

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS NO SISTEMA DE DRENAGEM  
URBANA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Ana Paula Zubiaurre Brites**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2005**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS NO SISTEMA DE DRENAGEM  
URBANA**

por

**Ana Paula Zubiaurre Brites**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS) como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

**Orientador: Prof.<sup>a</sup>Dr<sup>a</sup>. Maria do Carmo Cauduro Gastaldini**

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E DOS RESÍDUOS  
SÓLIDOS NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA**

elaborada por

**Ana Paula Zubiaurre Brites**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Civil**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria do Carmo Cauduro Gastaldini  
(Presidente/Orientador)**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Monica Ferreira do Amaral Porto (USP)**

---

**Prof. Dr. Carlos Ernando da Silva (UFSM)**

Santa Maria, 25 de Fevereiro de 2005.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, José Lander e Maria Suzana, e meus queridos irmãos, Fabrício, Laura e Tiago, pelo amor, incentivo e compreensão em todos os momentos.

Ao meu grande colega e companheiro Joaquin Bonnacarrère Garcia por todo apoio, incentivo, dedicação e amor.

A professora Maria do Carmo Cauduro Gastaldini pela oportunidade, orientação e, principalmente, amizade nestes últimos anos.

Aos professores João Batista Dias de Paiva e Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva pelo apoio e atenção.

As colegas de mestrado, Juliana Scapin e Lidiane Barroso, pela amizade e companheirismo no decorrer do trabalho.

Aos bolsistas de iniciação científica Geovane Righi, Júlio César Cerezer, Marcelo P. Jorge, Renato Geller, Sabrina Hagemann, Thiago Zanini, pela amizade e auxílio nos trabalhos de campo e laboratório.

Ao servidor técnico e amigo Alcides Satori pelos serviços de campo.

Ao professor Carlos Ernando da Silva pelos esclarecimentos nos trabalhos de laboratório.

Aos grandes amigos, Luis e Cristina Bonnacarrère, pelo carinho, amparo e compreensão.

Ao grupo GHIDROS pelas instalações e equipamentos utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

Ao CT-HIDRO pelo financiamento à pesquisa e a CAPES pela bolsa de mestrado concedida.

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA**

Autor: Ana Paula Zubiaurre Brites

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria do Carmo Cauduro Gastaldini

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 25 de Fevereiro de 2005.

O desenvolvimento deste trabalho teve como objetivo avaliar a carga poluente da água e de resíduos sólidos, veiculados pela rede de drenagem urbana, em duas bacias hidrográficas, localizadas na cidade de Santa Maria - RS, onde os resultados encontrados foram comparados entre si, obtendo-se um prognóstico quanto aos fatores intervenientes, alterando variáveis como: precipitação, uso e ocupação do solo, características físicas da área e período de tempo seco antecedente ao evento. A bacia hidrográfica Cancela possui área de 4,95km<sup>2</sup>, com 56% da área urbana; a bacia Alto da Colina possui área de 3,34 km<sup>2</sup>, com 22,3% da área urbana. As características de qualidade da água foram avaliadas através dos parâmetros: DBO<sub>5</sub>, coliformes totais e fecais, condutividade elétrica, turbidez, pH, sólidos suspensos e temperatura. Os resíduos sólidos foram avaliados através da quantificação em peso e volume. Os resultados indicam que a bacia hidrográfica Cancela apresentou carga difusa e de resíduos maior que a bacia hidrográfica Alto da Colina, mostrando o processo de degradação, associado às características de cada área estudada, como tamanho e, principalmente, uso e ocupação do solo. As duas áreas apresentam processo de degradação elevado devido às atividades antrópicas, como o crescimento da urbanização, o despejo de esgoto e lançamento de resíduos sólidos nos corpos receptores.

## **ABSTRACT**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

## **EVALUATION OF WATER QUALITY AND LITTER IN THE URBAN DRAINAGE SYSTEM**

Author: Ana Paula Zubiaurre Brites  
Advisor: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria do Carmo Cauduro Gastaldini  
Date and Local: Santa Maria, 25<sup>th</sup> February 2005

This work was developed to evaluate the pollutant load of water and litter, transmitted by the net of urban drainage, in two catchments, located at Santa Maria – RS. Water quality and litter data were collected and compared between catchments and used to determine how they are affected by variables such as precipitation, land use, physical characteristic of the area and antecedent dry weather period. The catchment Cancela area is 4,95km<sup>2</sup>, with 56% of urban area; the size of catchment Alto da Colina is 3,34 km<sup>2</sup>, with 22,3% of urban area. Water quality characteristics were evaluated through the parameters: BOD, total and faecal coliforms, electric conductivity, turbidity, pH, solid suspended and temperature. The litter were appraise through the quantification in weight and volume. The results indicate that the catchment Cancela presented larger diffuse and litter load than the catchment Alto da Colina, showing the degradation process, associate to the characteristics of each studied area, as size and, mainly, to use and occupation of the soil. The two areas present high degradation process due to human activities such as the growth of urbanization, the sewer spilling and release of litter in the receiving bodies.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Localização geográfica da Bacia Hidrográfica Cancela e Alto da Colina, no município de Santa Maria – RS.....	45
FIGURA 2 - Localização das estações de monitoramento da Bacia Hidrográfica Cancela. ....	46
FIGURA 3 - Estações fluviométrica e de qualidade da água da Bacia Hidrográfica Cancela. ....	47
FIGURA 4 - Localização das estações de monitoramento da Bacia Hidrográfica Alto da Colina. ....	48
FIGURA 5 - Desenho ilustrativo do Amostrador de Nível Ascendente instalado na seção de amostragem da Bacia Hidrográfica Cancela.....	55
FIGURA 6 - Desenho ilustrativo do Amostrador de Nível Descendente, frente-verso, instalado na seção de amostragem da Bacia Hidrográfica Cancela. ....	57
FIGURA 7 - Detalhe do sistema de abertura do Amostrador de Nível Descendente.	57
FIGURA 8 - Definição da carga de lavagem segundo Gupta & Saul, 1996a. (Adaptado de Bertrand et al.,1998). ....	59
FIGURA 9 - Representação das Curvas M(V) em relação ao bissetor. (Adaptado de Bertrand et al.,1998).....	60
FIGURA 10 - Desenho esquemático com a disposição das duas redes coletoras instaladas na Bacia Hidrográfica Cancela.....	66
FIGURA 11 - Foto das redes coletoras de resíduos na Bacia Hidrográfica Cancela: (A) primeira rede e (B) segunda rede.....	66
FIGURA 12 - Foto da rede coletora de resíduo na Bacia Hidrográfica Alto da Colina. ....	67
FIGURA 13 - Correlação entre $SS_v$ e $SS_f$ .....	73
FIGURA 14 - Correlação entre $SS_v$ e $DBO_5$ .....	73
FIGURA 15 - Correlação entre coletas superficiais e dos amostradores – Parâmetro: $DBO_5$ .....	74
FIGURA 16 - Correlação entre coletas superficiais e dos amostradores – Parâmetro: CT .....	74
FIGURA 17 - Correlação entre coletas superficiais e dos amostradores – Parâmetro: CF .....	74

FIGURA 18 - Correlação entre coletas superficiais e dos amostradores – Parâmetro: SSf .....	75
FIGURA 19 - Correlação entre coletas superficiais e dos amostradores – Parâmetro: SSv.....	75
FIGURA 20 - Curvas M(V) do parâmetro DBO <sub>5</sub> dos eventos analisados .....	79
FIGURA 21 - Curvas M(V) do parâmetro CT dos eventos analisados .....	80
FIGURA 22 - Curvas M(V) do parâmetro CF dos eventos analisados .....	80
FIGURA 23 - Curvas M(V) do parâmetro Condutividade dos eventos analisados ....	81
FIGURA 24 - Curvas M(V) do parâmetro Turbidez dos eventos analisados .....	81
FIGURA 25 - Curvas M(V) do parâmetro SSt dos eventos analisados .....	82
FIGURA 26 - Curvas M(V) do parâmetro SSv dos eventos analisados .....	82
FIGURA 27 - Curvas M(V) do parâmetro Temperatura dos eventos analisados.....	83
FIGURA 28 - Curvas M(V) do parâmetro pH dos eventos analisados .....	83
FIGURA 29 - Curvas Máxima Divergência – DBO <sub>5</sub> – Eventos: 01/02/04 - 02/03/04 - 13/03/04 - 22/04/04 - 23/06/04 .....	84
FIGURA 30 - Curvas Máxima Divergência – DBO <sub>5</sub> – Eventos: 13/07/04 - 28/07/04 - 06/08/04 - 17/08/04 - 10/09/04 .....	85
FIGURA 31 - Curvas Máxima Divergência – DBO <sub>5</sub> – Eventos: 12/10/04 - 16/10/04 - 03/11/04 - 09/11/04 - 06/12/04 .....	85
FIGURA 32 - Curvas Máxima Divergência – CT – Eventos: 01/02/04 - 02/03/04 - 13/03/04 - 22/04/04 - 23/06/04 .....	86
FIGURA 33 - Curvas Máxima Divergência – CT – Eventos: 01/02/04 - 02/03/04 - 13/03/04 - 22/04/04 - 23/06/04 .....	86
FIGURA 34 - Curvas Máxima Divergência – CT – Eventos: 12/10/04 - 16/10/04 - 03/11/04 - 09/11/04 - 06/12/04 .....	87
FIGURA 35 - Curvas Máxima Divergência – CF – Eventos: 01/02/04 - 02/03/04 - 13/03/04 - 22/04/04 - 23/06/04 .....	87
FIGURA 36 - Curvas Máxima Divergência – CF – Eventos: 13/07/04 - 28/07/04 - 06/08/04 - 17/08/04 - 10/09/04 .....	88
FIGURA 37 - Curvas Máxima Divergência – CF – Eventos: 12/10/04 - 16/10/04 - 03/11/04 - 09/11/04 - 06/12/04 .....	88
FIGURA 38 - Curvas Máxima Divergência – Temperatura – Eventos: 01/02/04 - 02/03/04 - 13/03/04 - 22/04/04 - 23/06/04 .....	89

FIGURA 39 - Curvas Máxima Divergência – Temperatura – Eventos: 13/07/04 - 28/07/04 - 06/08/04 - 17/08/04 - 10/09/04 .....	89
FIGURA 40 - Curvas Máxima Divergência – Temperatura – Eventos: 12/10/04 - 16/10/04 - 03/11/04 - 09/11/04 - 06/12/04 .....	90
FIGURA 41 - Curvas Máxima Divergência – Condutividade – Eventos: 01/02/04 - 02/03/04 - 13/03/04 - 22/04/04 - 23/06/04 .....	90
FIGURA 42 - Curvas Máxima Divergência – Condutividade – Eventos: 13/07/04 - 28/07/04 - 06/08/04 - 17/08/04 - 10/09/04 .....	91
FIGURA 43 - Curvas Máxima Divergência – Condutividade – Eventos: 12/10/04 - 16/10/04 - 03/11/04 - 09/11/04 - 06/12/04 .....	91
FIGURA 44 - Curvas Máxima Divergência – pH – Eventos: 01/02/04 - 02/03/04 - 13/03/04 - 22/04/04 - 23/06/04 .....	92
FIGURA 45 - Curvas Máxima Divergência – pH – Eventos: 13/07/04 - 28/07/04 - 06/08/04 - 17/08/04 - 10/09/04 .....	92
FIGURA 46 - Curvas Máxima Divergência – pH – Eventos: 12/10/04 - 16/10/04 - 03/11/04 - 09/11/04 - 06/12/04 .....	93
FIGURA 47 - Curvas Máxima Divergência – Turbidez – Eventos: 01/02/04 - 02/03/04 - 13/03/04 - 22/04/04 - 23/06/04 .....	93
FIGURA 48 - Curvas Máxima Divergência – Turbidez – Eventos: 13/07/04 - 28/07/04 - 06/08/04 - 17/08/04 - 10/09/04 .....	94
FIGURA 49 - Curvas Máxima Divergência – Turbidez – Eventos: 12/10/04 - 16/10/04 - 03/11/04 - 09/11/04 - 06/12/04 .....	94
FIGURA 50 - Curvas Máxima Divergência – SSt – Eventos: 01/02/04 - 02/03/04 - 13/03/04 - 22/04/04 - 23/06/04 .....	95
FIGURA 51 - Curvas Máxima Divergência – SSt – Eventos: 13/07/04 - 28/07/04 - 06/08/04 - 17/08/04 - 10/09/04 .....	95
FIGURA 52 - Curvas Máxima Divergência – SSt – Eventos: 12/10/04 - 16/10/04 - 03/11/04 - 09/11/04 - 06/12/04 .....	96
FIGURA 53 - Curvas Máxima Divergência – SSv - Eventos: 01/02/04 - 02/03/04 - 13/03/04 - 22/04/04 - 23/06/04 .....	96
FIGURA 54 - Curvas Máxima Divergência – SSv – Eventos: 13/07/04 - 28/07/04 - 06/08/04 - 17/08/04 - 10/09/04 .....	97
FIGURA 55 - Curvas Máxima Divergência – SSv – Eventos: 12/10/04 - 16/10/04 - 03/11/04 - 09/11/04 - 06/12/04 .....	97

FIGURA 56 - Fotos das redes coletoras com resíduos sólidos nas Bacias Hidrográficas Alto da Colina (A) e Cancela (B) .....	100
FIGURA 57 - Correlação entre volume de resíduos sólidos transportados e o volume escoado para cada evento. ....	104
FIGURA 58 - Correlação entre volume de resíduos sólidos transportados e precipitação total para cada evento.....	105
FIGURA 59 - Correlação entre volume de resíduos sólidos transportados e o volume escoado os eventos da bacia Alto da Colina.....	109
FIGURA 60 - Correlação entre volume de resíduos sólidos transportados e a precipitação total nos eventos da bacia Alto da Colina. ....	109
FIGURA 61 - Composição dos resíduos sólidos inorgânicos na Bacia Hidrográfica Cancela no período de 08/04/04 a 07/12/04 .....	110
FIGURA 62 - Composição dos resíduos sólidos inorgânicos na Bacia Hidrográfica Alto da Colina no período de 18/06/04 a 07/12/04 .....	110
FIGURA 63 – Correlação entre a carga de DBO <sub>5</sub> e o volume de resíduos transportados durante um mesmo evento.....	112
FIGURA 64 – Hidrograma do Evento 31/01/02 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	130
FIGURA 65 – Hidrograma do Evento 02/03/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	131
FIGURA 66 – Hidrograma do Evento 13/03/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	132
FIGURA 67 – Hidrograma do Evento 08/04/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	134
FIGURA 68– Hidrograma do Evento 22/04/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	135
FIGURA 69 – Hidrograma do Evento 10/06/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	136
FIGURA 70 – Hidrograma do Evento 23/06/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	137
FIGURA 71 – Hidrograma do Evento 13/07/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	139
FIGURA 72 – Hidrograma do Evento 29/07/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	140
FIGURA 73 – Hidrograma do Evento 06/08/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	141
FIGURA 74 – Hidrograma do Evento 17/08/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	143
FIGURA 75 – Hidrograma do Evento 10/09/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	145
FIGURA 76 – Hidrograma do Evento 20/09/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	147
FIGURA 77 – Hidrograma do Evento 12/10/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	149
FIGURA 78 – Hidrograma do Evento 16/10/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	150
FIGURA 79 – Hidrograma do Evento 23/10/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	152
FIGURA 80 – Hidrograma do Evento 03/11/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	154
FIGURA 81 – Hidrograma do Evento 09/11/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	155

