



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA

Leonete Cristina De Araújo Ferreira

**VARIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL DE DUAS BACIAS DE DRENAGEM DE NATAL/RN –
BRASIL**

**Natal
2008**

Leonete Cristina de Araújo Ferreira

**VARIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL DE DUAS BACIAS DE DRENAGEM DE NATAL/RN –
BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. . Cícero Onofre de Andrade Neto

Co-Orientador: Dr. Antônio Marozzi Righetto

Natal
2008

Divisão de Serviços Técnicos

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central
Zila Mamede

Ferreira, Leonete Cristina de Araújo.

Varição da qualidade da água do escoamento superficial de duas
bacias de drenagem de Natal/RN - Brasil / Leonete Cristina de Araújo
Ferreira. – Natal, RN, 2008.

119 f.

Orientador: Cícero Onofre de Andrade Neto.

Co-Orientador: Dr. Antônio Marozzi Righetto

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do
Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Sanitária.

1. Drenagem urbana – Dissertação. 2. Escoamento superficial –
Dissertação. 3. First flush – Dissertação. I. Andrade Neto, Cícero Onofre
de. II. Righetto, Antônio Marozzi. III. Universidade Federal do Rio Grande
do Norte. IV. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 626.86(043.3)

LEONETE CRISTINA DE ARAÚJO FERREIRA

**VARIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL DE DUAS BACIAS DE DRENAGEM DE NATAL/RN –
BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto – Orientador

Dr. Antônio Marozzi Righetto – Co-Orientador

Dr. Luiz Pereira de Brito – Examinador UFRN

Dr. Carlos Oliveira Galvão – Examinador Externo UFCG

Natal, 02 de outubro de 2008

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, por todas as oportunidades e desafios que ele permite que eu busque e lute para vencê-los e pelas bênçãos recebidas em minha vida.

A minha família, por compreender por entender as ausências e o ritmo da minha vida, pelo apoio incondicional, pelas palavras de conforto e o exemplo de fé.

Ao professor Cícero, pela paciência e orientação, tanto no aspecto técnico e acadêmico, sendo um exemplo de profissional.

Aos colegas do curso, destacando Anaxsandra e Andressa, pela presteza nas horas de necessidade, bem como pelo exemplo de trabalho em equipe e de brilhantismo estudantil.

Aos participantes do projeto ao qual este trabalho está vinculado, destacando Thaíse pela sua contribuição e preocupação em fazer com que os experimentos se realizassem.

Ao PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico pelo financiamento através da FINEP – Financiadora de Estudo e Projeto/CNPq e CAIXA, viabilizando a execução dessa pesquisa.

As secretárias do programa de pós-graduação e do laboratório, Leonor e Josetine, pelo apoio durante o desenvolvimento das atividades.

Aos demais amigos, pelo incentivo e por acreditar que os objetivos que traçamos em nossas vidas podem ser alcançados.

RESUMO

A drenagem urbana é uma das competências do saneamento ambiental e em seu escopo estão os aspectos quantitativos e qualitativos. Na tomada de decisão dos gestores e nos aspectos de projeto de engenharia, são levados em consideração quase sempre somente os aspectos quantitativos. No entanto, as águas do escoamento superficial possuem as maiores concentrações de poluentes no início da precipitação. Desta forma, caso seja removida a parcela poluidora, a parcela restante pode ser aproveitada para outros fins. Este trabalho tem como objetivo apresentar a variação da qualidade da água de duas bacias de drenagem na cidade de Natal/RN-Brasil de modo a subsidiar a aplicação de práticas de drenagem que considerem o aspecto qualitativo, bem como identificar potencial para o uso dessas águas. As bacias (M e C) analisadas são do tipo fechadas, se encontram na área urbana, possuem ocupação predominantemente residencial e suas águas são destinadas para lagoas de retenção e infiltração. As coletas foram divididas em três fases, as duas primeiras diretas no exutório de uma das bacias e a terceira, em coletores distribuídos ao longo sua superfície de drenagem. Foram analisados os parâmetros de pH, Condutividade Elétrica, Oxigênio Dissolvido, Cor, Turbidez, DQO, Amônia, Nitrito, Nitrato, Fósforo Total, Ortofosfato, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos totais, Cloretos, Sulfatos, Alcalinidade, Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Metais Pesados (Cromo, Cádmio, Chumbo, Zinco e Cobre), *Eschichia coli* e Coliformes Totais. Os parâmetros estudados apresentaram elevada carga poluidora inicial, em eventos localizados e com proporções diferentes, exceto nitrito, os metais e os indicadores biológicos. A dimensão da superfície de drenagem e suas características topográficas influenciam na qualidade da água. Contudo, a forma de amostragem é decisiva na caracterização qualitativa da bacia em estudo. Os amostradores desenvolvidos durante o trabalho apresentaram-se econômicos e geraram resultados representativos. As águas pluviais urbanas apresentam indicadores biológicos fecais. A água do escoamento superficial de ambas as bacias não apresenta risco de salinidade e sodicidade para uso em irrigação, devendo ser observado o teor de cloreto na escolha do método de irrigação.

PALAVRAS-CHAVES: Drenagem Urbana, Escoamento superficial, first flush, qualidade da água.

ABSTRACT

The urban drainage is one of the powers of environmental sanitation and its scope is the quantitative and qualitative aspects. In decision making of managers and the engineering aspects of design are almost always taken into account only the quantitative aspects. However, the waters of the runoff have the highest concentrations of pollutants at the beginning of precipitation. Thus, if the plot pollution removed, the remaining portion can be used for other purposes. This work has aimed to present the variation of water quality of two drainage basins in the city of Natal / RN-Brazil to support the implementation of drainage to consider the qualitative aspect, and identify potential for the use of water. The basins (M and C) are analyzed closed-type, are in the urban area, are predominantly residential occupation and its waters are used for detention ponds and infiltration. The samples were divided into three phases, the first two direct to final points in a basin and the third in traps distributed over the surface drainage. The parameters had been analyzed were pH, conductivity, dissolved oxygen, Color, Turbidity, COD, Ammonia, nitrite, nitrate, total phosphorus, orthophosphate, Sediments solids, total solids, chloride, sulfate, alkalinity, calcium, magnesium, sodium, potassium, Heavy Metals (Chromium, Cadmium, Lead, Zinc and Copper), *Eschichia coli* and total coliforms. The parameters studied showed high initial pollution load, events and located in different proportions, except nitrite, heavy metals and biological indicators. The size of the surface drainage and topographic its features influence the quality of water. However, the form of sampling is crucial in the qualitative study in the basin. The samplers developed at work, were generated economic and representative results. The urban rainwater presents organic faecal indicators. The runoff of water from both basins shows no risk of salinity and sodicity for use in irrigation, should be noted the content of chloride in the choice of method of irrigation.

KEYWORDS: first flush, stormwater, Urban Drainage, water quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2.1	Resposta hidrológica da bacia hidrográfica	22
Figura 2.2	Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água do escoamento superficial	28
Figura 2.3	Interação dos parâmetros quantitativos e qualitativos no escoamento superficial	40
Figura 2.4	Representação hipotética do comportamento da carga do poluente da superfície ao longo do tempo	41
Figura 2.5	Etapas para desenho da Curva M(V) para um determinado poluente	44

CAPÍTULO 3

Figura 3.1	Fotografia Aérea das Bacias Hidrográficas	50
Figura 3.2	Boca de Lobo na Entrada Lagoa Mirassol	51
Figura 3.3	Detalhe do Local de Coletas das Amostras	51
Figura 3.4	Boca de Lobo obstruída com resíduos carreados da superfície (Ano 2007)	52
Figura 3.5	Aspecto visual da água armazenada na Lagoa Mirassol após evento de precipitação (Ano 2007)	52
Figura 3.6	Boca de lobo da entrada da lagoa de retenção (Ano 2008)	52
Figura 3.7	Ponto de alagamento na Bacia C próximo às bocas de lobo.	53
Figura 3.8	Ponto de alagamento na Bacia C em áreas de cotas baixas da bacia.	53
Figura 3.9	Vista geral da Lagoa Cidade Jardim e localização da Estação Elevatória	53
Figura 3.10	Disposição do Sistema de Drenagem das Bacias e localização dos pontos de coleta	54

CAPÍTULO 4

Figura 4.1	Tubulação de descarga na Lagoa, antes da instalação da plataforma	55
------------	---	----

Figura 4.2	Plataforma de trabalho para coleta de amostras e dados	55
Figura 4.3	Disposição dos amostradores na segunda câmara	56
Figura 4.4	Transporte dos coletores de PVC até a área de trabalho	56
Figura 4.5	Garrafas de Acondicionamento das Amostras	57
Figura 4.6	Amostrador automático ISCO 6712	57
Figura 4.7	Instalação da sucção do amostrador na tubulação de descarga	58
Figura 4.8	Garrafas coletoras do amostrador automático	58
Figura 4.9	Coletor simples para bacia instalado	59
Figura 4.10	Amostrador composto e esquema de funcionamento	59
Figura 4.11	Local de instalação do amostrador automático	60
Figura 4.12	Disposição dos equipamentos de medição quantitativa de dados	62

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 2

Quadro 2.1	Valores médios da concentração de poluentes	29
Quadro 2.2	Média Aritmética da Concentração Total (mg/L) dos Elementos dissolvidos por Estação do Ano	30
Quadro 2.3	Concentrações médias dos poluentes	31
Quadro 2.4	Variação da Concentração Média para uma área urbanizada em Singapura	32
Quadro 2.5	Concentrações médias dos eventos em Paris	48

CAPÍTULO 4

Quadro 4.1	Descrição dos Parâmetros Analisados e metodologia Utilizada	61
Quadro 4.2	Caracterização dos Pontos de Coleta	63

CAPÍTULO 5

Quadro 5.1	Valores máximo para metais Água Doce Classe 1	106
------------	---	-----

LISTA DE EQUAÇÕES

CAPÍTULO 2

Equação 2.1	Aproximação da curva adimensional M(V)	42
Equação 2.2	Determinação da concentração média do evento – CME	47

CAPÍTULO 5

Equação 5.1	Cálculo da RAS	109
-------------	----------------	-----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 5

