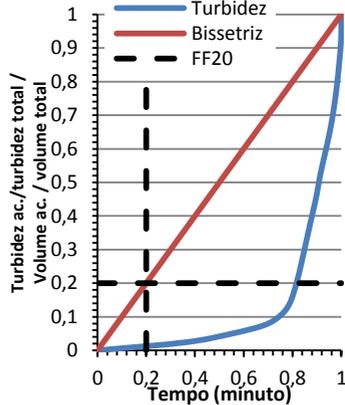


Figura 38: Evento 4 Turbidez.



Para o método de Deletic (1998), foi observado o fenômeno de carga de lavagem para os eventos 1 e 2, como observado nas Figuras 35 a 42, no qual os mesmos apresentavam a curva acima do FF20. Sendo FF20 o fator que indica a carga de lavagem quando a curva ultrapassa os 20% da carga total em 20% do volume total. Não consegue se ter uma relação espacial e temporal dos eventos.

Segundo o método 3 para um correto dimensionamento de uma estrutura de drenagem compensatória deve-se levar em consideração a turbidez.

Após o estudo de todos os eventos para todos os métodos é possível observar a diferença dos mesmos, em que no primeiro obteve-se uma ocorrência do fenômeno de carga de lavagem em $\frac{3}{4}$ dos eventos. Já para o segundo método não foi observada a presença do fenômeno, seus limites parecem muito rigorosos e fazem com que a carga de lavagem aconteça em eventos com uma grande carga no início dos mesmos. O terceiro método ao contrário do segundo define um critério pouco restritivo, assim pode-se observar a formação do fenômeno em dois dos quatro eventos.

O que indica que para toda estrutura compensatória de drenagem urbana nesta região deve-se levar em conta pelo menos a captação desta turbidez para um dimensionamento correto e que não acarrete em danos ao meio ambiente.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal o estudo e a aplicação de três métodos de avaliação do fenômeno de carga de lavagem em uma estrutura compensatória de drenagem urbana. Sendo o local de estudo uma bacia hidrográfica do distrito do Campeche no município de Florianópolis.

As amostras dos eventos foram obtidas a partir de um amostrador de nível ascendente, que estava ligado em uma prolongação da tubulação de montante da vala de infiltração e de um turbidímetro in loco. Para as amostras coletadas foram realizadas as análises de qualidade do escoamento de pH, Condutividade Elétrica, Turbidez e DQO.

Para a utilização nos métodos de carga de lavagem foram utilizados somente os dados de turbidez, visto que os demais conseguiam demonstrar a variação dos parâmetros apenas na ascensão do pico de vazão da tubulação, deixando estes dados não confiáveis.

Após a montagem das Curvas $M(V)$ para cada método foi possível fazer a interpretação das mesmas e foi observada a existência do fenômeno da carga de lavagem na estrutura estudada em dois dos três métodos. No método 1 sua existência foi em 3/4 dos eventos. Já no método 3 a aparição do fenômeno foi em 50% dos eventos. O método 2 foi o que não possuiu nenhum evento com a existência da carga de Lavagem.

Com relação ao dimensionamento das estruturas compensatórias devido a formação do evento na estrutura estudada deve-se levar em consideração a turbidez para um correto controle dos poluentes.

Para a estrutura estudada foi escolhido o método 1 como sendo o que melhor consegue representar a estrutura e os mecanismos de coleta existentes nela, pois leva em consideração o tempo nas suas curvas e não somente a relação entre carga e volume. E também por ser o mais restrito em relação as cargas poluidora, pois foi o que apresentou maior ocorrência do evento.

REFERÊNCIAS

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: American Public Health Association, 2012.

BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, NASCIMENTO, N. O. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 1 Ed. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.

BARBOSA, C. M. S.; MATTOS, A. **Conceitos e Diretrizes para Recarga Artificial de Aquíferos**. São Paulo: Águas Subterrâneas, 2008. 12 p.

BRITES, A. P. Z.. **Avaliação da Qualidade da Água e dos Resíduos Sólidos no Sistema de Drenagem Urbana**. 2005. 177 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

BERTRAND-KRAJEWSKI, J.; CHEBBO, G.; SAGET, A. Distribution of Pollutant Mass Vs Volume in Stormwater Discharges and the First Flush Phenomenon. **Water Research**, Great Britain, v. 32, n. 8, p. 2341-2356, Ago.. 1998.

CAMPANA, N. A.; BERNARDES, R.S. Qualidade do Escoamento na Rede de Drenagem Pluvial Urbana: A Situação de Brasília. **Revista de Gestão da Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 53-65, jul./dez. 2010.

DELETIC, A. The First Flush Load of Urban Surface Runoff. **Water Research**. v. 32, n. 8, p. 2462-2470, 1998.

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

FRENDRICH, R. **Coleta, Armazenamento, Utilização e infiltração das Águas Pluviais na Drenagem Urbana**. 2002. 499 f.. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) Curso de Pós-Graduação em Geologia Ambiental – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

GUPTA, K.; SAUL, A. J. Specific Relationships for the First Flush Load in Combined Sewer Flows. **Water Research**, Great Britain, v. 30, n. 5, p. 1244-1252, mai.. 1996.

PAZ, M. F. **Estudo Comparativo Da Carga De Lavagem Em Bacias Urbana E Rural**. 2004. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

PACHECO, E. F. Qualificação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Avaliação do desempenho de duas estruturas alternativas de controle de drenagem em termos de retenção de contaminantes e sedimentos implantadas no município de Florianópolis. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2014.

RANZINI, M.; RIGHETTO, A. M.; GUANDIQUE, M. E. G.; MORAES, J. M.; ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Modelagem Hidrológica de uma Microbacia Florestada da Serra do Mar, SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 33-44, Out./Dez.. 2004.

RIGHETTO, A. M. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. 1. Ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 396 p.

SÃO PAULO (cidade). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; fundamentos. São Paulo: SMDU, 2012. 220p. il. v.2

SILVA. A. H. C L da. **Controle da poluição difusa de origem pluvial em uma via de tráfego intenso por meio de trincheira de**

infiltração e vala de detenção. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SOUZA, M. M.. **Carga de Poluição Difusa em Bacias Hidrográficas com Diferentes Impactos Antrópicos.** 2012. 181 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-7, Jan./Mar.. 2002.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C.. **Inundações Urbanas na América do Sul.** 1. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 150 p.

XAVIER, C. F. **Avaliação da Influência do Uso e Ocupação do Solo e de Características Geomorfológicas Sobre a Qualidade das Águas de Dois Reservatórios da Região Metropolitana de Curitiba – Paraná.** 2005. 150 f.. Dissertação (mestrado em Ciências do Solo) Curso de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.