FIGURA 82 – Hidrograma do Evento 06/12/04 – Bacia Hidrográfica Cancela.....	157
FIGURA 83 – Hidrograma do Evento 10/06/04 – Bacia Hidrográfica Alto da Colina .....	159
FIGURA 84– Hidrograma do Evento 29/07/04 – Bacia Hidrográfica Alto da Colina	160
FIGURA 85 – Hidrograma do Evento 06/08/04 – Bacia Hidrográfica Alto da Colina .....	163
FIGURA 86– Hidrograma do Evento 20/09/04 – Bacia Hidrográfica Alto da Colina	164
FIGURA 87 – Hidrograma do Evento 12/10/04 – Bacia Hidrográfica Alto da Colina .....	166
FIGURA 88 – Hidrograma do Evento 16/10/04 – Bacia Hidrográfica Alto da Colina .....	168
FIGURA 89 – Hidrograma do Evento 03/11/04 – Bacia Hidrográfica Alto da Colina .....	170
FIGURA 90 – Hidrograma do Evento 09/11/04 – Bacia Hidrográfica Alto da Colina .....	172
FIGURA 91– Hidrograma do Evento 06/12/04 – Bacia Hidrográfica Alto da Colina	176

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Resumo da quantificação de resíduos na drenagem urbana .....	39
TABELA 2 - Resultados do monitoramento de resíduos sólidos do dia 27/01/1995. 40	40
TABELA 3 - Resultados do monitoramento de resíduos sólidos do dia 06/04/1995 .41	41
TABELA 4 - Características físicas da Bacia Hidrográfica Cancela. ....	48
TABELA 5 – Uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica Cancela.....	49
TABELA 6 - Uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica Alto da Colina.....	49
TABELA 7 - Relação nível-garrafa do amostrador de nível ascendente, ANA, instalado na Bacia Hidrográfica do Cancela.....	54
TABELA 8 - Relação nível-garrafa do amostrador de nível descendente, AND, instalado na Bacia Hidrográfica do Cancela.....	56
TABELA 9 - Característica de qualidade da água em tempo seco determinadas na Bacia Hidrográfica do Cancela .....	70
TABELA 10 - Concentrações Médias dos Eventos Monitorados na Bacia Hidrográfica do Cancela. ....	72
TABELA 11 - Massa total transportada pelo escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Cancela.....	76
TABELA 12 - Carga difusa total transportada pelo escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Cancela.....	77
TABELA 13 - Massa total transportada pelo escoamento superficial na Bacia Hidrográfica Alto da Colina.....	78
TABELA 14 - Carga difusa transportada pelo escoamento superficial na Bacia Hidrográfica Alto da Colina.....	78
TABELA 15 - Resultado da carga de lavagem segundo Gupta e Saul (1996a) na Bacia Hidrográfica Cancela.....	98
TABELA 16 - Resultado da carga de lavagem segundo Gupta e Saul (1996a) na Bacia Hidrográfica Alto da Colina.....	99
TABELA 17 - Resultado das coletas de resíduos sólidos na Bacia Hidrográfica Cancela .....	102
TABELA 18 - Contribuição de resíduos sólidos, peso e volume, em função da área na Bacia Hidrográfica Cancela.....	103
TABELA 19 - Contribuição de resíduos sólidos, peso, em função do número de habitantes na Bacia Hidrográfica Cancela. ....	103

TABELA 20 - Volume de resíduos sólidos quantificado e as características da precipitação para cada evento monitorado na Bacia Hidrográfica Cancela .....	104
TABELA 21 - Resultado das coletas de resíduos sólidos na Bacia Hidrográfica Alto da Colina .....	106
TABELA 22 - Contribuição de resíduos sólidos em função da área na Bacia Hidrográfica Alto da Colina.....	107
TABELA 23 - Contribuição de resíduos sólidos em função do número de habitantes na Bacia Hidrográfica Alto da Colina.....	108
TABELA 24 - Volume de resíduo sólido retido com as características da precipitação para os eventos monitorados na Bacia Hidrográfica Alto da Colina.....	108
TABELA 25 – Dados das coletas realizadas durante o escoamento superficial na Bacia Hidrográfica Cancela .....	124
TABELA 26 – Discretização do evento do dia 31/01/04 - Bacia Hidrográfica Cancela .....	130
TABELA 27 – Discretização do evento do dia 02/03/04 - Bacia Hidrográfica Cancela .....	131
TABELA 28 – Discretização do evento do dia 13/03/04 - Bacia Hidrográfica Cancela .....	133
TABELA 29 – Discretização do evento do dia 08/04/04 - Bacia Hidrográfica Cancela .....	134
TABELA 30 – Discretização do evento do dia 22/04/04 - Bacia Hidrográfica Cancela .....	135
TABELA 31 – Discretização do evento do dia 10/06/04 - Bacia Hidrográfica Cancela .....	136
TABELA 32 – Discretização do evento do dia 23/06/04 - Bacia Hidrográfica Cancela .....	138
TABELA 33 – Discretização do evento do dia 13/07/04 - Bacia Hidrográfica Cancela .....	139
TABELA 34 – Discretização do evento do dia 29/07/04 - Bacia Hidrográfica Cancela .....	140
TABELA 35– Discretização do evento do dia 06/08/04 - Bacia Hidrográfica Cancela .....	141
TABELA 36 – Discretização do evento do dia 17/08/04 - Bacia Hidrográfica Cancela .....	144

TABELA 37 – Discretização do evento do dia 10/09/04 - Bacia Hidrográfica Cancela	146
TABELA 38 – Discretização do evento do dia 20/09/04 Bacia Hidrográfica Cancela	147
TABELA 39 – Discretização do evento do dia 12/10/04 - Bacia Hidrográfica Cancela	149
TABELA 40 – Discretização do evento do dia 16/10/04 - Bacia Hidrográfica Cancela	150
TABELA 41 – Discretização do evento do dia 23/10/04 - Bacia Hidrográfica Cancela	152
TABELA 42 – Discretização do evento do dia 03/11/04 - Bacia Hidrográfica Cancela	154
TABELA 43 – Discretização do evento do dia 09/11/04 - Bacia Hidrográfica Cancela	156
TABELA 44 – Discretização do evento do dia 06/12/04 - Bacia Hidrográfica Cancela	157
TABELA 45– Discretização do evento do dia 10/06/04 na Bacia Hidrográfica Alto da Colina	159
TABELA 46– Discretização do evento do dia 29/07/04 na Bacia Hidrográfica Alto da Colina	160
TABELA 47 – Discretização do evento do dia 06/08/04 na Bacia Hidrográfica Alto da Colina	163
TABELA 48 – Discretização do evento do dia 20/09/04 na Bacia Hidrográfica Alto da Colina	164
TABELA 49 – Discretização do evento do dia 12/10/04 na Bacia Hidrográfica Alto da Colina	166
TABELA 50 – Discretização do evento do dia 16/10/04 na Bacia Hidrográfica Alto da Colina	168
TABELA 51 – Discretização do evento do dia 03/11/04 na Bacia Hidrográfica Alto da Colina	171
TABELA 52 – Discretização do evento do dia 09/11/04 na Bacia Hidrográfica Alto da Colina	173
TABELA 53– Discretização do evento do dia 06/12/04 na Bacia Hidrográfica Alto da Colina	176

## LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AC-I	Estação de monitoramento Alto da Colina I
AC-II	Estação de monitoramento Alto da Colina II
ANA	Amostrador de nível descendente
AND	Amostrador de nível ascendente
C	Concentração
C(t)	Concentração no tempo t
CF	Coliformes fecais
cm	Centímetro
CME	Concentração Média do Evento
CMPE	Concentração Média Parcial do Evento
Colif.	Coliformes
Cond.	Condutividade
CP	Coleta pontual
CT	Coliformes totais
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DBO <sub>5</sub>	Demanda bioquímica de oxigênio de cinco dias
DQO	Demanda química de oxigênio
$\Delta t$	Intervalo de tempo
EPA	Environmental Protection Agency
Esc.	Escoamento
F	Adimensional de volume escoado acumulado
Fe	Ferro
FT	Fósforo total
g	Grama
H	Cota
h	Hora
ha	Hectare
hab	Habitante
ICNZT	Island Care New Zealand Trust
I <sub>máxima</sub>	Intensidade máxima
I <sub>média</sub>	Intensidade média
kg	kilograma
L	Litro
L	Adimensional de massa poluente acumulada
M	Massa total de poluente durante o evento
m(t)	Massa poluente no tempo t
M(V)	Curva cumulativa da massa poluente vs volume escoado acumulado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mg	Miligramma
mín.	Mínimo
mL	Mililitro
mm	Milímetro
NKT	Nitrogênio Kjeldahl Total
NMP	Número mais provável
°C	Grau centígrado

OD	Oxigênio Dissolvido
Pb	Chumbo
PET	Poli Etileno Terecitalato
pH	Potencial hidrogeniônico
Prec.	Precipitação
PTSA	Período de Tempo Seco Antecedente
Q	Vazão
Q(t)	Vazão no tempo t
RS	Rio Grande do Sul
SS	Sólidos Suspensos
SSf	Sólidos Suspensos fixos
SSt	Sólidos Suspensos totais
SSv	Sólidos Suspensos voláteis
t	Tempo
Temp.	Temperatura
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
V	Volume total escoado durante o evento
v(t)	Volume escoado no tempo t
Vol.	Volume

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>20</b>
<b>1.1. Objetivos</b> .....	<b>21</b>
1.1.1. Objetivo Geral.....	21
1.1.2. Objetivos Específicos .....	21
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1. Meio Ambiente e Qualidade da Água</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2. Fontes Poluentes</b> .....	<b>25</b>
2.2.1. Fontes de Poluição Difusa.....	26
<b>2.3. Carga Poluente</b> .....	<b>28</b>
2.3.1. Quantificação da carga poluente .....	29
<b>2.4. Carga de Lavagem</b> .....	<b>30</b>
2.4.1. Definições de Carga de Lavagem.....	30
2.4.2. Casos Estudados de Carga de Lavagem .....	31
<b>2.5. Resíduos Sólidos</b> .....	<b>34</b>
2.5.1. Origem do material .....	34
2.5.2. Resíduo sólido no sistema de drenagem urbana .....	35
2.5.2.1. Impactos causados pelos resíduos sólidos .....	37
2.5.2.2. Classificação do resíduo sólido urbano .....	37
2.5.3. Casos estudados .....	38
<b>3. DESCRIÇÃO DAS ÁREAS ESTUDADAS</b> .....	<b>44</b>
<b>3.1. Bacia Hidrográfica Cancela</b> .....	<b>44</b>
<b>3.2. Bacia Hidrográfica Alto da Colina</b> .....	<b>44</b>
<b>3.3. Estações de Monitoramento</b> .....	<b>45</b>
<b>3.4. Uso e ocupação do Solo</b> .....	<b>49</b>
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>50</b>
<b>4.1. Qualidade de Água</b> .....	<b>50</b>
4.1.1. Parâmetros de qualidade da água.....	50
4.1.1.1. Sólidos suspensos – fixos e voláteis .....	50
4.1.1.2. Turbidez .....	51
4.1.1.3. Condutividade elétrica .....	51
4.1.1.4. Temperatura.....	52
4.1.1.5. pH.....	52

4.1.1.6.	Oxigênio Dissolvido – OD.....	52
4.1.1.7.	Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO .....	53
4.1.1.8.	Coliformes Totais e Fecais .....	53
4.1.2.	Amostradores Automáticos.....	53
4.1.2.1.	Amostrador de Nível Ascendente – ANA.....	54
4.1.2.2.	Amostrador de Nível Descendente – AND .....	55
<b>4.2.</b>	<b>Caracterização da Carga de Lavagem.</b> .....	<b>58</b>
4.2.1.	Definição de Gupta & Saul (1996a).....	58
4.2.1.1.	Distribuição massa poluente vs volume escoado.....	58
4.2.1.2.	Concentração média do evento (CME) .....	60
4.2.1.3.	Concentração média parcial do evento (CMPE) .....	61
<b>4.3.</b>	<b>Análise dos eventos de precipitação</b> .....	<b>62</b>
<b>4.4.</b>	<b>Resíduos sólidos</b> .....	<b>64</b>
4.4.1.	Procedimento de coleta e análise dos resíduos sólidos .....	64
4.4.2.	Classificação utilizada com o material retido .....	67
4.4.3.	Dispositivos utilizados na quantificação.....	67
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>68</b>
<b>5.1.</b>	<b>Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica Cancela</b> .....	<b>68</b>
5.1.1.	Análises das características de tempo seco.....	68
5.1.2.	Análises das características do escoamento superficial.....	71
5.1.2.1.	Carga Difusa do escoamento superficial .....	76
5.1.2.2.	Estimativa da Carga de Lavagem .....	79
<b>5.2.</b>	<b>Resíduos Sólidos nas Áreas Estudadas</b> .....	<b>99</b>
5.2.1.	Análise dos resíduos sólidos na Bacia Hidrográfica Cancela .....	100
5.2.2.	Análise dos resíduos sólidos na Bacia Hidrográfica Alto da Colina.....	105
5.2.3.	Composição dos resíduos sólidos quantificados .....	110
5.2.4.	Relação qualidade da água versus resíduos sólidos.....	111
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>113</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>116</b>
<b>ANEXOS</b>	.....	<b>122</b>
<b>ANEXO A – Planilhas de Coletas do Escoamento Superficial</b>	.....	<b>123</b>
<b>ANEXO B – Hidrogramas dos Eventos Analisados na Bacia Hidrográfica Cancela</b>	.....	<b>129</b>

<b>ANEXO C - Hidrogramas dos Eventos Analisados na Bacia Hidrográfica Alto da Colina .....</b>	<b>158</b>
--	------------

## 1. INTRODUÇÃO

O acelerado e desordenado desenvolvimento urbano e a considerável desorganização da infra-estrutura dos Recursos Hídricos têm produzido grandes preocupações no contexto do controle da poluição e da proteção dos recursos hídricos, tornando cada vez mais necessário a identificação dos fatores que influenciam na qualidade do meio ambiente. Alguns destes fatores são: a qualidade das águas da drenagem urbana e os resíduos sólidos veiculados pelas redes de drenagem urbana que contribuem, substancialmente, para a degradação dos corpos d'água.

A origem desta poluição difusa é diversificada, contribuindo a abrasão e o desgaste das ruas pelos veículos, o lixo acumulado nas ruas e calçadas, os resíduos orgânicos de pássaros e animais domésticos, as atividades de construção, os resíduos de combustíveis, óleos e graxas deixados por veículos, poluentes do ar, etc.

No Brasil a poluição devido à carga difusa tem sido pouco estudada, uma vez que os lançamentos orgânicos de esgoto doméstico ainda não foram suficientemente solucionados. Entretanto, esta poluição difusa veicula concentrações de poluentes algumas vezes superiores as do esgoto doméstico.

Trabalhos desenvolvidos têm comprovado que a primeira parte do escoamento superficial é a mais poluída, devido à remoção dos poluentes depositados na superfície da bacia hidrográfica, fenômeno conhecido como "carga de lavagem do escoamento superficial". A ocorrência e as características do fenômeno tornam-se discutíveis entre os autores devido às definições adotadas variarem em função da percentagem de massa poluente transportada durante uma percentagem do escoamento superficial. Para avaliação do fenômeno os pesquisadores normalmente usam curvas da fração cumulativa da massa de poluente total versus a fração cumulativa do volume total de escoamento superficial.