Tabela 5.1	Resultados obtidos dos parâmetros pesquisados na Fase 01	65
Tabela 5.2	Dados da Curva M(V) da Condutividade elétrica	68
Tabela 5.3	Dados da Curva M(V) da Cor.	69
Tabela 5.4	Dados da Curva M(V) da Turbidez.	70
Tabela 5.5	Dados da Curva M(V) da Condutividade elétrica.	73
Tabela 5.6	Ocorrência do first flush na fase 1.	75
Tabela 5.7	Resultado das Análises para a Fase 01 nos Amostradores Simples.	78
Tabela 5.8	Resultado das Análises para a Fase 02 nos Amostradores Compostos.	86
Tabela 5.9	Ocorrência de first flush e Proporção de Remoção para Ca, Mg, K e Na.	99
Tabela 5.10	Concentração de metais pesados na bacia M.	102
Tabela 5.11	Concentração de metais pesados na bacia C.	103
Tabela 5.12	Resultados da medição dos parâmetros de <i>escherichia coli</i> e de coliformes totais.	107
Tabela 5.13	Resultados de indicadores bacteriológicos para o evento do dia 02/07/2008	108
Tabela 5.14	Classificação das Águas de Drenagem quanto a Salinidade e Sodicidade.	110
Tabela 5.15	Concentrações médias os dos nutrientes e do pH dos eventos analisados ao longo das bacias.	111

LISTA DE GRÁFICOS

CAPÍTULO 5

Gráfico 5.1	Variação do pH na coleta no exutório.	66
Gráfico 5.2	Variação da Condutividade elétrica na coleta no exutório.	67
Gráfico 5.3	Curva M(V) da Condutividade Elétrica na coleta no	67

	exutório.	
Gráfico 5.4	Variação da Cor na coleta no exutório.	68
Gráfico 5.5	Curva M(V) da Cor na coleta no exutório.	68
Gráfico 5.6	Variação da Turbidez na coleta no exutório.	69
Gráfico 5.7	Curva M(V) da Turbidez na coleta no exutório.	70
Gráfico 5.8	Variação da DQO na coleta no exutório.	71
Gráfico 5.9	Curva M(V) da DQO na coleta no exutório.	71
Gráfico 5.10	Variação dos Sólidos Sedimentáveis na coleta no exutório.	72
Gráfico 5.11	Curva M(V) dos Sólidos Sedimentáveis na coleta no exutório.	73
Gráfico 5.12	Variação dos Sólidos Totais na coleta no exutório.	73
Gráfico 5.13	Curva M(V) dos Sólidos Totais na coleta no exutório.	74
Gráfico 5.14	Variação do Nitrato na coleta no exutório.	74
Gráfico 5.15	Curva M(V) do Nitrato na coleta no exutório.	75
Gráfico 5.16	Polutograma “Multi-variáveis” – Evento do dia 17.06.08.	77
Gráfico 5.17	Valores Médios do pH para os Amostradores Simples.	80
Gráfico 5.18	Valores Médios da Condutividade Elétrica para os Amostradores Simples.	80
Gráfico 5.19	Valores Médios da Cor para os Amostradores Simples.	81
Gráfico 5.20	Valores Médios da Condutividade Elétrica para os Amostradores Simples.	81
Gráfico 5.21	Valores Médios da DQO para os Amostradores Simples.	81
Gráfico 5.22	Valores Médios dos Sólidos Sedimentáveis para os Amostradores Simples.	82
Gráfico 5.23	Valores Médios dos Sólidos Totais para os Amostradores Simples.	82
Gráfico 5.24	Valores Médios de Nitrogênio na forma de Amônia, Nitrito e Nitrato para os Amostradores Simples.	82
Gráfico 5.25	Valores Médios do Fósforo Total e Ortofosfato para os Amostradores Simples.	83
Gráfico 5.26	Valores Médios da Alcalinidade para os Amostradores Simples.	83
Gráfico 5.27	Valores Médios de Cloreto e Sulfato para os Amostradores	83

Simples.

Gráfico 5.28	Valores Médios da Concentração dos Íons para os Amostradores Simples.	84
Gráfico 5.29	Variação do pH nos amostradores compostos.	90
Gráfico 5.30	Variação da Condutividade Elétrica nos amostradores compostos.	90
Gráfico 5.31	Curva M(V) para a Condutividade elétrica.	90
Gráfico 5.32	Variação da cor nos amostradores compostos.	91
Gráfico 5.33	Curva M(V) para a Cor.	91
Gráfico 5.34	Variação da Turbidez nos amostradores compostos.	92
Gráfico 5.35	Curva M(V) para a Turbidez.	92
Gráfico 5.36	Variação da DQO nos amostradores compostos.	92
Gráfico 5.37	Curva Massa x Volume para a DQO.	92
Gráfico 5.38	Variação dos Sólidos Sedimentáveis nos amostradores compostos.	93
Gráfico 5.39	Curva Massa x Volume para Sólidos Sedimentáveis.	93
Gráfico 5.40	Variação dos Sólidos Totais nos amostradores compostos.	94
Gráfico 5.41	Curva Massa x Volume para os Sólidos Totais	94
Gráfico 5.42	Variação da Amônia nos amostradores compostos.	94
Gráfico 5.43	Variação do Nitrito compostos.	95
Gráfico 5.44	Variação do Nitrato nos amostradores compostos.	95
Gráfico 5.45	Curva M(V) para N-NH ₄ nos amostradores compostos.	95
Gráfico 5.46	Curva M(V) para N-NO ₂ nos amostradores compostos.	96
Gráfico 5.47	Curva M(V) para N-NO ₃ nos amostradores compostos.	96
Gráfico 5.48	Variação do Fósforo Total – P nos amostradores compostos	96
Gráfico 5.49	Variação do Ortofosfato – PO ₄ nos amostradores compostos.	96
Gráfico 5.50	Curva M(V) para Fósforo Total – P nos amostradores compostos.	97
Gráfico 5.51	Curva M(V) para Ortofosfato – PO ₄ nos amostradores compostos.	97

Gráfico 5.52	Variação da Concentração de cloretos nos amostradores compostos.	97
Gráfico 5.53	Variação da Concentração de Sulfato nos amostradores compostos.	97
Gráfico 5.54	Curva Massa x Volume para a Cloreto.	98
Gráfico 5.55	Curva Massa x Volume para Sulfato.	98
Gráfico 5.56	Variação da Alcalinidade nos amostradores compostos.	99
Gráfico 5.57	Curva M(V) da Alcalinidade.	99
Gráfico 5.58	Variação da concentração de Cálcio nos amostradores compostos.	100
Gráfico 5.59	Curva M(V) para o Cálcio.	100
Gráfico 5.60	Variação da concentração de Magnésio nos amostradores compostos	100
Gráfico 5.61	Curva M(V) para o Magnésio.	100
Gráfico 5.62	Variação da concentração de Potássio nos amostradores compostos.	100
Gráfico 5.63	Curva M(V) para o Potássio.	100
Gráfico 5.64	Variação da concentração de Sódio nos amostradores compostos.	100
Gráfico 5.65	Curva M(V) para o Sódio.	100
Gráfico 5.66	Variação da concentração de metais pesados medida no exutório da bacia M em 06/08/2008	101
Gráfico 5.67	Concentração de Metais Pesados no Ponto C1 - Bacia C	104
Gráfico 5.68	Concentração de Metais Pesados no Ponto C2 - Bacia C	104
Gráfico 5.69	Concentração de Metais Pesados no Ponto C4 - Bacia C	104
Gráfico 5.70	Precipitações dos eventos em que foram analisados Metais	105
Gráfico 5.71	Resultado para Amostragem Composta do ponto M1 da bacia M.	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
CAIXA	Caixa Econômica Federal
CEFET/RN	Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COT	Carbono Orgânico Total
CT	Centro de Tecnologia
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio no quinto dia
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	Environmental Protection Agency of the United States of America (Agência de Proteção Ambiental dos EUA)
EUA	Estados Unidos da América
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FUNPEC	Fundação Norteriograndense de Pesquisa, Ensino e cultura
LARHISA	Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da UFRN
MAPLU	Monitoramento Quali-Quantitativo das Águas Pluviais
NMP	Número Máximo Provável
NTK	Nitrogênio total Kjeldahl
PAH	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos
PCBs	Bifenilas Policloradas
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
RN	Rio Grande do Norte
SNIS	Sistema Nacional de Informações em Saneamento
SST	Sólidos Suspensos Totais
UFCEG	Universidade Federal de Campina Grande
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	RELEVÂNCIA	19
1.2	JUSTIFICATIVA.....	20
1.3	OBJETIVOS	20
2	REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1	CONCEITOS HIDROLÓGICOS E DRENAGEM URBANA	22
2.1.1	Bacia hidrográfica e escoamento superficial	22
2.1.2	Hidrograma	23
2.1.3	Drenagem Urbana	24
2.2	QUALIDADE DA ÁGUA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL URBANO	25
2.2.1	Introdução	25
2.2.2	Fontes de Poluição	26
2.2.3	Deposição atmosférica	33
2.2.4	Erosão	33
2.2.5	Poluição das Ruas	34
2.2.6	Poluição Térmica	34
2.2.7	Principais Poluentes e seus Impactos sobre o Ambiente	35
2.2.8	Poluentes Padrão Característicos do Escoamento Urbano	38
2.3	ANÁLISE DA VARIAÇÃO TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA	39
2.3.1	Introdução	39
2.3.2	“Wash-off”	40
2.3.3	“First foul flush” – “Prima Cacciata Inquinata” – “Primeira Carga de Lavagem”	41
2.3.4	Carga dos Poluentes	47
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	49
4	MATERIAIS E MÉTODOS	55
4.1	COLETA NO EXUTÓRIO DA BACIA M COM AMOSTRADORES EM DIFERENTES NÍVEIS - FASE 01	56
4.2	COLETA NO EXUTÓRIO DA BACIA M COM AMOSTRADOR AUTOMÁTICO – FASE 02.....	57
4.3	COLETA NA ÁREA DE DRENAGEM DAS BACIAS M E C – FASE 03	58

4.4	ANÁLISES DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	61
4.5	MEDIÇÃO DE DADOS DE PLUVIOMETRIA E VAZÃO.....	62
4.6	PROGRAMA DE AMOSTRAGEM	62
5	RESULTADOS	64
5.1	COLETA NO EXUTÓRIO DA BACIA M COM AMOSTRADORES EM DIFERENTES NÍVEIS - FASE 01	65
5.2	COLETA NO EXUTÓRIO DA BACIA M COM AMOSTRADOR AUTOMÁTICO – FASE 02.....	76
5.3	COLETA NA ÁREA DE DRENAGEM DAS BACIAS M E C – FASE 03	78
5.3.1	Coleta na área de Drenagem das bacias M e C– Amostradores Simples	78
5.3.2	Coleta na área de Drenagem da bacia M – Amostradores Compostos	86
5.4	METAIS.....	101
5.5	PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS.....	107
5.6	VERIFICAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL PARA IRRIGAÇÃO	109
6	CONCLUSÕES.....	112
7	SUGESTÕES.....	114
	REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....	115

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento das águas urbanas constitui-se um desafio para os administradores públicos. Entre as suas atribuições estão inseridas as atividades de abastecimento de água, tratamento de esgoto, limpeza e drenagem urbana.

No contexto da problemática da drenagem urbana, destacam-se a ocorrência de inundações, devido à ocupação de áreas ribeirinhas ou do crescimento descontrolado da urbanização, a contaminação dos corpos receptores das águas do escoamento superficial e também a contaminação de águas subterrâneas. Em uma visão moderna, a drenagem urbana passa a ter um merecido enfoque ambiental, contribuindo para a manutenção e a recuperação de ambientes saudáveis, no meio urbano.

A precipitação normalmente ocorre na forma de um fluxo de gotas d'água atraído para a superfície terrestre pela gravidade, e é por si só um fenômeno de origem meteorológica complexa, apresentando grande variabilidade temporal e espacial (TUCCI, 2002). Basicamente os processos que ocorrem quando a água da chuva cai sobre o solo são o escoamento superficial, a infiltração e o escoamento subterrâneo. O excesso de água de chuva que não é infiltrado no solo acumula-se inicialmente nas pequenas depressões do terreno para, em seguida, forma-se uma lâmina d'água, e conseqüentemente, o escoamento ou deflúvio superficial (RIGHETTO, 1999).

O conhecimento desse ciclo hidrológico é fundamental para os projetos de obras de engenharia, pois a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento dessas águas ou à proteção contra os fenômenos provocados pelas águas do escoamento superficial (PRUSKI *et al.*, 2006). Nesta colocação, percebe-se o enfoque quantitativo do escoamento superficial.

No aspecto qualitativo, as águas de drenagem caracterizam-se por conter sedimentos, nutrientes, matéria orgânica, substâncias que consomem oxigênio, bactérias e vírus patogênicos, compostos químicos, metais e agentes tóxicos (BRASIL, 2005). As origens desses poluentes são as mais diversas, conferindo um caráter de poluição difusa às águas pluviais urbanas.

O escoamento urbano é um dos fatores que tem mais influenciado a qualidade dos corpos aquáticos (TEMPRANO *et al.*, 2005; ARTINA *et al.*, 1997). O mais importante contribuinte de poluentes para o escoamento superficial urbano é a superfície do solo, principalmente ruas, sarjetas e outras superfícies conectadas à rede de drenagem, como telhados, as quais recebem principalmente os poluentes atmosféricos (DE LUCA *et al.*, 1990).

As águas de drenagem pluvial têm sua qualidade relacionada com a ocupação da bacia, tanto no que se refere à área ocupada quanto ao tipo de ocupação. A qualidade da água de escoamento é particular a cada região e apresenta variações em um determinado evento de chuva.

É reconhecido que a parcela inicial do volume de escoamento carrega a maior carga poluidora de um evento de precipitação (BERTRAND-KRAJEWSKI *et al.*, 1998; LEE *et al.*, 2002; BERNARDO E SOARES, 2004; BRASIL, 2005; TEMPRANO *et al.*, 2005). A este fenômeno de ocorrência do pico de concentração nos primeiros volumes, denomina-se de “first flush” ou “carga de lavagem”. A avaliação de sua ocorrência e de sua magnitude deve ser realizada em particular para cada bacia. O desvio dessas primeiras águas e seu adequado tratamento constitui-se uma alternativa sanitária, proporcionando o lançamento dessas águas no meio com menor carga poluidora, bem como o uso da parcela restante do volume de melhor qualidade.

O trabalho proposto enquadra-se na caracterização qualitativa das primeiras águas do escoamento superficial, de forma a definir esta parcela, através da coleta progressiva e análises de amostras, obtendo-se um estudo temporal da qualidade

da água dos deflúvios em duas áreas de drenagem na cidade de Natal, avaliando-se a qualidade das águas que são carregadas para lagoas de acumulação e infiltração. Esta pesquisa faz parte do projeto Estudo Quali-Quantitativo e de Manejo de Águas Pluviais em Área de Drenagem piloto na Cidade de Natal - FUNPEC-UFRN-CT-MAPLU-RN, integrante do PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico, financiado pela FINEP – Financiadora de Estudo e Projeto/CNPq e CAIXA.

1.1 Relevância

O foco atual na qualidade da água urbana é de origem recente. Faz parte da troca de paradigma, saindo da diretriz voltada para a quantidade e mitigação das inundações. Na ausência de orientação apropriada, práticas atuais para garantir a qualidade de água são guiadas por um foco de soluções ultrapassadas (GOONETILLEKE *et al.*, 2005).

O controle qualitativo da água do escoamento superficial não é prática corrente nos países em desenvolvimento, desta forma, a visão para as soluções em drenagem urbana se concentra no impacto e controle das inundações e erosões.

No Brasil, a maioria das pesquisas estuda os impactos causados pela poluição difusa da bacia de drenagem, avaliando a degradação da qualidade da água dos corpos receptores de cargas advindas do ambiente urbano ou rural. Outros estudos apresentam a carga total dos poluentes transportada, sem identificar sua variação temporal. O SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, que desde 1996 coleta e divulga dados referentes ao abastecimento de água e esgotamento sanitário, e que, em 2004 realizou um diagnóstico do manejo de resíduos sólidos, não possui informações sobre a drenagem urbana.

1.2 Justificativa

A cidade de Natal possui características topográficas que compreendem um relevo ondulado de formação dunar que se elevam a altitudes de até 80 metros, formando uma depressão interior, e também apresenta uma barreira natural ao escoamento superficial diretamente para mar, constituída pelo afloramento da formação Barreiras com cobertura de dunas que se transformam em falésias (GUIMARÃES JÚNIOR, 2004).

Devido a essas características, as principais soluções adotadas para o sistema de drenagem urbana da cidade consistem no emprego de lagoas de infiltração e retenção e, em outras áreas, o despejo das águas pluviais nos canais existentes. O que ocorre sem nenhuma preocupação com a qualidade da água que será infiltrada no solo ou lançada nos corpos receptores. As águas oriundas do escoamento superficial se deslocam para os mananciais superficiais e subterrâneos que, por sua vez, abastecem a cidade.

Nesse contexto, este trabalho desenvolvido servirá como uma fonte de informações relevantes para a tomada de decisões e o estabelecimento de melhores práticas de manejo das águas pluviais urbanas, considerando o seu adequado enfoque sanitário e ambiental.

1.3 Objetivos

O trabalho a ser desenvolvido teve como objetivo geral definir qual a parcela do volume de chuva detentora da maior carga poluidora do evento, a qual deverá ser interceptada para seu adequado tratamento, através da análise qualitativa e progressiva das primeiras águas do escoamento superficial urbano avaliada em duas bacias de drenagem localizadas na área urbana da cidade de Natal, no estado do Rio Grande do Norte.

Os objetivos específicos são:

- Analisar e caracterizar gráficos da variação temporal da concentração dos poluentes do escoamento superficial, ou seja, os polutogramas;
- Relacionar a variação da concentração dos poluentes com a variação temporal da vazão nos diversos eventos de chuvas analisados;
- Verificar a ocorrência do fenômeno “first flush”;
- Proposição para o manejo das águas pluviais, no que diz respeito ao emprego de técnicas de tratamentos para a parcela do volume a ser desviado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Conceitos hidrológicos e drenagem urbana

2.1.1 *Bacia hidrográfica e escoamento superficial*

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar num leito único no exutório (TUCCI, 2002).

Segundo Tucci (2002), a bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, levando em contas como perdas intermediárias os volumes perdidos com a infiltração e a evapotranspiração. Em um evento isolado, podem-se desconsiderar estas perdas e analisar a transformação da entrada de volume concentrada no tempo (precipitação) em uma saída de água (escoamento) feita pela bacia como apresentado esquematicamente na Figura 2.1. Ainda nesta Figura, pode-se identificar um escoamento mais lento e outro mais rápido, o qual recebe o nome de escoamento superficial. A parcela da chuva total com mesmo volume de escoamento superficial é denominada chuva efetiva. A chuva efetiva e o correspondente escoamento superficial estão representados na Figura 2.1 como áreas hachuradas.

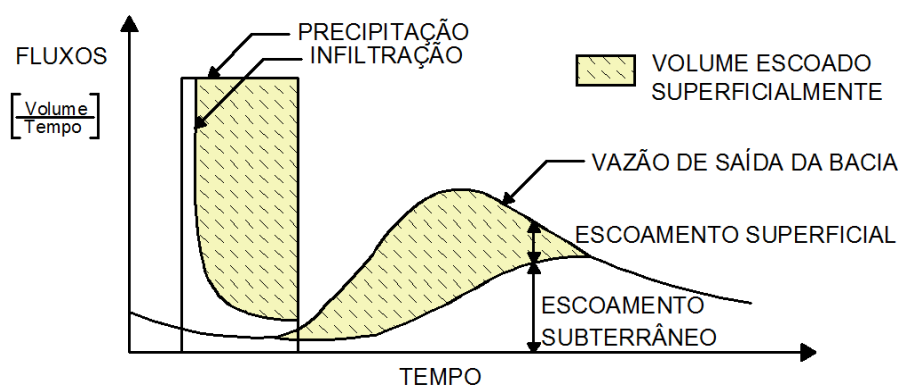


Figura 2.1 Resposta hidrológica da bacia hidrográfica
Fonte: Adaptado de Tucci, 2002.

Segundo Pruski *et al.* (2006), existem fatores agroclimáticos e fisiográficos que influenciam o escoamento superficial. No que se refere aos primeiros, o escoamento superficial tende a crescer com o aumento da intensidade e a duração da precipitação e da área abrangida pela precipitação. Quanto maior a porcentagem de cobertura vegetal e rugosidade da superfície do solo, menor o escoamento superficial. Já considerando os aspectos fisiográficos, quanto maior a declividade da bacia maior a vazão, quanto mais a forma da bacia aproximar-se do formato circular, mais rápida será a concentração do escoamento superficial, e conseqüentemente sua vazão máxima.

2.1.2 Hidrograma

O hidrograma é o gráfico que apresenta a distribuição da vazão ao longo do tempo, representando o resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico compreendidos entre a precipitação e a vazão na bacia ou área de drenagem.