Juntamente com o processo de urbanização ocorre o aumento na produção de resíduos sólidos, estes por sua vez causam danos ao meio ambiente, pois há deficiência nos serviços de saneamento e a população não possui suficiente educação ambiental. Entre os principais problemas enfrentados pode-se citar tanto o

assoreamento e obstruções de redes quanto às elevadas cargas poluidoras transportadas junto a estes.

O estudo referente à quantidade de resíduos sólidos que são transportados pela drenagem tem se mostrado de fundamental importância quando se refere à poluição dos recursos hídricos, pois nas últimas décadas a produção de lixo tem aumentado significativamente, em contraposição a falta de apropriado tratamento e destinação final. Porém, as informações a respeito da quantidade de resíduos que ficam retidos na drenagem são, praticamente, inexistentes.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

O objetivo desta pesquisa é avaliar a carga poluente da água e de resíduos sólidos veiculados pela rede de drenagem urbana. Foram estudadas duas bacias hidrográficas urbanas, localizadas na cidade de Santa Maria, onde os resultados encontrados foram comparados entre si, obtendo-se um prognóstico quanto aos fatores intervenientes, alterando variáveis como: precipitação, uso e ocupação do solo, características físicas da área e período de tempo seco antecedente ao evento.

A quantificação destas cargas apresenta grande importância na avaliação do impacto por elas produzido e no projeto de medidas estruturais para o seu controle, tornando-se indispensável nas análises de alternativas para o gerenciamento dos recursos hídricos.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Avaliar a qualidade da água, através de amostras coletadas em pontos específicos, analisando os parâmetros: DBO<sub>5</sub>, coliformes totais e fecais, condutividade elétrica, turbidez, pH, sólidos suspensos e temperatura. As coletas foram feitas em período de tempo seco e úmido, de tal modo que pode ser verificada a existência da carga de lavagem e quantificada a carga difusa.

- Avaliar o resíduo sólido transportado pelo sistema de drenagem, através de redes instaladas ao longo da seção do rio, quantificando-o após cada evento de precipitação.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1. Meio Ambiente e Qualidade da Água**

O meio ambiente ao longo da história tem passado por sucessivas transformações devido ao acelerado crescimento urbano, o que tem causado uma drástica diminuição da qualidade de vida e dos recursos hídricos.

A utilização inadequada dos recursos naturais, tanto em áreas urbanas como em áreas rurais, tem sido a principal causa da degradação ambiental, na qual o homem é o principal agente.

A preocupação pelo homem com a conservação dos recursos naturais e com a degradação ambiental tem aumentado, consideravelmente, nos últimos tempos. A educação ambiental requer um papel muito importante, pois desperta cada integrante para a ação e busca de soluções para os problemas ambientais que ocorrem no dia-a-dia (Pereira, 2003).

Apesar da dependência existente entre o aumento populacional com industrialização, produção de alimentos e poluição, o comprometimento do meio ambiente por substâncias tóxicas não constitui nenhum problema recente. Desde os primórdios da história formaram-se, pela ação do homem, vários produtos de despejos e resíduos que quando levados aos rios ou ao ar atmosférico, mostraram-se tóxicos ou pelo menos incômodos. Por isso tentou-se desde cedo controlar, através de decretos e normas, a produção e remoção destes detritos (Fellenberg, 1980).

Entre os recursos naturais a água é um dos mais importantes para os seres vivos, sendo um dos principais responsáveis pela vida no planeta.

Inserido neste contexto Branco (1991) cita que a água além de desempenhar funções fisiológicas é também importante como ambiente para a vida. Por estes motivos, a água constitui elemento vital não somente a natureza, como a todas as atividades desenvolvidas pelo homem. Além das necessidades ligadas aos processos biológicos, como alimento, matéria-prima, irrigação de vegetais úteis, a água torna-se necessária à navegação, operação de energia elétrica, refrigeração de máquinas, processos químicos industriais e construtivos, limpeza de ruas, transporte de despejos e resíduos em geral. Isto torna compreensível que cada um

desses usos requeira características qualitativas diferentes, ou seja, as exigências quanto ao grau de pureza variam com o emprego que será feito da água.

Ao longo das últimas décadas, houve um crescimento significativo da população no meio urbano, gerando as chamadas regiões metropolitanas. Este processo de urbanização ocorreu após a década de 60, surgindo uma população praticamente sem infra-estrutura, principalmente sobre o aparelhamento relativo aos recursos hídricos como: abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos cloacais e drenagem pluvial, citado por Tucci (1995).

O desordenado crescimento urbano vem alterando as condições do meio ambiente. As conseqüências deste processo inadequado de crescimento são: falta de condições sanitárias mínimas, ausência de serviços indispensáveis à vida da população, ocupação de áreas inadequadas, destruição de recursos de valor ecológico, poluição do meio ambiente, habitações em condições precárias (Mota, 1981).

Para ordenar o crescimento das cidades, o planejamento urbano aliado ao coerente uso e ocupação do solo dentro do ambiente urbano, poderá agir como medida preventiva e corretiva, minimizando problemas decorrentes da urbanização e otimizando as atividades no ambiente urbano frente aos diversos problemas que vêm ocorrendo nas cidades (Fazano, 2001).

Segundo Branco (1983) a falta de planejamento consiste em uma das maiores causas de poluição dos rios.

Araújo et al. (1999) apontam que com a falta de planejamento na ocupação de áreas urbanas têm-se notado alterações significativas: nas taxas de impermeabilização das bacias hidrográficas, ocasionando transtornos e prejuízos em razão do aumento significativo das inundações (devido ao aumento das vazões máximas, redução do tempo de concentração e aumento do volume escoado); da produção de sedimentos (devido à desproteção das superfícies e produção de resíduos sólidos); e da deterioração da qualidade da água (devido à lavagem de ruas e áreas de estacionamento).

Referindo-se ao processo de urbanização Porto (1995) considera que a urbanização está associada com a poluição dos corpos d'água, principalmente, devido aos lançamentos de esgoto domésticos e industriais não tratados.

O desenvolvimento urbano, comentado por Tucci (1995), ocasiona a impermeabilização do solo, através de telhados, ruas, calçadas, pátios e outros, fazendo com que a parcela de água que infiltraria passe a escoar, aumentando o escoamento superficial.

Outros impactos causados pela urbanização, tão importantes quanto os aspectos quantitativos, estão relacionados com o aumento na produção de sedimentos, degradação da qualidade da água drenada pelos esgotos pluviais e a contaminação dos aquíferos.

## **2.2. Fontes Poluentes**

O descontrolado processo de urbanização tem causado impactos irreversíveis ao meio ambiente, onde as atividades humanas afetam a qualidade da água. Estas atividades são das mais simples as mais sofisticadas, incluindo as que atendem suas próprias necessidades como produção de alimentos, vestimentas e moradia, até as mais elaboradas, como produção industrial, transportes, infra-estrutura urbana, jazidas de minério abandonadas, entre outras.

Segundo Novotny (1999) os processos de modificação do uso e ocupação do solo estão relacionados com a poluição, onde estas mudanças são os resultados do aumento populacional, economia local e regional, turismo, recreação e outros. A poluição é uma consequência da carência do sistema político e econômico em identificar os custos dos danos ambientais causados pelas descargas de poluentes (Novotny & Olem, 1994, apud Novotny, 1999).

As redes de drenagem urbana são as principais responsáveis pela veiculação de cargas poluidoras, constituindo-se em um importante fator de degradação de rios, lagos e estuários (Porto, 1995).

Von Sperling (1996) define a poluição das águas como sendo a adição de qualquer substância ou forma de energia que, direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d'água vindo a prejudicar os legítimos usos que dele são feitos.

As fontes poluidoras podem ser classificadas em duas formas básicas: poluição pontual e poluição difusa.

Na poluição pontual, os poluentes acabam atingindo o corpo d'água de maneira concentrada no espaço. Os caminhos e a quantificação de cada fonte são facilmente medidos e controlados (Choe et al., 2002).

Ainda neste contexto, Choe et al. (2002) comentam que na poluição difusa ou não-pontual, os poluentes aderem-se aos corpos d'água distribuídos ao longo de sua extensão, caso típico da poluição veiculada pela rede de drenagem pluvial natural. Neste caso, torna-se difícil o estabelecimento de processos apropriados para seu controle, pois as fontes e caminhos dos poluentes são incertos e as concentrações maiores ocorrem no início das precipitações.

### 2.2.1. Fontes de Poluição Difusa

A poluição difusa é gerada pelo escoamento superficial, em áreas urbanas e rurais, proveniente da deposição de poluentes, de maneira esparsa, sobre a área contribuinte da bacia hidrográfica.

Esta poluição apresenta-se de forma bastante diversificada e depende de fatores como uso e ocupação do solo, densidade populacional, estações do ano, topografia, geologia e das características e frequência das precipitações. Entre as atividades que compreendem a poluição difusa estão as atividades rurais, deposição atmosférica e o escoamento superficial urbano. Ainda segundo Porto (1995) englobam-se na poluição difusa as ligações clandestinas de esgotos e os efluentes de fossas sépticas.

Conforme Novotny (1999) a migração da população rural para áreas urbanas é uma das causas do grande processo de urbanização, onde parte desta população habita locais de baixa renda sem condições apropriadas de saneamento básico. Nos países em desenvolvimento este crescimento urbano leva ao surgimento dos grandes centros urbanos, que são os locais de maiores problemas relacionados a poluição difusa.

No enfoque da poluição difusa proveniente de áreas rurais Novotny (1999) comenta que a degradação da qualidade da água superficial e subterrânea está relacionada aos processos de conversão do uso do solo, aumento da erosão e perda de solo, poluição química devido ao uso de fertilizantes e pesticidas e as operações de trato animal.

Uma característica marcante da poluição difusa é a variabilidade na concentração de poluentes lançados nos corpos d'água. Isto torna difícil o estabelecimento de diferenças na produção de cargas poluentes, pois as concentrações variam em termos de magnitude entre bacias hidrográficas, com diferentes eventos de precipitação, ao longo de um mesmo evento e ainda quanto ao tipo de área urbana, como por exemplo, residencial, industrial ou comercial (Porto, 1995).

Foster (1999) em um estudo analisando a variabilidade de poluentes, no escoamento em telhados, encontrou que esta sofre influências de fontes locais, do tipo de material do telhado, da poluição do ar, dos eventos de precipitação (intensidade e período de tempo seco antecedente ao evento), da meteorologia (estações e velocidade e direção do vento) e ainda das propriedades físico-químicas dos poluentes.

Von Sperling (1996) salienta que nos países desenvolvidos tem sido dada uma maior atenção à poluição difusa, onde o principal problema é decorrente das águas pluviais (Tucci, 2002). Entretanto, no Brasil ainda há muito que ser feito para o controle da poluição pontual originária das cidades e indústrias (Von Sperling, 1996).

O controle da drenagem urbana quantitativamente nos países em desenvolvimento ainda é escasso e o controle qualitativo da água proveniente da drenagem está longe de ser resolvido (Tucci, 2002).

Dentro do contexto de controle da poluição através de cargas difusas Porto (1995) ressalta que o mesmo deve ser feito através de ações sobre a bacia hidrográfica, tendo em vista a redução das cargas poluidoras antes do lançamento da drenagem no corpo receptor. Essa forma de controle é alcançada através de um conjunto de medidas capazes de reduzir o potencial poluidor das águas de drenagem, são elas: medidas estruturais e medidas não-estruturais.

As medidas não-estruturais são relativas a programas de prevenção e controle da emissão de poluentes, como por exemplo, educação da população e cuidados gerais com a limpeza da cidade. Já as medidas estruturais são construídas para redução de volume e/ou remover poluentes do escoamento, incluindo construção de bacias de retenção, colocação de pavimento poroso, uso de áreas abertas de vegetação para infiltração, obras para retenção de sedimentos, entre outros (Porto, 1995).

A identificação das fontes geradora da poluição difusa torna-se de relevante importância para a avaliação correta do seu potencial poluidor, dos impactos gerados e também para a determinação de medidas de controle adequadas. As principais fontes geradoras de cargas difusas são: deposição atmosférica, desgaste da pavimentação, veículos, restos de vegetação, lixo e poeira, restos e dejetos de animais, derramamentos e erosão (USEPA, 1977 (apud Porto, 1995)).

A poluição difusa é uma formalidade que não será superada sem intervenção governamental e, para alguns países, assistência financeira internacional (Novotny, 1999).

Unidades de gerenciamento deverão ser estabelecidas para limitar a qualidade da água nos corpos receptores, especialmente em casos onde as fontes difusas são dominantes e principais causadoras da deterioração da qualidade da água (Novotny, 1996).

### **2.3. Carga Poluente**

A necessidade de quantificação da carga poluidora transportada pelo escoamento superficial está na investigação dos impactos da urbanização, nas análises de gerenciamento e nos projetos para o controle da qualidade da água em canais e corpos d'água receptores, uma vez que a carga poluente e o volume escoado aumentam, consideravelmente, quando uma bacia hidrográfica é urbanizada.

Em um corpo d'água, como discutido por Tucci (1998), as condições qualitativas da água englobam dois fatores fundamentais: condições hidrológicas e qualidade da água. As condições hidrológicas são representadas pela quantidade de água existente em um corpo d'água. Já a qualidade da água é função da concentração de um parâmetro de qualidade associado com a vazão, que resulta na carga existente no sistema. A concentração isolada não possui representatividade temporal e espacial já que esta apresenta variações com a alteração de vazão.

### 2.3.1. Quantificação da carga poluente

Existem vários modelos de qualidade da água que tentam simular o acúmulo de poluentes durante o período de tempo seco e o transporte dos mesmos durante os eventos de precipitação em bacias hidrográficas urbanas. Estes modelos podem ser convenientemente usados em estudos de processos de construção e transporte de poluentes e na estimativa de cargas poluidoras geradas nos eventos de precipitação, segundo Chiew et al., 1997 (apud Chiew et al. (1999)).

A concentração e a carga para cada poluente estão relacionadas com o tipo de uso do solo da bacia hidrográfica e com as condições de precipitação (Choe et al. (2002); Line et al. (2002)).

Choe et al. (2002) analisaram a taxa de carga poluente de sólidos suspensos e DBO<sub>5</sub> no escoamento superficial de áreas residenciais e industriais, localizadas em Chongju, na Coréia, obtendo maiores valores em áreas residenciais, 2.130 kg/ha/ano para sólidos suspensos e 943 kg/ha/ano para DBO<sub>5</sub>, que em áreas industriais 812 kg/ha/ano para sólidos suspensos e 329 kg/ha/ano para área industrial.

Line et al. (2002) realizaram um estudo, na bacia do Rio Neuse, em Carolina do Norte (EUA), encontrando valores de cargas poluentes de sedimentos para áreas em construção de 22.600 kg/ha/ano, dez vezes maiores que em áreas residenciais, industriais, arborizadas, campo de golf e pastagem. Outros parâmetros analisados também apresentaram influência relacionada ao tipo de área contribuinte.

De Luca et al. (1991) através de uma análise da qualidade do escoamento pluvial urbano, na área metropolitana de Porto Alegre-RS, determinaram que a carga anual média de poluentes, transportada pela drenagem urbana, atingiu valores de 254 kg/ha/ano para DBO<sub>5</sub> e 11.120 kg/ha/ano para sólidos suspensos. O mesmo estudo ainda estabeleceu uma comparação entre a carga lançada pelo efluente da estação tratamento secundário, que remove 80% dos poluentes, e a transportada pela drenagem da área, encontrando que a massa anual de poluentes produzida pelo escoamento pluvial é maior que a produzida pelo efluente da estação de tratamento secundário de esgoto.