O hidrograma pode ser caracterizado em três partes principais: ascensão, a região de pico e a fase de recessão. O período de ascensão do hidrograma reflete o grau de permeabilidade da bacia e sua capacidade de transporte via escoamento superficial. Durante a recessão, podem-se considerar três períodos distintos, isto é, o período de recessão dos escoamentos superficial, subsuperficial e subterrâneo (RIGHETTO, 1999).

2.1.3 Drenagem Urbana

Segundo Tucci (2002), a drenagem urbana pode ser entendida como um conjunto de atividades que visam reduzir os riscos que as populações estão sujeitas e os prejuízos causados por inundações, promovendo um desenvolvimento urbano de harmônica, articulada e sustentável.

Nascimento *et al.* (1999), fez um levantamento dos métodos empregados para o tratamento de águas residuárias urbanas, e identificou três momentos distintos da concepção da drenagem urbana. Até o final do século 19, o conceito de drenagem adotado era de lançar tudo nos esgotos, através de sistemas combinados, retirando-se imediatamente as águas do escoamento superficial de próximo da população. Esta solução apresentava diversos problemas sanitários. Por volta do início do século 20, a técnica de sistemas combinados foi desenvolvida baseando-se nos conhecimentos da matemática, da hidrologia, de modelos hidráulicos e da análise estatística de eventos extremos. Foi a partir de então, inserido o conceito do risco de inundação, partindo-se para adoção de sistemas separadores. Nos anos cinquenta, como resultado da intensa urbanização, a crise da infra-estrutura básica de drenagem veio à tona, o que tornou necessárias intervenções como a construção de obras de engenharia. Constatou-se, diante desses acontecimentos, a rápida obsolescência dos sistemas de drenagem urbana até então construído e a poluição dos corpos receptores das águas escoadas.

A drenagem urbana moderna ganha um novo enfoque. Além de considerar as questões sanitárias e de saúde pública, passa a incorporar um caráter ambiental de globalidade na tomada de decisões.

Os níveis de dimensionamento de drenagem urbana são: a macrodrenagem e a microdrenagem. A microdrenagem urbana é determinada pela ocupação do solo, definida pelo traçado das ruas, tais como o sistema de condutos pluviais em nível de loteamento ou de rede primária urbana. A macrodrenagem abrange córregos, rios e canais que coletam águas pluviais de sistemas que possuam, ou não, microdrenagem.

2.2 Qualidade da água do escoamento superficial urbano

2.2.1 Introdução

Em muitos países, a área ocupada pela população é raramente menor que 5% da área total. Esta concentração das atividades humanas intensifica a competição local por todos os tipos de fontes, entre os quais a água é o mais vital. A água é essencial para a existência humana e para sua instalação faz-se necessário o uso de áreas urbanas para dispor seus resíduos. A água vem sofrendo impactos negativos devido à atividade humana, estando incluídas inundações, drenagem, erosão e sedimentação. Esses problemas são exacerbados em áreas urbanas pela alteração natural dos cursos d'água e do aumento das áreas impermeáveis. O escoamento urbano é altamente poluído com patógenos e substâncias orgânicas que são uma ameaça à saúde pública (ZOPPOU, 2001).

Segundo Zoppou (2001), os cinco processos que influenciam o movimento e a transformação dos poluentes em uma bacia urbana são: químicos, físico-químicos, biológicos, ecológicos e físicos. Os processos químicos envolvem as reações de dois ou mais compostos que formam outros compostos diferentes. Os processos bioquímicos são resultantes de transformações químicas que acontecem com a participação de organismos biológicos. Os processos físico-químicos envolvem a química e a física de moléculas interagindo com o ambiente. Os mais importantes processos físico-químicos são: adsorção, dessorção e absorção. A adsorção é a adesão da substância à superfície de um sólido ou líquido. Muitos poluentes, tais como o nitrogênio, fósforo e vários pesticidas e metais aderem às partículas de sedimentos e são transportados com elas no fluxo do escoamento. A quantidade de poluente aderida é função da concentração de poluentes no escoamento e da temperatura. A dessorção é a liberação dos poluentes das partículas de sedimentos. A absorção é a penetração de uma substância dentro de outra. Geralmente acontece entre a interface ar-água, onde os gases são absorvidos dentro da água. Devido à elevada solubilidade da água, também ocorre o processo químico de dissolução dos poluentes do escoamento superficial urbano.

A qualidade da água é fator decisivo para a redução da qualidade de um corpo hídrico. Deve ser considerada na escolha do ponto de lançamento do efluente do sistema, no dimensionamento das galerias e na forma de tratamento antes de atingir o corpo receptor (ARTINA *et al.*, 1997).

2.2.2 Fontes de Poluição

As fontes da poluição do escoamento superficial urbano podem ser pontuais ou não-pontuais. As fontes pontuais são aquelas onde a água poluída é descarregada em um único local. No ambiente urbano, a mais importante fonte de descarga pontual vem do sistema coletor de águas residuárias (quando combinado) e onde existe o lançamento de uma estação de tratamento de esgotos (TAEBI & DROSTE, 2004). A poluição resultante de fontes pontuais pode ser reduzida com sucesso através de medidas regulatórias.

As fontes não-pontuais ou difusas são aquelas onde a poluição ocorre numa larga área e em fluxo dentro do sistema de drenagem em mais de um ponto. As fontes difusas predominam como contribuintes da poluição do escoamento superficial carreando poluentes para os corpos receptores (AHLMAN, 2006).

A característica mais marcante da poluição de origem difusa é a grande variabilidade da concentração dos poluentes presentes quando do lançamento da drenagem urbana nos corpos d'água. As concentrações variam em ordens de magnitude entre bacias hidrográficas, entre diferentes eventos de precipitação e, também, ao longo de um mesmo evento (BAPTISTA E NASCIMENTO, 2005).

Para Azzolin & Pires (2006), as redes e galerias pluviais constituem-se em condutores ou transportadores de poluição, pois recebem resíduos de naturezas diversas – sedimentos, matéria orgânica, organismos patogênicos, metais pesados e nutrientes-, decorrentes das atividades antrópicas exercidas na sua área de drenagem, os quais são carregados pelas águas de chuva, e lançados de forma pontual nos corpos de água.

As modificações de uma área associadas com a urbanização, tais como a remoção da vegetação, impermeabilização de superfícies e a modificação dos canais de drenagem invariavelmente resultam em mudanças nas características da superfície hidrográfica de escoamento. Conseqüentemente o comportamento hidrológico da bacia sofrerá grandes mudanças. A urbanização também influencia na qualidade da água de escoamento urbano. Estas conseqüências são provocadas pela introdução de poluentes físicos, químicos e biológicos originários de varias atividades antropogênicas comuns em áreas urbanas. O escoamento constitui o mecanismo de transporte primário de introdução por fontes difusas de poluentes nas áreas receptoras (TEMPRANO *et al.*, 2001).

As atividades humanas desenvolvidas na bacia de drenagem aumentam a carga dos poluentes. Dependendo do tipo de atividade na área, a quantidade e os tipos de poluentes carregados pelo volume do escoamento variarão. A intensidade e duração de precipitação e o tempo desde o último evento de precipitação também afetam a quantidade e transporte de poluentes gerados (ZOPPOU, 2001). A poluição do escoamento superficial é muito mais alta nas áreas ocupadas porque as atividades humanas geram muitos poluentes, e altos volumes de escoamento podem transportar os poluentes disponíveis na bacia de drenagem (MAKSINOVIC, 2001).

A poluição das águas do escoamento superficial é função principalmente do tipo de ocupação da área urbana (AHLMAN, 2006). Existem diferenças de produção de cargas de poluição entre zonas urbanas, comerciais, industriais ou comerciais. A Figura 2.2 mostra a interferência do uso e ocupação da bacia de drenagem para a qualidade da água do escoamento urbano. Áreas residenciais mais densas levam as maiores áreas impermeabilizadas, que em conseqüência gera escoamentos mais velozes e com maior força de arraste, ao passo que zonas residenciais menos densas geram escoamentos mais lentos e com menor força de arraste. Isto sugere concentrações diferentes de poluentes (BAPTISTA E NASCIMENTO, 2005).

Diversos fatores influenciam a geração e a magnitude da poluição do escoamento superficial. Fatores físicos e geográficos, tais como: tipo e intensidade do uso do solo, grau de impermeabilização, conexão e densidade de drenagem, tipo de solo,

declividade da área de acumulação de água. Fatores climáticos, tais como: intensidade e duração da chuva, tempo que antecede o evento da chuva também são fatores importantes (AHLMAN, 2006).

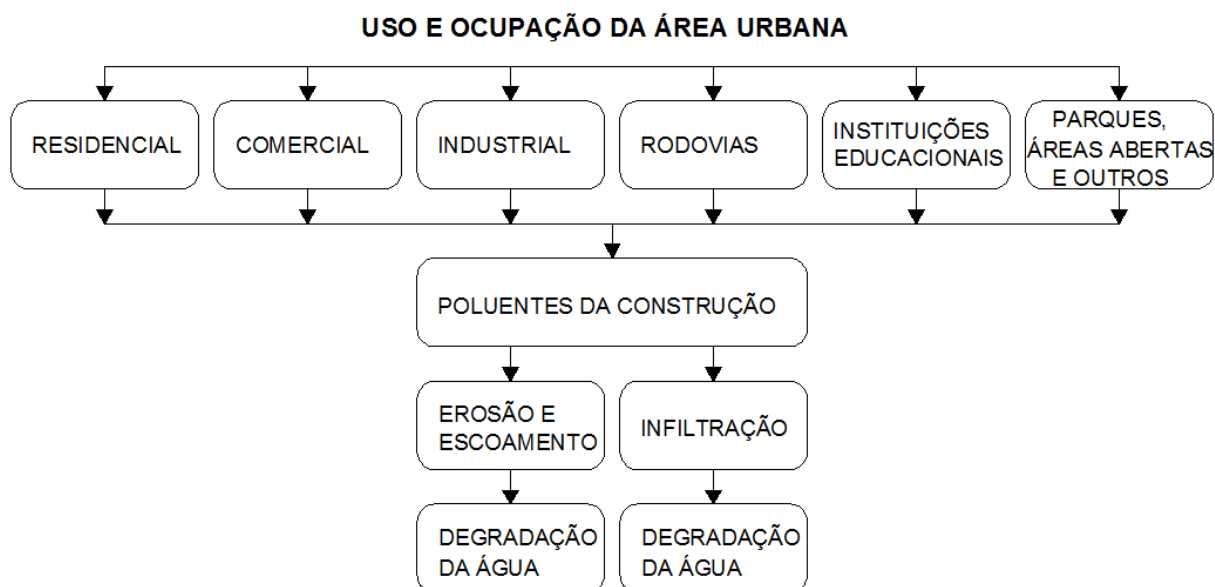


Figura 2.2 Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água do escoamento superficial
Fonte: Adaptado de Tsihrintz & Ramid, 1997

A altura pluviométrica contribui para a diminuição da qualidade da água dos corpos receptores, visto que carrega uma maior quantidade de poluentes para os corpos d'água. Azzolin & Pires (2006) em seu estudo sobre a influência da drenagem pluvial urbana nas condições de balneabilidade do Lago Paranoá (Distrito Federal), conclui que a correlação entre as alturas pluviométricas médias da área de contribuição direta do lago Paranoá e as ocorrências de condições impróprias comprovam a interdependência entre esses dois aspectos. As condições de balneabilidade do Lago são fortemente influenciadas pelas condições meteorológicas, de modo que, nos períodos de estiagem, há predominância da condição “própria”, enquanto a condição “imprópria” está relacionada à ocorrência de chuvas na região.

A qualidade da água da rede pluvial depende de vários fatores: da limpeza urbana e sua freqüência, da intensidade da precipitação e de sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso da área urbana (BRASIL, 2006). No Quadro 2.1 estão os valores médios da concentração de poluentes das águas do escoamento superficial em bacias com diversas características.

Quadro 2.1 – Valores médios da concentração de poluentes

Localização	Tipologia	Área (ha)	DBO	SS	Fósforo Total	Nitrogênio Total
			[kg/(hab.ano)]			
Oxhey (Reino Unido)	R	247	4,6	115	-	-
Cincinnati (EUA)	R/C	11	37	818	-	-
Durham (EUA)	R/C	342	94	-	-	-
Stockolm (Suécia)	R	25	14	173	0,04	1,4
	C	25	43	620	0,16	3,5
Birmingham (Reino Unido)	As	3,6	172	6289	-	-
Massans (EUA)	R	80	-	560	0,82	2,9
	R/C	1680	11,5	1787	1,37	5,5
Zurick (Suíça)	R	9	25	159	0,59	4,9
Sydney (Austrália)	R	131	35	320	-	-
Orlando (EUA)	R	6,5	75	195	-	4,0
	C	11,4	50	338	-	4,0
Houstoun (EUA)	R	8744	-	2676	0,75	-

Siglas:
R – Residencial
C – Comercial
As – Auto-estrada

Fonte: Hall, 1984 apud Artina et al., 1997

Segundo os estudos apresentados por Zartman *et al.* (2007), no qual foram avaliados os elementos dissolvidos em 16 lagos urbanos em Lubbock, Texas, nos Estados Unidos durante um período de 32 meses, encontrando os resultados apresentados no Quadro 2.2. Concluíram que a contribuição do escoamento superficial urbano para o aumento de elementos dissolvidos nos lagos variava sazonalmente. Dos elementos analisados, somente o Cádmio teve uma distribuição estatística padrão. Fatores como a deposição eólica e o uso de fertilizantes contribuem para o aumento da concentração de elementos dissolvidos.

Quadro 2.2 - Média Aritmética da Concentração Total (mg/L) dos Elementos dissolvidos por Estação do Ano

Elemento	Outono	Inverno	Primavera	Verão
Eventos	2	2	1	3
Alumínio (Al)	0,867	1,79	1,36	1,98
Arsênio (As)	0,00538	0,00628	0,0129	0,00510
Bário (Ba)	0,279	0,164	0,200	0,117
Cálcio (Ca)	29,3	38,5	54,1	41,6
Cádmio (cd)	0,00103	0,000273	0,000136	0,000519
Cromo (Cr)	0,00889	0,00390	0,00610	0,00447
Mercúrio (Hg)	0,00190	0,00229	0,00222	0,00630
Magnésio (Mg)	7,31	5,80	10,0	4,60
Sódio (Na)	4,88	4,07	73,4	39,6
Chumbo (Pb)	0,0132	0,00688	0,00369	0,0122
Zinco (Zn)	0,0721	0,0444	0,0396	0,0571

Fonte: Zartman (2007)

Com os resultados apresentados no Quadro 2.2 nota-se que a distribuição dos eventos ao longo do ano também é um fator que promove a alteração da qualidade das águas do escoamento superficial.

No estudo de Gilbert & Clauseb (2006) realizado em Connecticut (EUA), foi verificado que há diferença da qualidade da água do escoamento superficial de acordo com o material empregado na pavimentação das vias. A qualidade da água foi avaliada em pavimentos de asfalto, permeável e pedra britadas, as concentrações médias apresentadas no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Concentrações médias dos poluentes

Variável	Número de Eventos	Asfalto	Permeável	Pedra Britada
SST (mg/L)	52	47,8	15,8	33,7
N-NO ₃ (mg/L)	51	0,6	0,3	0,3
N-NH ₃ (mg/L)	51	0,18	0,05	0,11
NTK (mg/L)	52	8,0	0,7	1,6
P _{total} (mg/L)	52	0,244	0,162	0,155
Cu (µg/L)	12	17	6	16
Pb (µg/L)	12	6	2	3
Zn (µg/L)	12	87	25	57

Fonte: Gilbert & Clauseb (2006)

Conforme estudo desenvolvido por Cheong (1991), em uma sub-bacia de drenagem urbanizada, situada em uma das áreas comerciais e residenciais mais prestigiadas de Singapura, para os parâmetros analisados foram encontrados as faixas de valores apresentadas no Quadro 2.4. Nesse estudo, foram analisadas amostras colhidas a cada 15 minutos de precipitação, os quais apresentaram variação ao longo do tempo. Os metais Manganês, Cromo e Cádmio não foram detectados nas amostras testadas. O fenômeno do first flush não foi observado na maioria dos parâmetros estudados, exceto para óleos e graxas e condutividade elétrica. No entanto, foi observado um aumento inicial da concentração de Turbidez, DQO e Carbono Orgânico Total. Para esses parâmetros, o pico de concentração quase coincide com o pico de vazão do evento, e a concentração total decresce com o passar do tempo. Ao todo, foram analisados quatro eventos.

Quadro 2.4 – Variação da Concentração Média para uma área urbanizada em Singapura

Parâmetros	Intervalo de tempo (Minutos)						Amostra		
	0-15	15-30	30-45	45-60	60-75	75-90	Máximo	Mínimo	Média
pH	6,2	6,3	6,4	6,6	6,7	6,6	7,1	6,3	6,5
Turbidez (UNT)	71	137	129	104	87	67	154	56	109
Cor	76	151	160	138	126	90	198	74	136
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	68	52	52	61	75	54	112	45	59
Alcalinidade (mg/L)	15	16	14	13	12	12	17	10	13,9
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	106	211	168	107	87	67	223	48	141
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	38	34	39	45	50	37	74	30	40
Óleos e graxas (mg/L)	3,3	2,8	1,8	1,2	0,9	1,1	4,6	0	1,93
Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	54	43	80	52	43	23	86	23	52
Carbônico Orgânico Total (mg/L)	10	10	20	11	8	6	29	3	11,7
Fósforo Total (mg/L)	2,7	2,8	3,0	2,7	2,6	2,6	3,2	2,5	2,8
Cálcio (mg/L)	6,8	7,1	6,6	6,0	5,4	6,7	8,4	5,3	6,,5
Sódio (mg/L)	1,8	3,5	1,3	1,0	1,0	1,0	4,8	0,8	1,8
Potássio (mg/L)	2,4	2,1	2,0	1,7	1,7	1,8	3,3	1,5	2,0
Magnésio (mg/L)	0,48	0,46	0,5	0,46	0,4	0,5	0,6	0,4	,46
Zinco (mg/L)	ND	0,04	ND	ND	ND	ND	0,1	0	0,01
Cobre (mg/L)	0,06	ND	ND	ND	0,04	0,1	0,1	0	0,01
Ferro (mg/L)	0,10	0,10	0,06	ND	0,04	ND	0,1	0	0,01
Chumbo (mg/L)	0,06	ND	0,06	ND	0,04	ND	0,1	0	0,01
NTK (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-

ND – Não detectado

Fonte: Cheong (1991)

2.2.3 Deposição atmosférica

A deposição atmosférica é o processo pelo qual as partículas do ar oriundas de diversas fontes, incluindo pó, fuligem, aerossóis e gases, são carregadas da atmosfera pela precipitação e se torna parte do escoamento. A quantidade desses poluentes é de magnitude suficiente para mostrar um impacto significativo na qualidade de escoamento superficial (TSIHRINTIZ, 1997).

Os poluentes do ar depositados sobre telhados, ruas e demais superfícies da área urbana, resultam na chamada deposição seca. A chuva remove o material depositado e os transporta até os corpos d'água. Entre estes materiais estão: enxofre, metais, pesticidas, compostos orgânicos, fungos, pólen, solo, nutrientes, asfalto, cinzas e compostos químicos como óxidos, nitritos, nitratos, cloretos, fluoretos, e silicatos (BAPTISTA E NASCIMENTO, 2005).

2.2.4 Erosão

As erosões, em bacias urbanas, apresentam características diferentes das que ocorrem em bacias rurais, tanto no que diz respeito ao processo físico quanto à dimensão da área envolvida. As erosões urbanas possuem taxas de contribuição muito altas, quando comparadas às rurais, para a instabilização da morfologia de cursos d'água (RAMOS, 1995).

A erosão ocorre como resultado do impacto de gota de chuva de alta intensidade sobre superfícies de terra expostas, e seu subsequente transporte se dá através do escoamento. Os poluentes existentes nas superfícies erodidas podem ser levados para o escoamento.

A erosão urbana contribui para o aumento da concentração de elementos dissolvidos nos corpos receptores das águas pluviais urbanas, sendo eles o Alumínio (Al), Arsênio (As), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) (ZARTMAN *et al.* 2007).

A origem dos processos erosivos pode ser resumida nos seguintes fatores mais importante: implantação inadequada do sistema viário e ausência de pavimentação; infra-estrutura deficiente dos núcleos habitacionais; inexistência ou precariedade dos sistemas de drenagem urbana implantados nos loteamentos urbanos.

2.2.5 Poluição das Ruas

No leito de uma rua podem ser gerados poluentes de diversas formas e natureza, como por exemplo, resíduos do desgaste da pavimentação, resíduos deixados por veículos, restos de vegetação, dejetos de animais, resíduos sólidos e partículas de solos. Veículos que circulam nas ruas contribuem com derrame de combustível, fluido de freio, líquido refrigerante, partículas que soltam com o desgaste do pneu e freios, além de ferrugem, partículas de tinta, pedaços que se soltam devido à vibração, etc.; embora pequenas concentrações de poluentes tenham, diretamente, sua origem nos veículos, estes são os mais tóxicos e potencialmente prejudiciais à vida aquática; assim, estão, aqui, incluídos os derivados de petróleo, graxas, parafinas, asbestos e metais pesados.