## 2.4. Carga de Lavagem

O fenômeno da carga de lavagem tem sido analisado em vários estudos realizados, (De Luca et al., 1991, Gupta & Saul, 1996, Deletic, 1998, Bertrand-Krajewski et al., 1998, Lee et al., 2002, Paz, 2004).

A ocorrência do fenômeno tem sido amplamente definida como sendo a remoção inicial do material acumulado sobre a superfície, no período entre chuvas, pelo escoamento superficial transportando-o para a rede de drenagem. Esta remoção de material produz um pico na concentração dos poluentes no início do escoamento superficial.

### 2.4.1. Definições de Carga de Lavagem

Na literatura encontram-se diferentes formas de definir carga de lavagem. O fenômeno é identificado no período inicial do escoamento superficial, no qual as concentrações de poluentes são maiores que no decorrer do evento (Gupta & Saul, 1996b, Bertrand-Krajewski et al., 1998, Deletic, 1998). Uma maneira bastante utilizada pelos autores para a avaliação do fenômeno é o emprego de curvas da fração acumulada de massa poluente total versus a fração acumulada do volume escoado total durante o evento.

Geiger, 1987 (apud Deletic, 1998) definiu a ocorrência da carga de lavagem quando tal curva tem uma inclinação inicial maior do que 45%, e usou o ponto de máxima divergência da inclinação de 45° para quantificar a carga de lavagem.

Gupta & Saul (1996a) usaram uma definição similar a esta, definindo a carga de lavagem como sendo a porção do evento até o ponto de máxima divergência entre a percentagem acumulada de poluente e a percentagem acumulada do volume escoado plotadas em comparação a percentagem acumulada de tempo do evento.

Pesquisadores franceses Bertrand-Krajewski et al. (1998), sugeriram a ocorrência do fenômeno quando no mínimo 80% da carga poluente são transportadas nos primeiros 30% do volume escoado no evento.

Outros pesquisadores, Vorreiter e Hickey, 1994 (apud Deletic, 1998) definiram o fenômeno em termos da carga poluente nos primeiros 25% do volume escoado no evento.

Deletic (1998) definiu o fenômeno da carga de lavagem quando a carga poluente total do evento é transportada pelos primeiros 20% do volume do escoamento superficial.

Sansalone & Buchberger, 1997 (apud Deletic, 1998) usaram um critério não restritivo, aceitando a existência da carga de lavagem se a curva cumulativa de massa de um poluente estiver acima da curva do volume escoado.

Observa-se que o fenômeno é comumente definido através de comparações entre uma fração da carga de poluição total com uma fração da carga de escoamento, ambos calculados no mesmo ponto escolhido na primeira parte da curva cumulativa do escoamento, por exemplo, Bertrand-Krajewski et al. (1998), escolheram o ponto em 30% do escoamento superficial e Vorreiter & Hickey, 1994 (apud Deletic, 1998) escolheram 25%.

#### 2.4.2. Casos Estudados de Carga de Lavagem

Várias investigações sobre a natureza e existência da carga de lavagem foram realizadas, buscando identificar a variabilidade dos fatores que influenciam a ocorrência do fenômeno. Diferentes hipóteses foram testadas para estabelecer os principais fatores que interferem no processo, tais como, área de contribuição, características da precipitação e período de tempo seco antecedente ao evento (Gupta & Saul, 1996a, Deletic, 1998, Saget et al., 1996, Lee et al., 2002).

O fenômeno da carga de lavagem foi estudado para diferentes componentes de contribuição da drenagem pluvial urbana, incluindo água da chuva, escoamento dos telhados, escoamento superficial, descarga de sistema separador, descarga de sistema combinado e escoamento de águas servidas. Considerando as diversas definições do fenômeno, as diferentes estratégias de amostragem (locais) e métodos de coletas de dados, é difícil uma comparação entre os resultados e, freqüentemente, obtém-se conclusões diferentes para os vários estudos do fenômeno (Deletic, 1998).

Geiger, 1984 (apud Bertrand-Krajewski et al., 1998), apresentou uma análise de 662 eventos de precipitação no sistema de esgoto combinado em München-Harlaching, entre 1977 e 1981, definindo a carga de lavagem como um intervalo maior que 0,2, entre a curva  $M(V)$ , curva adimensional da massa poluente

acumulada versus o volume escoado acumulado e o bissetor. Este estudo registrou a ocorrência em apenas 25% dos eventos para o parâmetro sólidos suspensos totais e somente 15% para outros poluentes.

Um estudo francês (Bertrand-Krajewski et al., 1998) analisando 197 eventos de chuva em 12 sistemas de esgoto, 6 sistemas separador absoluto e 6 sistemas combinado. O estudo concluiu que para o sistema separador, em 50% dos eventos analisados, 50% da massa poluente total é transportada nos primeiros 38% do volume total e 80% da massa poluente total é transportada nos primeiros 74% do volume total; e para o sistema combinado, em 50% dos eventos, 50% da massa poluente total é transportada nos primeiros 47% do volume total, e 80% da massa poluente total é transportada nos primeiros 79% do volume total.

Deletic (1998) realizou um estudo de monitoramento qualitativo do escoamento superficial. Os locais de estudo foram duas pequenas bacias hidrográficas asfaltadas, Miljakovac localizada em Belgrade, Iugoslávia, pertencendo a uma área residencial, e Lund na Suécia, localizada em um estacionamento de automóveis. Os resultados nestas áreas para os parâmetros analisados foram os seguintes: para sólidos suspensos a carga de lavagem não apresentou um efeito forte em nenhuma das áreas, em Lund, o fenômeno foi observado em um terço dos eventos registrados, já em Miljakovac, foi encontrado que a carga de lavagem é mais provável de aparecer durante os grandes eventos de precipitação. Para condutividade, a carga de lavagem não apresentou uma característica regular nas duas bacias estudadas. Para pH e temperatura, não houve nenhum efeito da carga de lavagem nos dois locais analisados. Deletic concluiu que um forte efeito da carga de lavagem no final do sistema de drenagem, se observado, não é muito provável ser causado pela introdução da carga no sistema. O fenômeno pode ser causado por processos de transformações e transporte do poluente no sistema de drenagem.

No monitoramento de 38 eventos de precipitação, em 13 áreas com diferentes usos do solo, no período de junho de 1996 a novembro de 1999, Lee et al. (2002) analisaram os parâmetros: DQO, sólidos suspensos (SS), nitrogênio kjeldahl total (NKT), fósforo total (FT), chumbo (Pb) e ferro (Fe), através da diferença entre as curvas de massa poluente e de volume escoado, onde todos os constituintes exibiram um pronunciado efeito de carga de lavagem. A intensidade dos efeitos da

carga de lavagem foi SS>Fe>NKT>DQO>FT>Pb para áreas residenciais, e para as áreas industriais foi SS>Pb>Fe>DQO.

No Brasil alguns estudos foram desenvolvidos a fim de caracterizar a carga de poluição da drenagem pluvial urbana. Gomes & Chaudhry (1981) analisaram a variabilidade na qualidade do escoamento superficial urbano, mostrando que as concentrações no início do escoamento superam em até 10 vezes o menor valor de sólidos totais e DBO, e até 1000 vezes para coliformes totais. De Luca et al. (1991) no estudo do escoamento superficial, em uma bacia urbana de Porto Alegre, observaram a ocorrência da carga de lavagem nos primeiros 15 minutos do escoamento superficial. Porto & Masini (2001) compararam a variação da qualidade da água de escoamento superficial urbano de São Paulo, em tempo seco e em tempo úmido, durante a subida do hidrograma de cheia. Os autores observaram o aumento das concentrações de DBO, DQO e sólidos, indicando o transporte da carga poluidora pelo escoamento superficial. Paiva et al. (2001) apresentaram os resultados das concentrações de sedimentos de treze eventos de cheia em uma bacia hidrográfica, na cidade de Santa Maria, com processo de urbanização. Foram observados picos de concentração de sedimentos no início da cheia, devido, provavelmente a carga de lavagem.

Paz (2004) em estudo da carga de lavagem na Bacia Hidrográfica Alto da Colina, Santa Maria-RS, onde a mesma apresenta característica urbana e rural, aplicou duas metodologias (Deletic, 1998 e Gupta & Saul, 1996) para avaliação do fenômeno baseadas na construção de curvas adimensionais de massa poluente e volume escoado. Os métodos empregados no cálculo da carga de lavagem demonstraram que os parâmetros pH, condutividade elétrica e temperatura d'água são pouco suscetíveis ao fenômeno da carga de lavagem em ambas as estações de monitoramento da bacia, uma de características urbanas e a outra de características rurais. A Bacia Hidrográfica Alto da Colina foi considerada pouco suscetível ao fenômeno. Através de uma comparação entre as duas metodologias empregadas, constatou-se que ambas apresentaram valores pequenos para o fenômeno, mas diferentes quanto ao período de ocorrência do mesmo.

Porto (1995), inserida neste contexto, relata que a carga de lavagem não é um fenômeno consistente e que sua ocorrência ou não pode estar relacionada às perdas iniciais no escoamento superficial. Quanto à existência do fenômeno Porto

(1995) comenta que este é mais comumente observado em bacias pequenas. Nas grandes bacias as concentrações de poluentes não decrescem rapidamente, à medida que o volume de escoamento aumenta, porque áreas distantes podem estar produzindo altos valores de concentração nas suas descargas iniciais, que se misturam aos valores já decrescentes dos locais próximos à seção de medição. A verificação da ocorrência da carga de lavagem torna-se importante para casos em que se deseja reter o escoamento superficial urbano para controle de cargas poluidoras lançadas no corpo receptor.

## **2.5. Resíduos Sólidos**

O crescimento populacional produz uma acelerada e crescente urbanização. A população vem se concentrando cada vez mais nas áreas urbanas em busca de melhores oportunidades de emprego, qualidade de vida, entre outros.

Este processo de urbanização está aliado ao aumento da produção de resíduos sólidos e ao aumento da impermeabilização das superfícies, originando danos ao meio ambiente urbano quando não gerenciados adequadamente. Este aumento na produção de resíduo sólido não seria prejudicial para o ambiente se não houvesse tanta deficiência nos serviços de saneamento e falta de conscientização da população (Neves & Tucci, 2003).

### **2.5.1. Origem do material**

O resíduo sólido municipal é um material heterogêneo e os que aparecem em maior quantidade são: restos de alimentos, papéis, vidros, metais, plásticos e outros (madeira, couro, tecidos, etc.).

O nível sócio-econômico da população afeta a quantidade e a natureza dos resíduos sólidos gerados, Vesilind & Rimer, 1981 (apud Qdais et al., 1997).

Dayal et al. (1993) citam que as características dos resíduos sólidos ainda diferem entre países, cidades e até entre ruas, além disso, suas propriedades podem variar com as estações, disponibilidade de alimentos, férias e turismo.

Um estudo realizado por Qdais et al. (1997) na cidade de Abu Dhabi, com níveis sócio-econômicos da população variáveis, observou 778 amostras de

resíduos sólidos. No estudo 40 residências foram analisadas durante três semanas, sendo que 13% destas residências pertenciam a classe alta, 70% classe média e 17% classe baixa. Para 7 toneladas de resíduo analisado, a taxa de geração de resíduos média encontrada para as três classes econômicas foi: (1) classe alta: 2,33 kg/hab/dia; (2) classe média: 1,85 kg/hab/dia; (3) classe baixa: 0,93 kg/hab/dia. O mesmo estudo analisou a composição do material para as diferentes classes sócio-econômicas. Os resultados mostraram que as classes média e alta geram maior quantidade de material plástico que a classe baixa, justificado pelo maior consumo de alimentos e bebidas embalados com este material, a classe baixa apresentou, em seus resíduos, maior abundância de restos de alimento que as outras classes.

A ausência de programas de reciclagem na cidade de Abu Dhabi também resulta em uma grande quantidade de plásticos lançados nos corpos d'água (Qdais et al., 1997).

Segundo Monteiro, 2001 (apud Tucci, 2004) a produção de lixo média no Brasil é na ordem de 0,74 kg/hab/dia.

### 2.5.2. Resíduo sólido no sistema de drenagem urbana

As comunidades vêm enfrentando grandes desafios para encontrar soluções ambientalmente seguras para os problemas decorrentes da produção de resíduos sólidos.

Os resíduos sólidos nos corpos de água urbanos causam má aparência, perturbam o habitat natural, degradam a qualidade da água, aumentam a propagação de doenças, podem causar a morte de animais aquáticos, além de impedirem o funcionamento hidráulico dos sistemas de drenagem. Uma maior preocupação sobre a quantidade de resíduos que atingem os corpos de água vem sendo dada. Embora, estes impactos estejam recebendo maiores atenções, poucos estudos foram realizados nesta área (Allison et al., 1998).

Ao avaliar o material sólido na drenagem urbana Tucci (2004) mostra que são observados estágios diferentes na produção de resíduo, em decorrência do desenvolvimento urbano, entre eles pode-se incluir: estágio inicial, intermediário e final. No estágio inicial ocorrem alterações na cobertura da bacia, sendo removida a proteção natural, deixando o solo desprotegido, aumentando a erosão e a produção

de sedimentos. Nesta fase ainda há pequena produção de lixo. No estágio intermediário ainda existe movimento de terra, originando produção de sedimentos e surge a produção de lixo devido à população que começa a se estabelecer. Já no estágio final praticamente toda superfície está consolidada, resultando apenas a produção de lixo com uma pequena parcela de sedimentos.

Ainda nesse enfoque Tucci (2004) cita que os resíduos são conduzidos até a rede de drenagem em consequência de diversos fatores, entre eles pode-se citar: frequência e cobertura da coleta de lixo, frequência da limpeza das ruas, forma de disposição do lixo pela população e frequência de precipitação.

Hall, 1996 (apud Armitage & Rooseboom, 2000) sugeriu que as principais fontes de resíduos no sistema de drenagem podem ser: (1) comportamento anti-social dos indivíduos lançando lixo nas calçadas e pelos veículos, manuseio do lixo doméstico; (2) excesso de embalagens; (3) deficiência dos serviços de limpeza das ruas; (4) inadequadas instalações de disposição; (5) falta de autoridades para impor penalidades aos transgressores.

Neves & Tucci (2003) ressaltam a problemática dos resíduos sólidos despejados inadequadamente na superfície, atingindo as redes de drenagem urbana, onde esses se apresentam acumulados nas vizinhanças de shopping centers, estacionamentos, saídas de fast foods, estações rodoviárias e ferroviárias, estradas, escolas, parques públicos e jardins, contêineres, locais de aterros e depósitos de reciclagem. Eles constituem-se principalmente de materiais manufaturados como garrafas, latas, envelopes de papel e plástico, jornais, sacolas de compras, embalagens de cigarro, mas também partes de carros, restos de construção e colchões velhos (Armitage & Rooseboom, 2000).

Os resíduos após alcançarem a rede de drenagem, são transportados através dos condutos, arroios, rios, lagos e estuários até eventualmente alcançarem o mar, nas cidades litorâneas. Frequentemente, podem permanecer fixos na vegetação ao longo das margens dos arroios, rios ou lagos, ou espalhados ao longo das praias. Muito deste material pode ser soterrado por sedimentos de rios, lagos ou praia, conforme Hall, 1996 (apud Armitage & Rooseboom, 2000).