2.2.6 Poluição Térmica

Os corpos aquáticos receptores de água do escoamento urbano sofrem impacto devido ao efeito da temperatura nas reações físico-químicas, reações bioquímicas, nos processos biológicos e nos padrões de comportamento dos organismos. A temperatura pode causar um efeito sinérgico. Por exemplo, temperaturas elevadas provocam efeitos adversos baixando a concentração de oxigênio dissolvido (ZOPPOU, 2001; ARTINA *et al.*, 1997).

2.2.7 Principais Poluentes e seus Impactos sobre o Ambiente

- **Sedimentos e Sólidos:**

Os sólidos suspensos são um dos poluentes mais comuns da água do escoamento urbano. As partículas de solos são um importante transportador de poluentes químicos e nutrientes para as águas receptoras (AHLMAN, 2006). Determinadas frações de poluentes estão associadas com diferentes faixas de tamanho de partículas dos sedimentos quando carregados.

Os sólidos sedimentáveis contribuem para o processo erosivo das superfícies de escoamento, bem como pode se depositar nas tubulações e galerias pluviais comprometendo seu fluxo (ARTINA *et al.*, 1997).

- **Nutrientes**

Os nutrientes (fósforo -P e nitrogênio -N) são essenciais aos organismos vivos, mas níveis excessivos podem transtornar o equilíbrio natural do ecossistema. As cargas de nutrientes encontradas no escoamento urbano são normalmente baixas, quando comparadas com outras fontes no ambiente. A origem do fósforo está relacionada com a deposição atmosférica, excremento de animais, do lixiviado de folhas de árvore e fertilizantes de gramado (AHLMAN, 2006).

- **Demanda de Oxigênio**

Oxigênio dissolvido é um indicador de impacto de qualidade de água. É um componente natural em todos os corpos aquáticos e é vital para todos os organismos do meio. O oxigênio é requerido pelos micro-organismos aeróbios decompositores da matéria orgânica que fazem o papel depurador nos corpos aquáticos. A indicação indireta da quantidade de matéria orgânica na água pode ser determinada pela Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ou pela Demanda Química de Oxigênio – DQO.

As condições anaeróbias resultam em matanças de peixe, maus odores e cor. Outros impactos e mais sérios estão relacionados com substâncias tóxicas. A matéria orgânica coloidal de tamanho menor que $< 43\mu\text{m}$, geralmente chamada

de carbono orgânico dissolvido é responsável por dois impactos significantes na distribuição de PAHs (Hidrocarbonetos aromáticos policíclico) e metais pesados. O carbono orgânico adsorvido aumenta as partículas de sólidos suspensos e sua capacidade de sorção, combinando-se com substâncias químicas orgânicas hidrofóbicas e alguns metais pesados como Pb e Zn (GOONETILLEKE & THOMAS, 2003).

- **Patogênicos**

A concentração de bactérias no escoamento urbano não diluído excede aos padrões de balneabilidade. O ensaio de coliformes é uma contagem indireta dos patogênicos e também é impreciso na determinação de vírus (AHLMAN, 2006).

Segundo Ellis & Mitchell (2006), a faixa concentração de *Scherichia coli* nas áreas residenciais e comerciais é de 0 a 10⁴ NMP/100mL e nas auto-estradas, esse faixa é de 0 a 10² NMP/100mL.

No estudo Souza (*et al.*, 2006), de um conjunto de 12 doenças classificadas em 4 grupos, de acordo com as condições ambientais específicas de drenagem, identificadas na pesquisa, os alagamentos e acúmulo de águas do escoamento superficial propiciam a sua ocorrência. Sendo: febre amarela urbana, dengue, filariose e malária, ligadas à existência de empoçamentos; esquistossomose, relacionada aos alagadiços; leptospirose, concernente às inundações; febre tifóide, cólera e outras diarreias, hepatite A, ascaridíase, tricuriase e ancilostomíase, ligadas aos alagadiços e à precariedade dos sistemas de abastecimento de água.

- **Resíduos Sólidos e Poda**

É a mais visível categoria de poluente urbano, mas geralmente não é a maior fonte de poluição. Primeiramente seu impacto é estético, além de que pode obstruir os sistemas de drenagem, impedindo o fluxo do escoamento (GOONITILLEKE E THOMAS, 2003). Estão incluídos metais, plásticos, papéis e outros materiais descartados pela população.

A má qualidade da limpeza urbana e a falta de conscientização da população têm trazido grandes prejuízos à qualidade das águas pluviais. É preciso então reduzir a geração de resíduos sólidos. O excesso de lixo é um empecilho para a implantação de reservatórios de retenção, aumenta os riscos sanitários e o custo de manutenção da rede de drenagem (PRODANOFF, 2005).

- **Metais**

As fontes de metais e suas contribuições para o escoamento superficial urbano dependem significativamente do uso da área. Além disso, parâmetros como a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e pH podem significativamente aumentar a dessorção de metais pesados nos sólidos suspensos (HERNGREN *et al.*, 2005).

Os metais pesados como cobre, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio, níquel, zinco, e, ainda, arsênio, cobalto e selênio, são o grupo que aparece com mais frequência. Sua principal fonte são os veículos, mas também, estão presentes nas tintas, materiais galvanizados e tubulações metálicas (BAPTISTA E NASCIMENTO, 2005).

Sobre as atividades antrópicas: o uso dos automóveis altera as concentrações do chumbo (Pb); o emprego dos fertilizantes alteram as concentrações de Bário (Ba), cádmio (Cd), Magnésio (Mg) e Zinco (Zn); salinização altera o Sódio (Na).

- **Óleos e Graxas**

Óleos e graxas contêm uma grande variedade de hidrocarbonetos, alguns dos quais são tóxico para vida aquática, mesmo em baixas concentrações. Hidrocarbonetos têm uma forte afinidade com sedimentos.

- **Hidrocarbonetos**

Os hidrocarbonetos são freqüentemente encontrados na superfície das ruas, proveniente dos combustíveis dos automóveis e dos lubrificantes. Também quando emitidos pelo sistema de exaustão veicular e fica suspenso na

atmosfera, pode retornar à superfície pela precipitação. É estimado que 50% dos sólidos e 70% do total de PAHs (Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) encontrados nas águas receptores são atribuídos ao escoamento superficial (ELIS, 1986 *apud* TSIHRINTIZ & RAMID, 1997).

- **PCBs - Bifenilas Policloradas**

São poluentes caracterizados pela persistência na atmosfera e na habilidade de se transportarem por longas distâncias e se acumularem ao longo da cadeia alimentar. (ROSSI *et al.*, 2001). Apesar de banidos, continuam no ambiente devido a sua elevada persistência.

2.2.8 Poluentes Padrão Característicos do Escoamento Urbano

Uma gama de poluentes pode ser encontrada nas águas do escoamento urbano. A Environmental Protection Agency of the United States of America – EPA preparou uma lista inclui poluentes de interesse geral que são usualmente examinados em fontes de estudos e incluem representantes de categorias importantes de poluentes: sólidos, constituintes consumidores de oxigênio, nutrientes e metais pesados, sendo os seguintes parâmetros: SST – Sólidos Suspensos Totais; DBO₅ – Demanda Bioquímica de Oxigênio no quinto dia; DQO – Demanda Química de Oxigênio; PT – Fósforo Total (P); PS – Fósforo Solúvel; NTK – Nitrogênio total (N); NO₂ – Nitrito; NO₃ – Nitratos; Cu – Cobre total; Pb - Chumbo Total; e Zn – Zinco total.

Para Artina *et al.* (1997) os principais parâmetros para caracterização da qualidade da água do escoamento superficial são: DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio DBO₅ – Demanda Bioquímica de Oxigênio no quinto dia; DQO – Demanda Química de Oxigênio, Sólidos, NTK – Nitrogênio total (N) e COT – Carbono orgânico total. Os parâmetros que melhor caracterizam as águas de drenagem são a matéria orgânica e os metais pesados (BRASIL, 2006).

2.3 Análise da variação temporal da qualidade da água

2.3.1 Introdução

O comportamento da concentração de poluentes ao longo do tempo para um evento de chuva pode ser uma informação necessária de acordo com a finalidade do estudo proposto. Podendo ser utilizado para gerenciamento ou planejamento em drenagem urbana. A obtenção dessa variação envolve atividades detalhadas, desde a caracterização da bacia de drenagem, bem como dos parâmetros envolvidos, tanto quantitativos como qualitativos.

O gráfico que apresenta a variação temporal da concentração dos poluentes das águas do escoamento superficial é denominado na literatura como “polutograma” e é semelhante ao histograma, permitindo que sejam analisados conjuntamente (BAPTISTA E NASCIMENTO, 2005; GOONETILLEKE *et al.*, 2005). É importante ressaltar que devem ser estabelecidos gráficos que relacionam a concentração ao longo do tempo para cada poluente em estudo.

O polutograma gerado por uma área urbana após um período seco mostra um pico de concentração antes do pico do hidrograma, indicando que a concentração no início é alta, mesma com pequena vazão. No início, existe uma pequena concentração, logo após a concentração é alta, para, após alguns intervalos, se reduzirem substancialmente (BRASIL, 2005).

A qualidade da água do escoamento superficial urbano envolve os componentes básicos que são: a geração do escoamento devido ao excesso de precipitação, ocorrendo o fenômeno de “wash-off” e o transporte de poluentes até as áreas receptoras. A interligação entre esses processos está ilustrada na Figura 2.3. Existe uma dependência entre a qualidade e a quantidade da água de escoamento superficial. Deve-se primeiramente ao fato de que o comportamento hidrológico e hidráulico de uma bacia de drenagem é muito complexo e isso reflete nas cargas e concentrações dos poluentes a serem determinadas. E em segundo, que as

medidas de gestão são tomadas levando em consideração ambas as informações de forma complementar (ZOPPOU, 2001).