### 2.5.2.1. Impactos causados pelos resíduos sólidos

O lixo tem se tornado um dos maiores problemas enfrentados pela sociedade. Segundo Armitage & Rooseboom (2000) entre as conseqüências ambientais resultantes da produção de resíduos podem-se citar:

- Aspectos desagradáveis;
- Alto potencial de riscos a saúde humana associado com a putrefação do conteúdo no interior de garrafas e latas, ou organismos patogênicos em seringas descartadas;
- Riscos á fauna aquática;
- Organismos patogênicos ou tóxicos como metais pesados, envenenando a cadeia alimentar de vida aquática e possivelmente atingindo os humanos;
- Significantes custos para as autoridades locais para as conduções nas operações de auto-limpeza.

Como conseqüências ambientais resultantes deste aumento de sedimentos e materiais sólidos Tucci (2002) aponta o assoreamento das seções canalizadas da rede, reduzindo a capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos, e ainda o transporte de poluente agregado a esse material, contaminando as águas pluviais.

### 2.5.2.2. Classificação do resíduo sólido urbano

Diferentes tipos de materiais foram identificados no sistema de drenagem. Armitage & Rooseboom (2000) produziram um sistema de classificação simplificado: (1) *Plásticos*: sacolas, embalagens, recipientes, garrafas, cordas, fitas cassetes, seringas, etc. (2) *Papéis*: embalagens, jornais, folhetos, embalagens de comida e bebida, passagens de ônibus, papelão, etc. (3) *Metais*: chapa metálica, latas, garrafas, placas de veículo. (4) *Vidro*: garrafas, pedaços quebrados. (5) *Vegetação*: ramos e folhas de árvores, frutas e vegetais podres. (6) *Animais*: cães e gatos mortos, diversos esqueletos. (7) *Materiais de construção*: janelas, tábuas, escoras, tijolos quebrados, massa de concreto. (8) *Outros*: roupas velhas, sapatos, panos, esponjas, bolas, lápis, canetas, balões, tocos de cigarros, pneus.

A quantidade de resíduo sólido encontrado no sistema de drenagem urbana pode ser influenciada por uma série de fatores, Allison et al. (1998) citam alguns fatores que influenciam na taxa de produção de lixo, entre os quais estão:

- Tipo de ocupação do solo: comercial, industrial, residencial e parques;
- Características dos eventos de precipitação;
- População;
- Práticas de gerenciamento: limpeza de ruas, forma de armazenamento, regularidade de limpeza, programas de reciclagem;
- Programas de conscientização e educação;
- Período de tempo sem chuvas;
- Tamanho e geometria das entradas e condutos da rede de drenagem.
- Características físicas da bacia hidrográfica: tamanho, declividade, características da superfície e vegetação;
- Variações sazonais;
- Intensidade e direção do vento.

Armitage & Rooseboom (2000) ainda citam que o nível econômico da comunidade também afeta a produção de resíduos, pois pessoas de baixa renda em não têm acesso a muitos produtos, conseqüentemente, não produzem tanto lixo.

### 2.5.3. Casos estudados

A importância de quantificar e reter parte do material transportado nos sistemas de drenagem está nos prejuízos que este vem a causar, tanto no que se refere à obstrução de redes quanto às elevadas cargas de poluentes que se encontram agregadas junto aos mesmos, além de permitir a aplicação de adequadas soluções de controle. Entretanto, no Brasil não existem informações sobre a quantidade de lixo que é lançado no sistema de drenagem urbana.

Nielsen & Carleton, 1989 (apud Allison et al., 1998) foram os primeiros, na Austrália, a desenvolverem estudos quantificando, exatamente, a composição dos resíduos sólidos encontrados na drenagem urbana. Amostras foram coletadas de um canal em Sydney durante 4 meses no final do inverno, usando uma medida volumétrica para quantificação do material. Os resultados indicaram que a principal

parte amostrada foi matéria orgânica (vegetação) e plástica, também foi encontrada alta quantidade de papéis.

Gamtron, 1992 (apud Allison et al., 1998) coletou amostras de 4 regiões de Sydney, encontrando, em escala volumétrica, os seguintes resultados: 71% matéria orgânica (vegetação), 13% plástico, 7% papéis, 2% vidros e 1% metais.

MMBW et al., 1992 (apud Allison et al., 1998) realizaram um trabalho em Coburg, Victoria, utilizando um método de contagem para classificar o material, no qual a matéria orgânica foi desconsiderada, no total 2.231 itens foram coletados para o estudo. Os resultados em percentagem foram: 66% plástico, 21% papel, 11% outros, 1% vidro e 1% latas.

Armitage & Rooseboom (2000) mostram alguns trabalhos de quantificação de cargas desenvolvidos nos países da África do Sul, nas cidades de Springs, Johannesburg e Cape Town, da Nova Zelândia, em Auckland, e da Austrália, em Melbourne. A tabela 1 mostra o resumo dos resultados obtidos no monitoramento, nos países acima, para a carga de resíduo sólido.

A tabela mostra as menores taxas de carga de resíduos para Melbourne e Auckland comparadas com os dados da África do Sul.

**TABELA 1 - Resumo da quantificação de resíduos na drenagem urbana**

<i>Local</i>	<i>Carga (kg/ha/ano)</i>	<i>Volume (m<sup>3</sup>/ha/ano)</i>	<i>Dimensão mín. (mm)</i>	<i>Eficiência do dispositivo</i>
Springs	82	0,86	20	72%
Johannesburg	48	0,5	20	70%
Auckland	2,76	0,029	19	-
Cape Town	26	0,28	75	50% (*)
Melbourne (sem a parte orgânica)	6	0,08	-	Praticamente 100%

(\*) a eficiência não era conhecida, portanto, foi adotada a eficiência de 50%.

Fonte: adaptada de Neves & Tucci, 2003.

Estes resultados indicam que os problemas com resíduos sólidos são piores na África do Sul que em Melbourne e Auckland, isto pode ser presumido a combinação de muitos fatores, mas principalmente como o resultado da consciência ambiental difundida na África do Sul aliada com os baixos níveis de serviços em certas áreas (Armitage & Rooseboom, 2000).

Allison et al. (1998) desenvolveram um monitoramento em Coburg, subúrbio de Melbourne, indicando a quantidade, o tipo de material que é lançado e identificando o uso do solo que contribui com maior quantidade de resíduos. Tais estudos tinham o intuito de:

- Estabelecer quais cargas de poluentes grosseiros são lançadas no sistema de drenagem no decorrer de um evento de precipitação;
- Identificar quais são os fatores que influenciam tais cargas;
- Analisar a variação temporal das cargas poluentes durante um evento de precipitação;
- Investigar que tipos de materiais originam-se de diferentes usos de solo.

Para o referente estudo foi analisada uma área de 150 ha, esta por sua vez apresenta sub-bacias de diferentes usos de solo, uma área residencial com 20 ha, uma industrial leve com 2,5 ha e uma mista entre comercial (60%) e residencial (40%) de 16 ha. As amostras foram coletadas nas três sub-bacia e na saída da bacia. Em um total de 12 meses foram monitorados 2 eventos completos, permitindo a estimativa da concentração de poluentes com os dados de descarga, durante os eventos. Os resultados indicaram que, em cada evento, o pico de concentrações ocorre antes do pico dos hidrogramas e que o maior transporte de carga ocorre durante as descargas mais altas, sugerindo que o volume de chuva e do escoamento superficial influencia na determinação das cargas de poluentes grosseiros. Os valores encontrados, para os dois eventos, podem ser analisados nas tabelas 2 e 3.

**TABELA 2 - Resultados do monitoramento de resíduos sólidos do dia 27/01/1995.**

<i>Local</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>Chuva (mm)</i>	<i>Esc. superficial (mm)</i>	<i>Lixo (g/ha) seco</i>	<i>Material orgânico (g/ha) Seco</i>	<i>Carga total (g/ha) Seco</i>
Área mista	15,8	7,0	3,4	116	254	371
Residencial	20,2	7,0	2,0	43	248	292
Industrial leve	2,5	7,0	1,3	162	79	242
Saída da bacia	150,0	7,0	2,2	77	276	353

Fonte: Allison et al., 1998.

**TABELA 3 - Resultados do monitoramento de resíduos sólidos do dia 06/04/1995**

<i>Local</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>Chuva (mm)</i>	<i>Esc. superficial (mm)</i>	<i>Lixo (g/ha) seco</i>	<i>Material orgânico (g/ha) Seco</i>	<i>Carga total (g/ha) Seco</i>
Área mista	15,8	12,0	8,3	410	162	572
Residencial	20,2	12,0	4,6	127	181	303
Industrial leve	2,5	12,0	2,3	20	44	63
Saída da bacia	150,0	12,0	7,3	163	245	407

Fonte: Allison et al., 1998.

Segundo Allison et al., 1998, tais resultados sugerem que:

- O material orgânico contribui com aproximadamente dois terços das cargas de poluentes grosseiros em todas as áreas, exceto em áreas constituídas por indústria leve;
- Existem grandes quantidades de resíduos, como papéis e plásticos, que são transportados mais em áreas comerciais do que de indústrias leves e residenciais;
- Os poluentes grosseiros permanecem, relativamente, constantes em relação às flutuações de concentração e carga, e ainda são geralmente mais altas nos primeiros estágios do escoamento superficial, sendo que a maior parte da carga é transportada na ocorrência das maiores descargas.

Os resultados mostram que uma considerável quantidade de material é lançada no sistema de drenagem. Em Melbourne, os autores encontraram carga anual de, aproximadamente, 30kg/ha/ano ou 0,4 m<sup>3</sup>/ha/ano.

Em Auckland, Nova Zelândia, foram realizados dois estudos, Cornelius et al., 1994, ICNZT, 1996 (apud Neves & Tucci, 2003) os quais se detiveram em analisar se as informações à população e as melhorias nos serviços produziram um decréscimo nas cargas obtidas. Os resultados foram satisfatórios, apresentando uma maior redução nos grânulos de plástico virgem e fragmentos de plástico cortados em máquinas, porém houve uma redução substancial de outros itens como papéis, cigarros, madeiras e uma razoável redução de sacolas e pedaços de plásticos, plásticos rígidos e itens de alumínio. A alta redução dos grânulos de plástico foi explicada por um acidente ocorrido onde se despejou muito material na

área industrial, o problema foi devidamente resolvido proporcionando uma redução muito grande.

Em Cape Town, cidade localizada na África do Sul, foi realizado um estudo semelhante ao anterior, segundo Arnold & Ryan, 1999 (apud Neves & Tucci, 2003) no qual foram escolhidas três áreas distintas quanto ao uso do solo, sendo uma residencial, uma comercial e outra industrial. As amostras foram coletadas com redes colocadas nas saídas de condutos de drenagem e monitoradas diariamente no período de 5 a 22 dias. Os resultados indicam que as cargas variam em função do uso e ocupação do solo, chegando-se a estimativa de que a região metropolitana de Cape Town, lança 4,4 milhões de itens para os corpos d'água diariamente, resultando em um total de 2,4 toneladas/dia. Esta carga, estatisticamente, inclui aproximadamente, 2 milhões de pedaços de plásticos, 290.000 pedaços de cigarros e 260.000 pedaços de papel.

Kim et al. (2004) apresentaram os resultados coletados durante dois anos, no monitoramento de seis rodovias na Califórnia do Sul. Como conclusões do estudo apresentam-se: (1) a matéria orgânica (vegetação) compõe 90% do material retido, com dimensões maiores que 5 mm; (2) as cargas apresentaram variações de 2,69 a 17,35 kg/ha para os resíduos sólidos totais secos, 0,40 a 8,99 kg/ha para matéria biodegradável seca e 0,85 a 6,61 kg/ha para matéria não-biodegradável seca; (3) existiram poucas correlações significativas entre a quantidade de resíduos sólidos e os parâmetros de cada evento, assim como, precipitação total, período de tempo seco antecedente ao evento, etc.

Segundo Allison et al. (1997) a redução das cargas de resíduos, pode ser obtida de duas maneiras, sejam elas através de medidas estruturais ou medidas não-estruturais.

As medidas estruturais são coletores construídos ou instalados nas entradas de bocas-de-lobo e sarjetas ou ainda dentro dos canais de drenagem, separando e retendo os poluentes mais grosseiros, algumas foram utilizadas nos trabalhos citados anteriormente.

Já as medidas não-estruturais envolvem ações de mudanças nas atitudes das comunidades, através de conscientização da gravidade do problema, tanto em áreas comerciais, industriais quanto residências.

Neves & Tucci (2003) afirmam que o principal objetivo do estudo das medidas estruturais é o de atingir uma configuração autolimpante. Estas medidas além de deterem as cargas poluentes, ainda são importantes por fornecerem dados para serem trabalhados nos processos de conscientização ambiental.

### **3. DESCRIÇÃO DAS ÁREAS ESTUDADAS**

Para a realização deste trabalho foram estudadas duas bacias hidrográficas urbanas, localizadas no município de Santa Maria-RS. Na bacia hidrográfica Cancela foram desenvolvidos estudos de qualidade d'água e de resíduos sólidos, simultaneamente, no período de janeiro a dezembro de 2004. Entretanto, na bacia hidrográfica Alto da Colina os dados de qualidade d'água utilizados, para fins comparativos, foram obtidos anteriormente a este trabalho por Paz, 2004, já os dados de resíduos sólidos, desta bacia, foram monitorados no mesmo período da bacia Cancela. A seguir apresentam-se detalhadas as características das duas bacias estudadas.

#### **3.1. Bacia Hidrográfica Cancela**

A área em questão situa-se na região centro-sul do município de Santa Maria, afluente do Arroio Cadena, percorrendo os bairros Nossa Senhora de Lourdes e Medianeira, a mesma encontra-se entre as coordenadas geográficas 53°48'44" e 53°47'12" de longitude oeste e 29°43'02" e 29°41'31" de latitude sul.

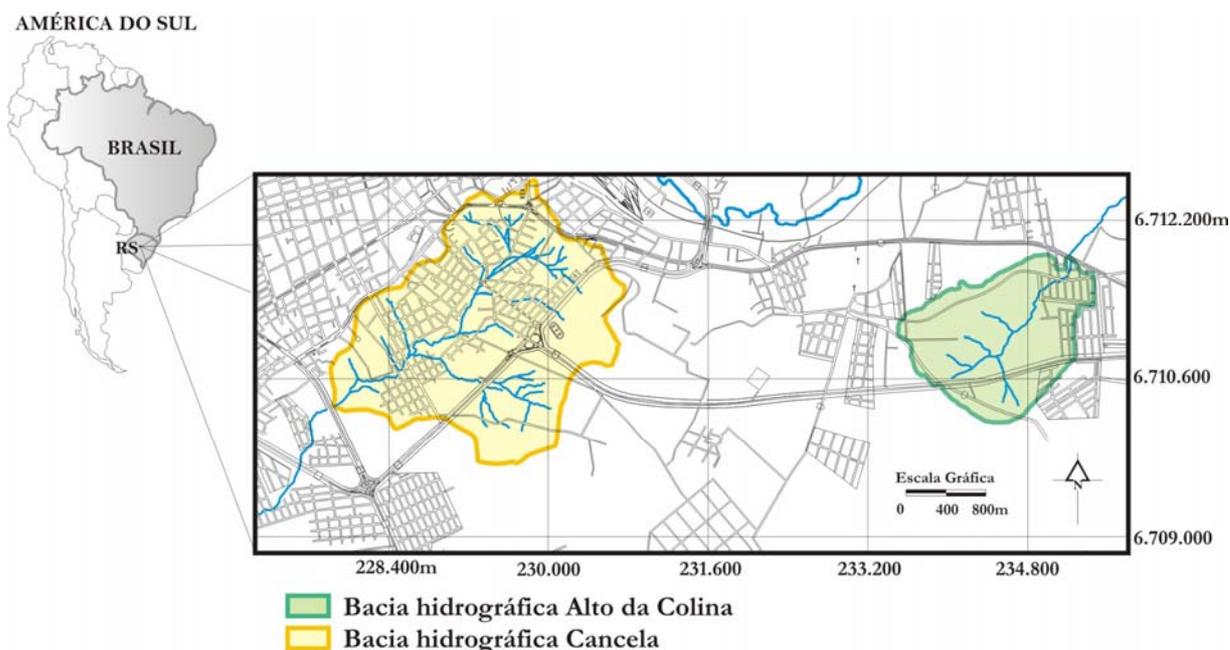
A bacia possui uma população de 18.082 habitantes, em alguns trechos apresenta sistema de esgotamento das águas pluviais e residuárias do tipo combinado, no entanto, a bacia encontra-se em um avançado estágio de degradação ambiental devido ao lançamento de esgoto doméstico.

#### **3.2. Bacia Hidrográfica Alto da Colina**

A bacia hidrográfica Alto da Colina pertence à região centro-oeste do município, percorrendo os bairros Camobi, São José e Pains. A área da bacia localiza-se entre as coordenadas 53°44'11,5" e 53°43'41" de longitude oeste e 29°41'47" e 29°38'47" de latitude sul às margens da rodovia RS-509, seccionada pela RS-287.

A bacia apresenta em sua área uma população de 1.972 habitantes, composta de sistema de esgotamento das águas pluviais e residuárias do tipo combinado.

A figura 1 indica a localização geográfica das Bacias Hidrográficas Cancela e Alto da Colina, permitindo visualizar as distâncias e diferenças marcantes entre as bacias como ocupação e tamanho.



**FIGURA 1 - Localização geográfica da Bacia Hidrográfica Cancela e Alto da Colina, no município de Santa Maria – RS.**

### 3.3. Estações de Monitoramento

O monitoramento da bacia hidrográfica Cancela foi realizado através de uma estação fluviográfica e uma estação pluviográfica, ambas monitoradas pelo grupo GHIDROS.

A estação fluviográfica Cancela localiza-se no exutório da bacia e é equipada com registrador de nível digital do tipo Orphimedes (OTT).

A estação pluviográfica Sest Senat localiza-se na região central da bacia e composta de um pluviógrafo digital do tipo Pluvio-OTT.

A figura 2 apresenta a localização das estações de monitoramento fluviográfica e pluviográfica instaladas na bacia hidrográfica Cancela.



FIGURA 2 - Localização das estações de monitoramento da Bacia Hidrográfica Canela.

A figura 3 mostra em detalhe a seção de amostragem da estação fluviográfica na bacia Canela, onde foram instalados os equipamentos para a realização das coletas de água, amostradores de nível ascendente e descendente, ANA e AND, respectivamente.



**FIGURA 3 - Estações fluviográfica e de qualidade da água da Bacia Hidrográfica Cancela.**

O monitoramento da bacia hidrográfica Alto da Colina foi realizado através de duas estações fluviográficas e uma estação pluviográfica, monitoradas pelo grupo GHIDROS.

A bacia hidrográfica Alto da Colina apresenta uma área com característica urbana e outra com característica rural, portanto, para o monitoramento da bacia foram instaladas duas estações fluviográficas. A estação fluviográfica Alto da Colina II (AC-II) monitorou a parte rural da bacia e a estação Alto da Colina I (AC-I) possibilitou o monitoramento de toda a área da bacia, estando localizada no exutório da mesma. A estação AC-I possui um registrador de nível digital do tipo Thalimedes (OTT).

Os dados pluviográficos foram obtidos na estação Vila Maria, localizada na parte rural da bacia, operando com um registrador digital do tipo Pluvio (OTT).

A FIGURA 4 indica a localização das estações de monitoramento fluviográfico, AC-I e AC-II, e a estação pluviográfica Vila Maria instaladas na bacia.

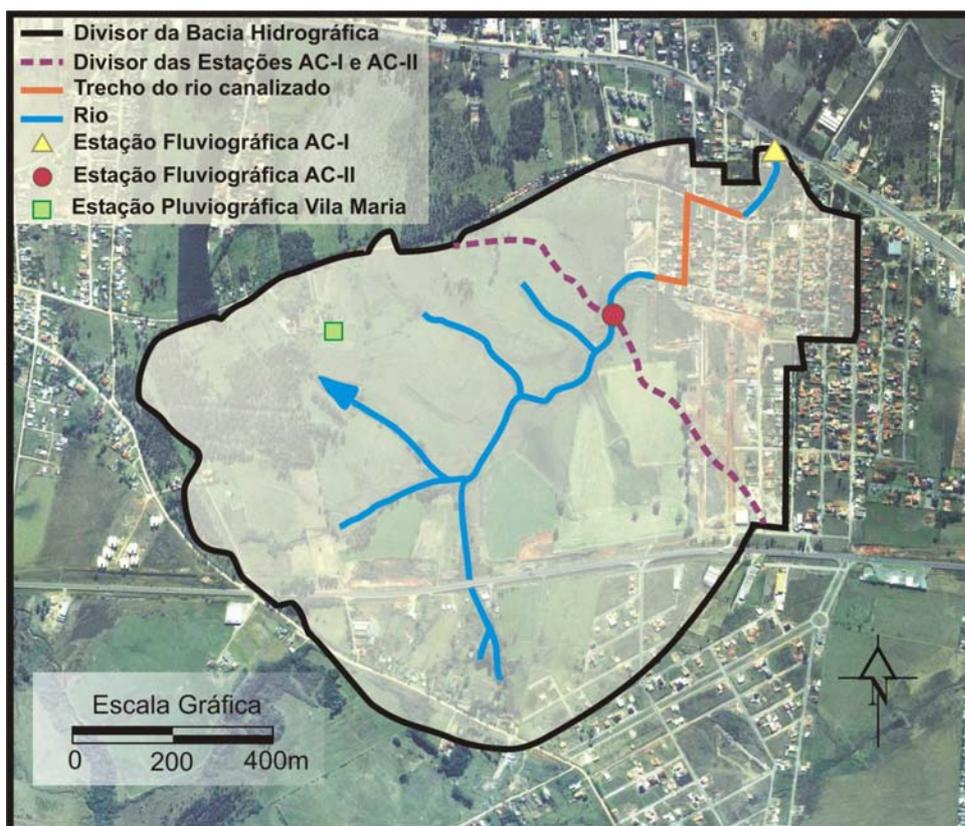


FIGURA 4 - Localização das estações de monitoramento da Bacia Hidrográfica Alto da Colina.

A tabela 4 disponibiliza os parâmetros da caracterização física das duas áreas estudadas, onde os dados da estação AC-I representa toda a bacia Alto da Colina.

TABELA 4 - Características físicas da Bacia Hidrográfica Cancela.

Parâmetro	Bacia Hidrográfica Cancela*	Bacia Hidrográfica Alto da Colina**	
		AC-I	AC-II
Área de Drenagem (A)	4,95 km <sup>2</sup>	1,90 km <sup>2</sup>	1,44 km <sup>2</sup>
Perímetro da Bacia (P)	10,29 km	6,05 km	4,70 km
Comprimento do Rio Principal (Lp)	3,74 km	1,90 km	1,12 km
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,29	1,23	1,1
Fator de Forma (Kf)	0,36	0,55	0,99
Elevação Máxima	240 m	145 m	145 m
Elevação Mínima	76 m	112,56 m	116,97 m
Declividade do Rio Principal	0,013 m/m	0,010 m/m	0,009 m/m
Declividade Média da Bacia (Im)	0,109 m/m	0,049m/m	0,058 m/m

\*Fonte: Garcia (2005)

\*\*Fonte: Meller (2004)

### 3.4. Uso e ocupação do Solo

A tipologia de uso e ocupação do solo constitui um importante fator a relacionar com as variações na qualidade do escoamento superficial, devido às interferências proporcionadas pela urbanização.

As tabelas 5 e 6 apresentam as diferentes distribuições para a tipologia de uso e ocupação do solo para as bacias hidrográficas Cancela e Alto da Colina, respectivamente. Os dados contidos nas tabelas 5 e 6 servirão para possível comparação entre as duas áreas no transporte de carga poluente pelo escoamento superficial urbano.

**TABELA 5 – Uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica Cancela.**

<i>Tipologia de uso e ocupação do solo</i>	<i>Ano de 2004 (%)</i>
Terrenos, jardins	18
Telhados, calçadas	24
Vegetação Arbórea	27
Ruas	11
Campo	17
Solo Exposto	3
Água	<1
Área Urbanizada	56
Área Impermeável	35

Fonte: Garcia (2005)

**TABELA 6 - Uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica Alto da Colina**

<i>Tipologia de uso e ocupação do solo</i>	<i>Ano de 2003 (%)</i>
Pastagem, campo nativo	31,35
Água	0,36
Agricultura	28,1
Pomar	0,81
Solo Exposto	5,66
Mata Ciliar	2,69
Mata nativa/reflorestamento	8,7
Área Urbanizada	22,3
Área Impermeável	12

Fonte: Meller (2004)

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1. Qualidade de Água**

As amostras de água foram obtidas em dois períodos: tempo seco, caracterizado pela ausência de chuva, e tempo úmido, na presença de chuva, este procedimento foi realizado na seção de amostragem da Bacia Hidrográfica Cancela, no período de janeiro a dezembro de 2004. Os dados de qualidade d'água da Bacia Hidrográfica Alto da Colina, utilizados para fins comparativos, foram determinados anteriormente em um estudo desenvolvido, no período de janeiro a dezembro de 2003, por Paz (2004).

Dois tipos de coletas foram realizados, as superficiais obtidas manualmente e as instantâneas através de equipamentos instalados em campo.

As coletas de amostras superficiais, obtidas em tempo seco e úmido, foram realizadas no centro da seção de amostragem, através de recipientes plásticos para posterior transferência para garrafas PET, as quais eram devidamente identificadas.

Para as coletas em tempo úmido também foram utilizados amostradores automáticos de nível ascendente e descendente, ANA e AND, respectivamente, instalados em dois pontos da seção de amostragem. Estes amostradores possibilitaram o monitoramento da variação da qualidade da água durante a passagem da onda de cheia em eventos noturnos ou que não foram possíveis de serem monitorados manualmente.

Após as coletas as amostras foram submetidas às análises dos seguintes parâmetros de qualidade da água: sólidos suspensos, turbidez, condutividade elétrica, temperatura, pH, OD, DBO<sub>5</sub>, coliformes totais e fecais.

#### **4.1.1. Parâmetros de qualidade da água**

##### **4.1.1.1. Sólidos suspensos – fixos e voláteis**

Os sólidos suspensos agem de maneira indireta sobre a vida aquática, impedem a penetração da luz, induzem o aquecimento da água o que,

conseqüentemente, diminui a quantidade de oxigênio dissolvido no meio. Este parâmetro constitui-se, naturalmente, de detritos orgânicos, plâncton e sedimentos de erosão.

Para um melhor detalhamento do parâmetro foram determinados os sólidos suspensos voláteis e fixos, caracterizando o conteúdo orgânico e inorgânico, respectivamente, dos sólidos suspensos totais presente na amostra d'água.

O procedimento para a obtenção das concentrações de sólidos suspensos fixos e voláteis, de filtragem e pesagem, segue a metodologia descrita no APHA Standard Methods, 20th ed. (1998).

#### 4.1.1.2. Turbidez

A turbidez indica a alteração na passagem da luz através da água, pode ser alterada pela presença de partículas em suspensão provocando a difusão e absorção da luz, tornando-a com uma aparência turva. Quando de origem antropogênica, pode estar associada a compostos tóxicos, organismos patogênicos e a erosão, no entanto, quando de origem natural, está associada à variação sazonal, a intensidade de precipitação, a partículas de rocha, argila e silte, algas e outros microrganismos, não afetando diretamente as condições de qualidade sanitária, apesar de ser esteticamente desagradável. A determinação do parâmetro foi realizada através do turbidímetro SL-2K.

#### 4.1.1.3. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da água pode ser definida como a capacidade que a mesma apresenta de conduzir corrente elétrica, estando relacionada com a presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. A determinação do parâmetro, nas amostras, utilizou-se o terminal multiparâmetros inoLab.

#### 4.1.1.4. Temperatura

A temperatura da água é um fator de grande influência nos processos físicos, químicos e biológicos ocorridos na água, além de outros processos como a solubilidade dos gases dissolvidos, pois esta diminui com a elevação da temperatura. Os organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica e temperaturas ótimas para crescimento e reprodução.

A determinação do parâmetro, nas amostras, utilizou-se o terminal multiparâmetros inoLab e o oxímetro YSI.

#### 4.1.1.5. pH

O pH (potencial hidrogeniônico) indica o grau de concentração de íons hidrogênio  $H^+$  em uma solução. A escala de pH varia de 0 a 14, identificando a condição ácida, neutra ou alcalina.

A origem natural de hidrogênio é a dissolução de rochas, a absorção de gases da atmosfera, a oxidação da matéria orgânica e a fotossíntese. Como origem antropogênica, tem-se os despejos domésticos (oxidação da matéria orgânica) e despejos industriais.

A determinação do parâmetro, nas amostras, utilizou-se o terminal multiparâmetros inoLab.

#### 4.1.1.6. Oxigênio Dissolvido – OD

É um parâmetro de fundamental importância em análises de qualidade da água, pois encontra-se diretamente relacionado com a possibilidade de manutenção de vida dos organismos aeróbios, que habitam o meio aquático. O oxigênio dissolvido se reduz ou desaparece, quando a água recebe grandes quantidades de substâncias orgânicas biodegradáveis, tornando-se o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos.

Para determinação do oxigênio dissolvido, utilizou-se o terminal multiparâmetros inoLab e o oxímetro YSI.

#### 4.1.1.7. Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO

A DBO pode ser entendida como sendo a quantidade de oxigênio molecular necessária para a estabilização da matéria orgânica carbonácea decomposta aerobicamente através de via biológica. Esta estabilização da matéria orgânica envolve um consumo do oxigênio dissolvido na água, para os processos do metabolismo destes organismos biológicos aeróbios. Portanto, através deste parâmetro é possível avaliar a quantidade de matéria orgânica está presente no corpo hídrico.

A metodologia utilizada para a determinação da concentração de DBO<sub>5</sub> segue o recomendado pelo APHA Standard Methods, 20th ed. (1998).

#### 4.1.1.8. Coliformes Totais e Fecais

A utilização destes parâmetros é justificada pela necessidade de avaliar a qualidade microbiológica da água associada às doenças de veiculação hídrica.

Estes organismos são identificados como indicadores de contaminação fecal, ou seja, acusam a presença de contaminação, recente, por fezes de seres humanos ou de animais de sangue quente.

Para a obtenção do número de coliformes fecais e totais, utilizou-se o Colilert 24h, possibilitando a detecção, confirmação e enumeração, simultaneamente, dos organismos em 24 horas. Os testes utilizam tecnologia do substrato definido, usando indicadores/nutrientes específicos para coliformes e *Escherichia Coli*. Este procedimento é recomendado pela EPA e aceito pelo APHA Standard Methods, 20th ed. (1998).