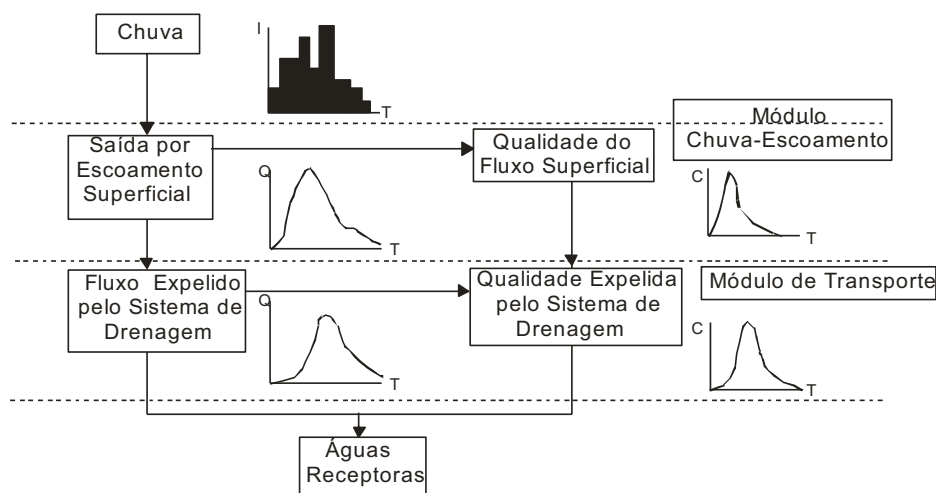


Figura 2.3 Interação dos parâmetros quantitativos e qualitativos no escoamento superficial
Fonte: Adaptado de Zoppou, 2001

2.3.2 “Wash-off”

É o processo pelo qual o poluente depositado na superfície durante o período seco antecedente ao evento da chuva é incorporado ao fluxo do escoamento superficial. Nesse processo estão envolvidos dois fenômenos que ocorrem simultaneamente. O primeiro é a dissolução de possíveis compostos solúveis, quando as primeiras águas de chuva caem molhando a superfície. A queda dos pingos e o fluxo horizontal do escoamento promovem a turbulência necessária para que ocorra a dissolução. A precipitação continua dando início ao escoamento, daí então o segundo fenômeno ocorre. Devido ao aumento da taxa de fluxo e da velocidade, o material particulado é carregado até a área de descarga da bacia.

O processo de “wash-off” é influenciado por vários fatores, tais como: intensidade de chuva, volume de chuva, rugosidade do terreno e características do poluente. Quanto maior a altura de chuva, maior será a ocorrência do processo “wash-off”. Na Figura 2.4 está uma representação hipotética dos fenômenos envolvidos (GOONETILLEKE & THOMAS, 2003).

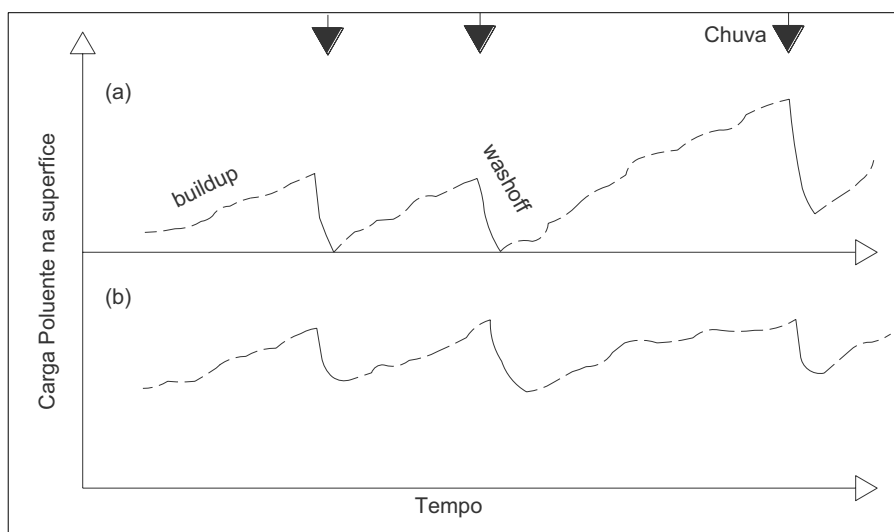


Figura 2.4 Representação hipotética do comportamento da carga do poluente da superfície ao longo do tempo
(Fonte: Adaptado de Vaze e Chew, 2002 apud Goonetilleke & Thomas, 2003)

O “wash-off” não é um fenômeno consistente, ou seja, sua ocorrência não foi verificada em todas as pesquisas desenvolvidas. É mais freqüente observar esse fenômeno em bacias pequenas, do que em bacias grandes. Portanto, para afirmar sua ocorrência deve-se proceder a caracterização da variação temporal da qualidade da água do escoamento superficial para cada bacia especificamente (GOONETILLEKE & THOMAS, 2003; BAPTISTA E NASCIMENTO, 2005). O número de dias secos que antecedem a chuva é um dos fatores determinantes para a acumulação de poluentes na superfície (HUBER E DICKINSON, 1988 *apud* Tsihrintz & Ramid, 1997).

2.3.3 “First foul flush” – “Prima Cacciata Inquinata” – “Primeira Carga de Lavagem”

O “first flush” pode ser definido com o período inicial do escoamento, durante o qual a concentração de poluentes é consideravelmente mais alta que aquelas medidas com o passar do tempo. Este conceito pode ser relacionado com a determinação da

parcela do volume a ser interceptado para tratamento, visto conter a maior carga poluidora do evento.

Este fenômeno pode ser representado através da curva adimensional $M(V)$. Esta curva é baseada em outros dois gráficos no hidrograma $-Q(t)$ e no polutograma $-C(t)$ do poluente considerado, onde Q é a vazão (m^3/s) e C é a concentração do poluente (mg/L). Para uma bacia, esta curva ainda depende de diversos parâmetros, como o hietograma $-P(t)$, que apresenta a variação da intensidade da precipitação ao longo do tempo, do período seco que precede ao evento, das condições do sistema de esgotamento sanitário, dos resíduos acumulados na superfície e da massa de poluentes acumulado sobre a superfície (BERTRAND-KRAJEWSKI *et al.*, 1998).

A curva que permite calcular qual o volume que contem a maior carga poluidora a ser interceptado com o objetivo de tratamento é a curva adimensional $M(V)$. A representação desta curva consiste no desenho da variação da massa de poluente acumulado dividido pela massa total em relação ao volume acumulado dividido pelo volume total. Para N medidas da vazão Q_i e concentração C_i , no intervalo de tempo Δt_i , e assumindo que Q e C variam linearmente entre as duas medidas, a aproximação da curva $M(V)$ pode ser descrita como apresentado na Equação 2.1 (BERTRAND-KRAJEWSKI *et al.*, 1998).

$$\frac{\sum_{i=1}^j c_i Q_i \Delta t_i}{\sum_{i=1}^N c_i Q_i \Delta t_i} = f \left(\frac{\sum_{i=1}^j Q_i \Delta t_i}{\sum_{i=1}^N Q_i \Delta t_i} \right) = f \left(\frac{\sum_{i=1}^j V_i}{\sum_{i=1}^N V_i} \right) \quad \text{Equação 2.1}$$

Onde N é o Número total de medidas; j é o índice que varia de 1 a N ; e V_i é o Volume de descarga no intervalo de tempo i .

Para o desenho da curva é necessário seguir o procedimento apresentado na Figura 2.5. De posse dos dados observados e das análises das amostras coletadas, elaboram-se o histograma (2) dos eventos e o polutograma (1) de cada poluente por

evento. Logo em seguida, são desenhados os gráficos da variação da carga do poluente (3) e o volume de escoamento acumulado (4) ao longo do tempo. Conhecidos, a massa total acumulada e por sua vez o volume total acumulado, o passo seguinte é elaborar o gráfico da fração acumulada pelo total, tanto para massa (5) quanto para volume (6). A curva $M(V)$ no gráfico (7) é montado com os pares ordenados (X,Y) , advindos do gráfico (5) e (6). Para um determinado tempo t_i , no gráfico (5) é determinada a coordenada Y , ou seja, a relação entre a massa acumulada e a massa total, e no gráfico (6), é determinada a coordenada X , ou seja, a relação entre o volume acumulado e o volume total.

A análise da curva adimensional $M(V)$ consiste na verificação do afastamento da curva em relação ao bissetor do gráfico. Se a concentração permanece constante ao longo do evento de chuva, a massa de poluente é proporcional ao volume, então $\sum C_i Q_i \Delta t_i = C_0 \cdot \sum Q_i \Delta t_i = C_0 \cdot \sum V_i$ e a curva coincide com o bissetor. Sob estas condições, é necessário que ocorra a proporção $X=Y$ e este caso é puramente teórico.

Quando a curva $M(V)$ está acima do bissetor, para cada proporção Y de massa de poluente, basta interceptar numa proporção $X < Y$ de descarga do volume. Para um determinado valor de Y , terá um valor mais baixo de X . Neste caso, uma pequena parcela do volume, carrega uma maior carga poluidora.

Quando a curva $M(V)$ está abaixo do bissetor, para cada proporção Y de massa de poluente, existe uma proporção $X > Y$ de volume de descarga, logo requer uma área maior para realização o tratamento da parcela do volume que carrega a carga poluidora inicial, pois um maior volume da precipitação carrega a maior carga de poluentes.

Existem diversas variedades das curvas $M(V)$, por isso é necessária uma análise estatística específica para cada bacia de modo a descrever o fenômeno. As curvas para um determinado poluente variam em eventos diferentes e também variam em um mesmo evento as curvas dos diversos poluentes.