#### 4.1.2. Amostradores Automáticos

Estes equipamentos foram utilizados justificando-se a necessidade da obtenção de amostras de água em eventos nos quais seriam de difícil assistência momentânea de um operador. Paiva (1997) em uma análise da distribuição temporal com 2.643 eventos chuvosos de 1963 a 1988, no município de Santa Maria-RS, observou que 69% dos eventos registrados ocorreram entre as 0:00 e 6:00 horas.

Os amostradores coletam água na subida e na descida do nível d'água, em profundidades específicas, estabelecidas conforme a variação da lâmina d'água no local de amostragem e seu funcionamento opera sob princípio de sifão.

#### 4.1.2.1. Amostrador de Nível Ascendente – ANA

O amostrador de nível ascendente, ANA, utilizado para coletar amostras de água durante a subida da onda de cheia, em níveis pré-estabelecidos, foi construído com base nas especificações sugeridas por Umezawa (1979).

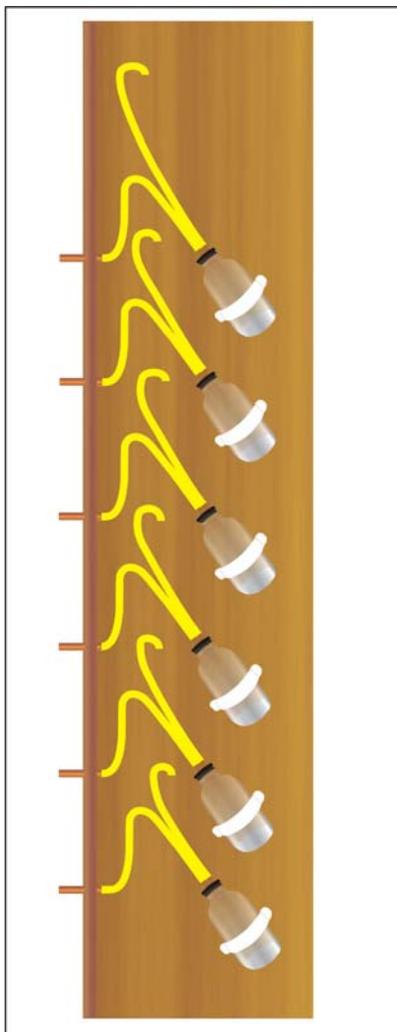
O equipamento é constituído de garrafas nas quais são acoplados tubos na forma de sifão em suas extremidades, onde um dos tubos permite a entrada d'água e o outro a saída de ar durante o enchimento da garrafa. A forma de sifão da tubulação evita a recirculação de água no interior da garrafa enquanto a mesma permanecer submersa. Os bocais de tomada d'água foram instalados no sentido contra-corrente para facilitar a admissão da amostra. A coleta d'água em uma determinada garrafa é realizada do momento em que o nível d'água atinge o bocal de tomada até o momento em que atinge o ponto mais alto do seu sifão.

Na estação fluviométrica da bacia hidrográfica Cancela o amostrador foi instalado na margem esquerda com 11 garrafas fixadas a uma profundidade conforme a elevação do nível d'água no local. A tabela 7 apresenta o nível correspondente a cada garrafa do amostrador, ANA.

**TABELA 7 - Relação nível-garrafa do amostrador de nível ascendente, ANA, instalado na Bacia Hidrográfica do Cancela.**

<b>Garrafa</b>	<b>Nível (m)</b>
G1	0,39
G2	0,52
G3	0,65
G4	0,78
G5	0,94
G6	1,08
G7	1,23
G8	1,39
G9	1,54
G10	1,69
G11	1,83

A figura 5 ilustra o amostrador instalado na seção de amostragem da bacia hidrográfica do Cancela.



**FIGURA 5 - Desenho ilustrativo do Amostrador de Nível Ascendente instalado na seção de amostragem da Bacia Hidrográfica Cancela.**

#### 4.1.2.2. Amostrador de Nível Descendente – AND

O amostrador de nível descendente, AND, coleta amostra de água somente na descida da onda de cheia, em níveis pré-estabelecidos, com o intuito de complementar os dados obtidos pelo amostrador de nível ascendente, ANA, possibilitando a análise completa da variação da qualidade d'água durante a passagem da onda de cheia.

O equipamento foi adaptado de Maldaner (2003) a partir de modificações do modelo AND-78 descrito por Umezawa (1979). O desenvolvimento do amostrador realizou-se no Laboratório de Pequenos Aproveitamentos Hidrelétricos do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal de Santa Maria, onde após vários ensaios foi instalado em campo, na margem direita do Arroio Cancela.

O amostrador, AND, tem por princípio de funcionamento a abertura do bocal de tomada de amostra, em alturas pré-fixadas, através de um dispositivo acionado por um sistema de roldanas interligado a uma bóia, que indica as variações do nível d'água (Umezawa, 1979).

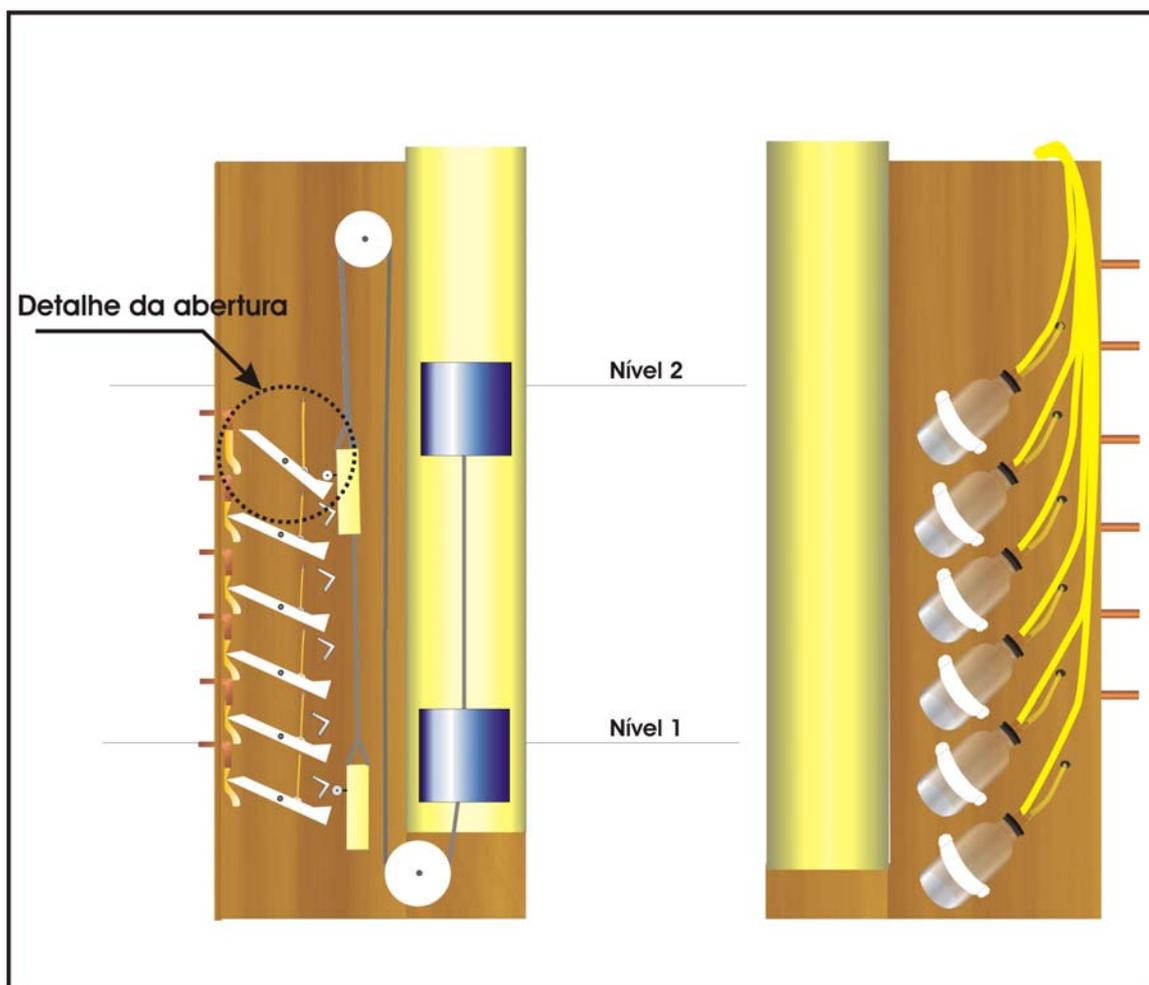
Na estação fluviométrica da bacia hidrográfica do Cancela o amostrador foi instalado na margem direita com 10 garrafas fixadas a uma profundidade conforme a elevação do nível d'água no local. A tabela 8 apresenta o nível correspondente a cada garrafa do amostrador, AND.

**TABELA 8 - Relação nível-garrafa do amostrador de nível descendente, AND, instalado na Bacia Hidrográfica do Cancela.**

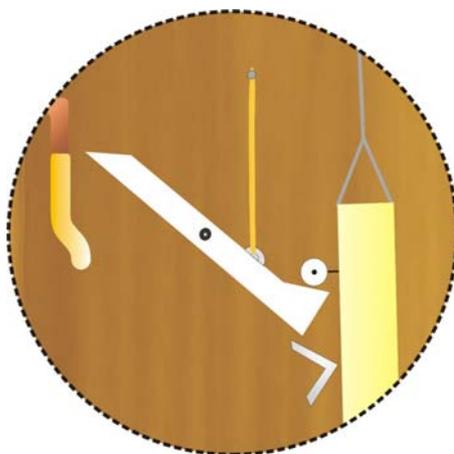
<i>Garrafa</i>	<i>Nível (m)</i>
G1	0,63
G2	0,78
G3	0,92
G4	1,07
G5	1,22
G6	1,38
G7	1,52
G8	1,67
G9	1,82
G10	1,98

A figura 6 ilustra o amostrador de nível instalado na bacia hidrográfica Cancela.

A figura 7 exhibe uma ampliação do funcionamento do sistema de abertura do amostrador de nível descendente, onde mostra o momento em que o contrapeso força o sistema que mantém o bico de entrada d'água fechado, permitindo assim o completo enchimento da garrafa.



**FIGURA 6 - Desenho ilustrativo do Amostrador de Nível Descendente, frente-verso, instalado na seção de amostragem da Bacia Hidrográfica Cancela.**



**FIGURA 7 - Detalhe do sistema de abertura do Amostrador de Nível Descendente.**

## 4.2. Caracterização da Carga de Lavagem.

O fenômeno de carga de lavagem pode apresentar diversas definições, conforme já discutido. No presente estudo, realizado na Bacia Hidrográfica do Cancela, avaliou-se o fenômeno através da aplicação da metodologia descrita por Gupta & Saul (1996a), uma vez que o mesmo foi utilizado, anteriormente, em estudo realizado na bacia hidrográfica Alto da Colina por Paz, 2004, tornando possível a comparação entre as características da qualidade da água nas diferentes áreas. Este método é menos restritivo por não fixar percentagem de carga transportada no volume escoado, possibilitando uma melhor avaliação do fenômeno. A seguir apresenta-se, detalhadamente, o método aplicado para avaliação da Carga de Lavagem na bacia hidrográfica em questão.

### 4.2.1. Definição de Gupta & Saul (1996a)

Segundo os autores a carga de lavagem pode ser definida como sendo a porção do evento até o local de máxima divergência entre as curvas adimensionais da percentagem de massa poluente cumulativa e a percentagem de volume escoado cumulativo, plotadas em relação à percentagem acumulada do tempo do evento.

A diferença desta representação adimensional do fenômeno com as curvas  $M(V)$  é a inclusão do tempo. Esta variável é explícita nesta representação e implícita para as curvas  $M(V)$ , onde o tempo aumenta juntamente com as mesmas.

A figura 8 ilustra a definição do fenômeno conforme Gupta e Saul (1996a).

#### 4.2.1.1. Distribuição massa poluente vs volume escoado

A variabilidade da taxa de massa poluente transportada durante eventos de precipitação na rede de drenagem pode ser descrita por duas curvas: hidrograma  $Q(t)$  e polutograma  $C(t)$  para cada poluente considerado, onde,  $Q$  representa a vazão ( $m^3/s$ ); e  $C$  a concentração ( $mg/L$ ).

Estas curvas, chamadas de curvas  $M(V)$ , possibilitam uma análise adimensional capaz de confrontar eventos de diferentes características e localização.

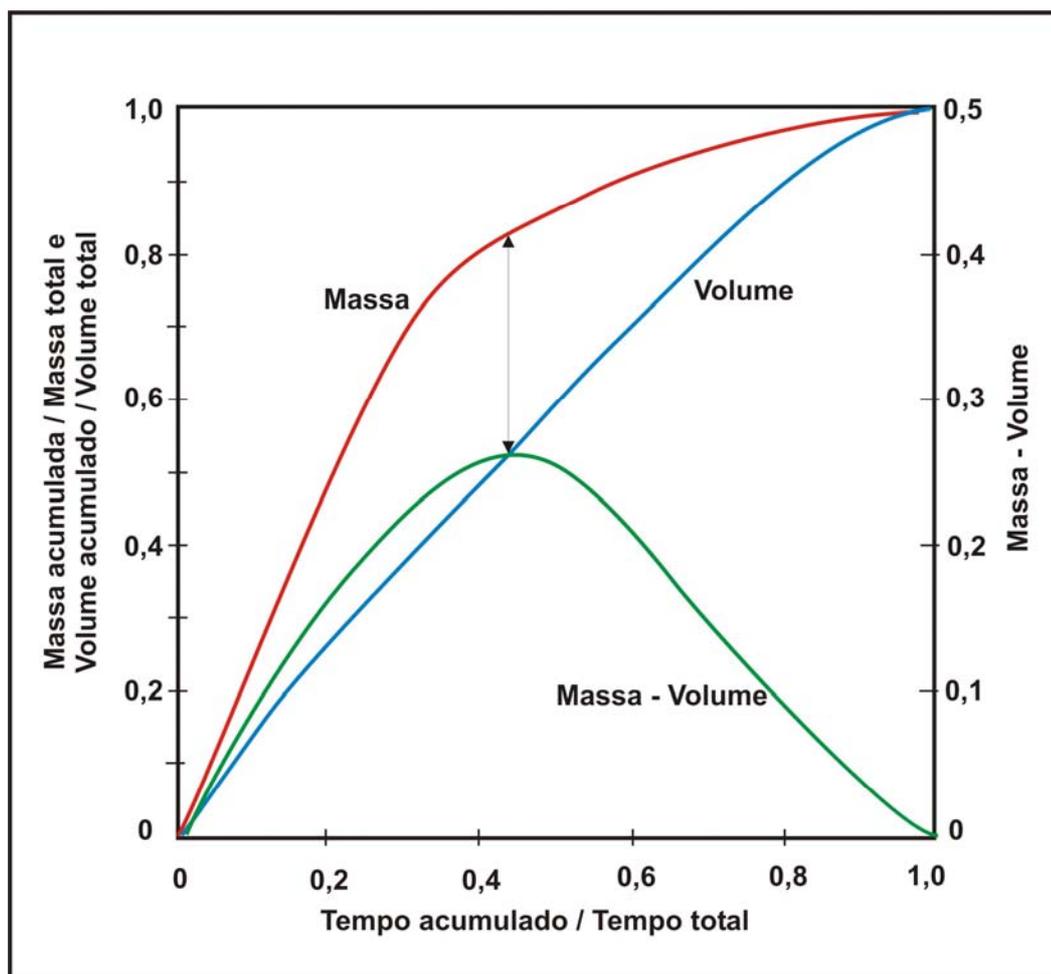


FIGURA 8 - Definição da carga de lavagem segundo Gupta & Saul, 1996a. (Adaptado de Bertrand et al.,1998).

Em uma bacia hidrográfica estas curvas podem variar de evento para evento, dependendo dos seguintes parâmetros: intensidade de precipitação, período de tempo seco antecedente ao evento e o total precipitado, condições da rede de drenagem, quantidade de deposição, acúmulo de massa poluente sobre a bacia, características da bacia e da rede de drenagem.

Através de análises gráficas das curvas  $M(V)$ , como mostra a figura 9, observa-se a posição destas em relação ao bissetor, indicando a distribuição dos poluentes durante todo o evento. Se a curva apresenta declividade de  $45^\circ$  assume-se que os poluentes são distribuídos uniformemente durante o evento. Quando esta permanecer acima do bissetor, curva  $> 45^\circ$ , a ocorrência da carga de lavagem fica

evidenciada. Reciprocamente, a carga de lavagem não ocorre quando a curva permanecer abaixo do bissetor, curva  $<45^\circ$ .

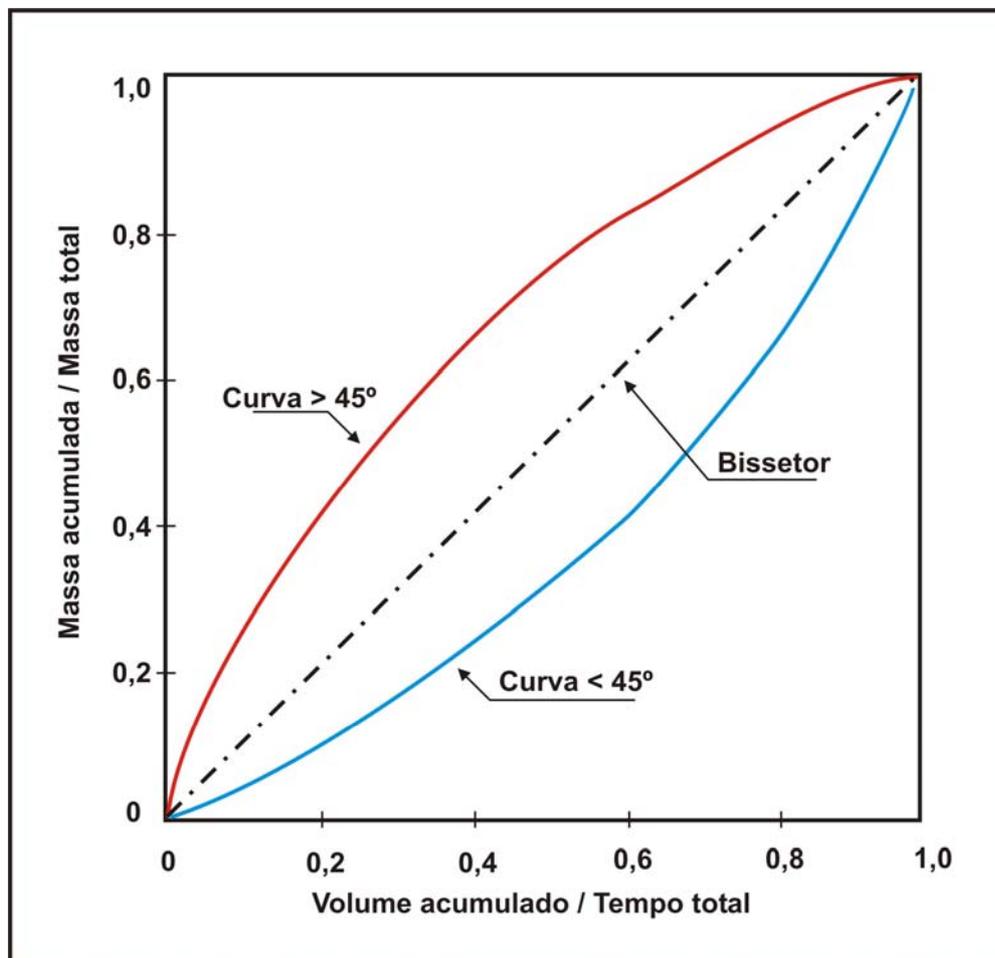


FIGURA 9 - Representação das Curvas  $M(V)$  em relação ao bissetor. (Adaptado de Bertrand et al., 1998).

#### 4.2.1.2. Concentração média do evento (CME)

Foi calculada a Concentração Média do Evento (CME), pois o uso desta é apropriado para avaliar os efeitos do escoamento superficial nos corpos d'água receptores, uma vez que estes respondem lentamente as vazões pluviais, quando comparados com a taxa nas quais as concentrações dos constituintes modificam-se durante um evento de precipitação. Portanto, a Concentração Média do Evento torna-se um importante parâmetro a ser analisado (Lee et al., 2000). A equação 1, apresentada abaixo, indica como esta concentração média do evento foi calculada.

$$CME = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^t C_t Q_t dt}{\int_0^t Q_t dt} \cong \frac{\sum C_t Q_t \Delta t}{\sum Q_t \Delta t} \quad (1)$$

onde:

CME = concentração média do evento (mg/L);

M = massa total de poluente durante o evento (g);

V = volume total durante o evento (m<sup>3</sup>);

t = tempo (s);

C<sub>t</sub> = concentração no tempo t (mg/L);

Q<sub>t</sub> = vazão no tempo t (m<sup>3</sup>/s);

Δt = intervalo de tempo (s).

#### 4.2.1.3. Concentração média parcial do evento (CMPE)

Esta concentração foi calculada para intervalos de tempo menores que a duração total do evento e pode ser definida como mostra a equação 2.

$$CMPE = \frac{m(t)}{v(t)} = \frac{\int_0^t C_t Q_t dt}{\int_0^t Q_t dt} \cong \frac{\sum C_t Q_t \Delta t}{\sum Q_t \Delta t} \quad (2)$$

onde:

CMPE = concentração média parcial do evento (mg/L);

m(t) = massa poluente transportada até o tempo t (g);

v(t) = volume escoado até o tempo t (m<sup>3</sup>);

t = tempo (s);

C<sub>t</sub> = concentração no tempo t (mg/L);

Q<sub>t</sub> = vazão no tempo t (m<sup>3</sup>/s);

Δt = intervalo de tempo (s).

Para a análise do fenômeno da carga de lavagem, no escoamento superficial urbano, torna-se necessário normalizar adimensionalmente as massas poluentes transportadas e os volumes escoados, indicadas nas equações 3 e 4, respectivamente.

$$L = \frac{m(t)}{M} \quad (3)$$

$$F = \frac{v(t)}{V} \quad (4)$$

onde:

L = adimensional de massa poluente acumulada;

F = adimensional de volume escoado acumulado.

A carga de lavagem ocorre no tempo t se a curva adimensional de massa poluente acumulada, L, exceder a curva adimensional de volume escoado acumulado, F, em todos os instantes durante o evento.

Conforme a definição da máxima divergência considera-se que uma substancial carga de lavagem ocorre se a diferença máxima entre a curva adimensional de massa poluente acumulada, L, e a curva adimensional de volume escoado acumulado, L, for maior que 0,2. A equação 5 indica esta diferença.

$$\Delta = L - F \quad (5)$$

onde:

$\Delta$  = diferença entre a curva adimensional de massa poluente acumulada, L, e a curva adimensional de volume escoado acumulado, L.

### 4.3. Análise dos eventos de precipitação

Os dados obtidos, através das coletas pontuais e dos amostradores de níveis ascendente e descendente, foram utilizados na confecção dos polutogramas.

Para uma avaliação completa das características de qualidade da água, durante a passagem da onda de cheia, adotaram-se pontos iniciais e finais para todos os eventos analisados, assumindo para os mesmos as características de qualidade da água, de tempo seco, do dia mais próximo ao evento. A adoção de pontos iniciais justifica-se pela dificuldade de chegar à estação antes do início da precipitação, pois estas algumas vezes ocorrem em horários imprevistos. A adoção dos pontos finais justifica-se pela extensão de alguns eventos impossibilitando a permanência da equipe em campo.

As cargas de poluente foram obtidas através da multiplicação do valor da característica de qualidade da água em questão, pela vazão de escoamento superficial no instante considerado. Os valores destas cargas foram sendo acumulados durante todo o evento de precipitação. Como o corpo d'água apresenta uma carga poluente de base, devido ao lançamento clandestino de esgoto e sua vazão de base, este valor foi calculado e descontado do montante, já que objetiva-se avaliar apenas o impacto do escoamento superficial, ou seja, da poluição difusa no recurso hídrico.

Para a construção dos hidrogramas, na bacia hidrográfica Cancela, foi utilizada a curva-chave construída por Garcia (2005), apresentada nas equações 6, 7, 8 e 9.

Para  $H < 32$  cm

$$Q = 5 \times 10^{-8} \cdot H^{4,6476} \quad (6)$$

Para  $32 < H < 85$  cm

$$Q = 6 \times 10^{-4} \cdot H^2 - 3 \times 10^{-4} \cdot H - 3,13 \times 10^{-2} \quad (7)$$

Para  $85 < H < 215$  cm

$$Q = 1 \times 10^{-4} \cdot H^2 + 7,21 \times 10^{-2} \cdot H - 2,7792 \quad (8)$$

Para  $H > 215$  cm

$$Q = 4 \cdot \sqrt{0,1962 \cdot (H - 115)} \quad (9)$$

onde:

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s);

H = cota (cm).

A curva-chave utilizada na estação Alto da Colina I é apresentada pelas equações 10, 11 e 12 (Meller, 2004):

Para  $H < 0,195$  m

$$Q = 0,2218 \cdot H^{1,1913} \quad (10)$$

Para  $0,195 < H < 0,954$  m

$$Q = 3,5101 \cdot H^2 - 0,4319 \cdot H - 0,0173 \quad (11)$$

Para  $H > 0,954$  m

$$Q = 5,0636 \cdot H - 2,0665 \quad (12)$$

onde:

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s);

H = cota (m).

#### 4.4. Resíduos sólidos

As coletas foram realizadas nas Bacias Hidrográficas Cancela e Alto da Colina, no período de abril a dezembro de 2004, após cada evento de precipitação, onde o resíduo retido foi quantificado em peso, volume e classificado em função da composição: matéria orgânica e matéria inorgânica.

##### 4.4.1. Procedimento de coleta e análise dos resíduos sólidos

Para a retenção do material lançado no sistema de drenagem foram instaladas redes, feitas de telas de aço com malha de 70 mm, instaladas transversalmente ao eixo dos rios, possibilitando a retenção e análise da maioria dos

resíduos sólidos transportados. As mesmas foram presas à vegetação existente nos locais de amostragem, através de tiras de aço galvanizado de 5 mm de espessura.

A escolha deste dispositivo foi tomada com devidos cuidados, pois as características do solo, nas margens do corpo d'água, apresentavam tendência a possíveis desmoronamentos, logo, se ocorresse o entupimento da rede por pequenas partículas ou grande quantidade de material, a forte vazão existente faria a água desviar seu percurso natural causando danos à região. Portanto, a estrutura foi escolhida e fixada de forma a ceder se ocorresse algum esforço maior que o dimensionado.

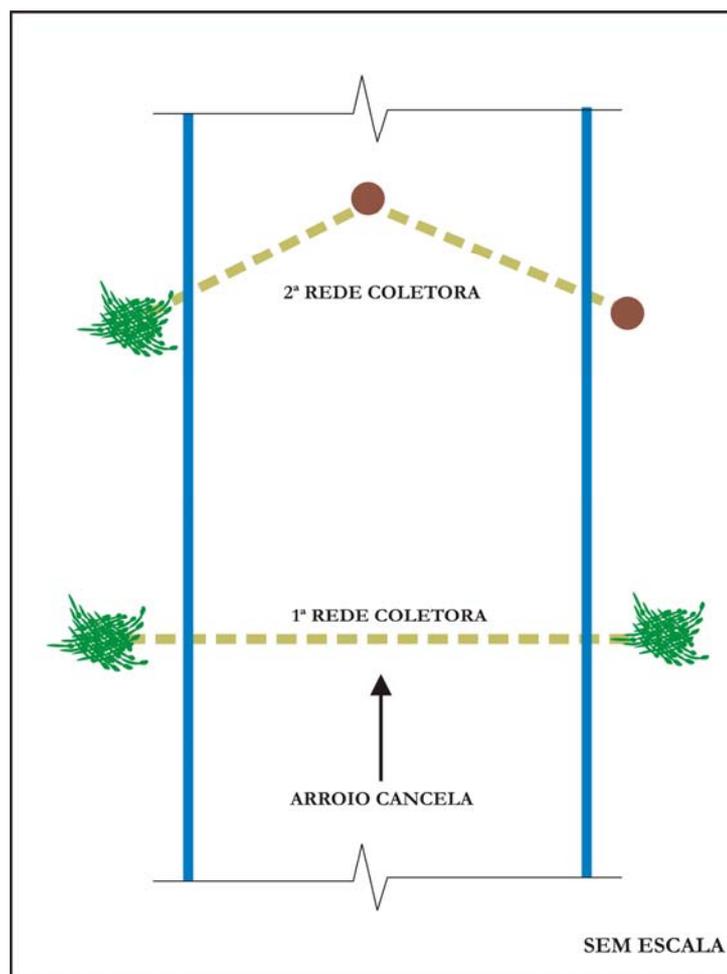
O resíduo acumulado foi removido das redes, manualmente, pela equipe de campo, o qual ficava depositado por algum tempo nas margens do corpo d'água, para possibilitar o escoamento do excesso de água, evitando assim que houvesse aumento no peso das amostras, devido à umidade do material.

Posteriormente o material coletado era classificado em função de sua composição, e logo após quantificado em peso e volume.

Na bacia hidrográfica Cancela houve a necessidade da instalação de duas redes coletoras, com distância de 20 m uma da outra, devido a problemas com a retenção do material e extravio da primeira rede instalada, durante os eventos maiores. A figura 10 ilustra o esquema com as duas redes coletoras instaladas na bacia.

As figuras 11 e 12 mostram as redes instaladas nas bacias hidrográficas Cancela e Alto da Colina, respectivamente.

As instalações das redes possuem o mesmo princípio da utilização de dispositivos instalados nas saídas dos condutos de drenagem, utilizados por Arnold & Ryan, 1999 (apud Neves & Tucci 2003) na região metropolitana de Cape Town, cidade localizada na África do Sul.



**FIGURA 10 - Desenho esquemático com a disposição das duas redes coletoras instaladas na Bacia Hidrográfica Cancela.**



**FIGURA 11 - Foto das redes coletoras de resíduos na Bacia Hidrográfica Cancela: (A) primeira rede e (B) segunda rede**



**FIGURA 12 - Foto da rede coletora de resíduo na Bacia Hidrográfica Alto da Colina.**

#### 4.4.2. Classificação utilizada com o material retido

##### – Matéria Orgânica

- Restos de alimentos;
- Vegetação: folhas, galhos, cascas, raízes, etc.;
- Madeira processada;
- Animais mortos.

##### – Matéria Inorgânica

- Plástico: sacolas, garrafas, recipientes, sacolas de leite;
- Metais: chapas, latas, placas de veículos;
- Vidro: garrafas, copos, lâmpadas;
- Isopor;
- Outros: panos, papéis, papelões, brinquedos, pneus.

#### 4.4.3. Dispositivos utilizados na quantificação

Para a obtenção do peso do material retido foi utilizada uma balança com capacidade de 31 kg, e para o volume uma caixa com capacidade de 100 L.