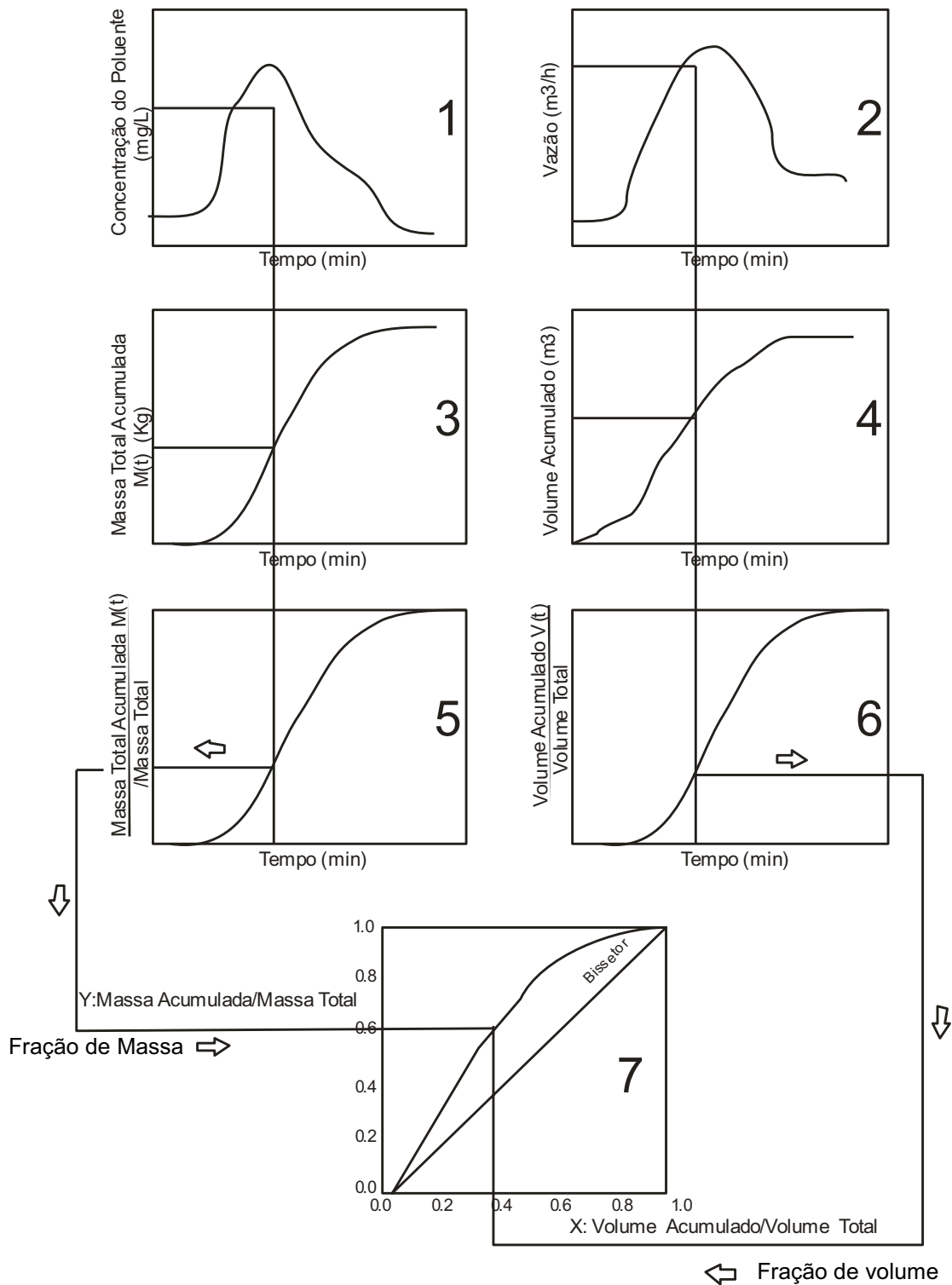


Figura 2.5 Etapas para desenho da Curva M(V) para um determinado poluente
 Fonte: Adaptado de BERTRAND-KRAJEWSKI *et al.*, 1998

A análise numérica da curva M(V) considera a aproximação da curva para uma função $F(X) = X^b$, onde $X \in [0,1]$, $F(0) = 0$ e $F(1) = 1$. Esta aproximação entre M(V) e

$F(X)$ é geralmente satisfatória quando o coeficiente de determinação $R^2 \geq 0,9$. O valor do parâmetro b caracteriza o afastamento entre a curva $M(V)$ e o bissetor. É facilmente calculado por regressão linear desde que $F(X) = X^b \Leftrightarrow \ln(F(X)) = b \cdot \ln(X)$. Este parâmetro possibilita estudar a distribuição da curva $M(V)$, estimando a magnitude do “first flush” e identifica qual a porcentagem de eventos que necessitam do desvio de uma porcentagem de volume, para remoção de uma determinada carga de poluentes (BERTRAND-KRAJEWSKI *et al.*, 1998).

A proporção de 30/80, ou seja, 80% da carga de poluente é transportada nos primeiros 30% do volume foi proposta por Bertrand-Krajewski *et al.* (1998) e apontada em outras pesquisas, com a de Bernardo e Soares (2004). Deletic (1998) considera que o “first flush” é apresentado em um evento de chuva quando mais do que 20% da carga poluidora for carregada nos primeiros 20% do volume. Lee e Bang (2000 *apud* Temprano *et al.*, 2005) é da opinião que o “first flush” aconteça se a curva de fração de carga poluidora acumulada estiver acima da curva de fração do volume acumulado. Nakamura (Nakamura, 1990 *apud* ARTINA *et al.*, 1997) verificou que em uma bacia urbana do Japão cerca de 50 % dos primeiros volumes escoado transportava 70% da carga total do evento de chuva.

Diversos resultados de pesquisas apontam para razões diferentes entre a carga total de poluição que o evento transporta nos primeiros volumes de escoamento. A comparação dos resultados de diversas pesquisas pode se tornar complexa, ou até mesmo inconsistente, devido à variedade de experimentos desenvolvidos.

Segundo Deletic (1998) o fenômeno “first flush” ocorre em cerca de 60 a 80% dos eventos de chuvas e nem sempre pode ser definido precisamente. Sua ocorrência é geralmente informada em condições qualitativas, não podendo ser interpretado de uma maneira quantitativa. No contexto de administração de poluição das águas do escoamento superficial urbano, é a carga poluente total do evento que é significativa. Ainda que o volume de escoamento fosse baixo e tivesse um aumento na concentração de poluente, a carga de poluente durante a fase inicial do escoamento poderia ser relativamente baixa quando comparada à carga global levada pelo escoamento.

Segunda Artina *et al.* (1997), este fenômeno é observado apenas em eventos com forte precipitação, os parâmetros de qualidade que se destacam são os sólidos, principalmente quando aumenta o tamanho da bacia. Levar em consideração o first flush tem um aspecto sanitário importante, mas não possui um efeito hidráulico na rede pluvial do sistema de drenagem.

Para Goonetilleke *et al.* (2005), o “first flush” é um fenômeno importante e distinto do “wash-off”, devendo ser levado em conta na gestão e no tratamento das águas de escoamento urbano devido às suas implicações econômicas. Sua significação econômica se origina no fato de que as medidas estruturais em drenagem urbana freqüentemente são projetadas para o controle da quantidade e da qualidade da água, como as bacias de detenção/retenção.

A verificação da ocorrência ou não do “first flush” torna-se importante quando se pretende interceptar o escoamento urbano em bacias de detenção para controlar a carga poluidora a ser destinada ao corpo receptor. O controle da poluição que possa ser causada pelo first flush pode ser feito através de infiltração, filtração e detenção (TOMAZ, 2006).

No trabalho realizado por Pit (2004 *apud* THOMAZ, 2006), de modo geral 55 % dos parâmetros estudados apresentaram o first flush. A DBO, DQO, Sólidos Totais, Nitrogênio Total e Zinco possuem first flush em todas as bacias de ocupação pesquisadas (comercial, industrial, institucional, espaços abertos e residencial). O first flush ocorre em 70 % dos parâmetros na área comercial, 60 % na área residencial, 45 % na área industrial, não é notado nas áreas abertas e funciona bem nas áreas pequenas.

2.3.4 Carga dos Poluentes

Apesar da importância de se conhecer o comportamento temporal das concentrações dos poluentes, em termos práticos, pode ser apenas necessário o valor da carga poluente total lançada nas áreas receptoras das bacias de drenagem. Essa medida que representa o evento como um todo, em termos de contribuição para a poluição é denominada de Concentração Média do Evento (CME). A determinação da CME é um método aproximado, porém muito empregado. O valor obtido empregando-se a Equação 2.2 (TEMPRANO *et al.*, 2005).

$$CME = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^{t_r} C(t)Q(t)dt}{\int_0^{t_r} Q(t)dt} \quad \text{Equação 2.2}$$

Onde CME é a Concentração média do evento ($M.L^{-3}$); M é a Massa total do poluente ao longo do total do evento (M); V é o Volume do fluxo gerado pelo evento (L^3); T é o Tempo (T); C(t) é a Concentração do poluente no instante t ($M.L^{-3}$); Q(t) é a Vazão do fluxo no instante t ($L^3.T$).

A concentração média dos eventos se altera em função do volume do evento, sendo característico de cada área drenada (SCHÜLLER, 1987 *apud* TUCCI, 2003). Diversos autores apresentam resultados considerando a CME para caracterizarem as águas de chuva de uma área de drenagem, com pode ser observado no Quadro 2.5, o qual apresenta as CME encontradas no estudo de 16 eventos de chuva nas ruas de numa bacia experimental em Paris (França).

Segundo Lee *et al.*, (2002), a CME é um importante parâmetro analítico porque é apropriado para avaliação dos impactos nas águas dos corpos receptores. Apesar do grande efeito da redução da qualidade da água causado pelas águas do escoamento superficial, a variação da concentração dos parâmetros ao longo da chuva não é tão significativa.

Para o trabalho realizado, a CME não é aplicável visto que temos como objetivo encontrar o ponto de desvio de volume que carrega a maior parcela poluidora.

Quadro 2.5 – Concentrações médias dos eventos em Paris

Variável	Mínimo	Máximo	Média
SST (mg/L)	49	498	92,5
DQO (mg/L)	48	964	131
DBO ₅ (mg/L)	15	141	36
Hidrocarbonetos (µg/L)	115	4032	508
Cd (µg/L)	0,3	1,8	0,6
Cu (µg/L)	27	191	61
Pb (µg/L)	71	523	133
Zn (µg/L)	246	3839	550

Fonte: Gromaire-Mertz (1999)

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em duas bacias de drenagem situadas na área urbana da cidade de Natal – Brasil. A cidade de Natal possui características topográficas que ensejam a formação de bacias fechadas, classificação a qual pertencem ambas as bacias em estudo. No que se refere à divisão administrativa do município, ambas estão localizadas no bairro de Capim Macio, zona Sul da cidade (NATAL, 2005).

A bacia pertencente ao conjunto Mirassol foi denominada de M e a bacia do conjunto de Cidade Jardim foi denominada de C, para facilitar as descrições ao longo do trabalho.

A primeira bacia (M) está inserida no conjunto habitacional Mirassol e possui uma área de 0,14 km², a altitude máxima é de 61,10 metros e a altitude do exutório é de 34,90 metros, taxa de impermeabilização de 78,32% (RIGHETTO, 2007). A segunda bacia (C) está inserida em Cidade Jardim, tem uma área de 0,25 km² e taxa de impermeabilização do solo de 47,30 % (MOREIRA *et al.*, 2000).

A delimitação das bacias em estudo encontra-se na Figura 3.1. Em vermelho, tem-se a bacia M e em amarelo, a bacia C. ambas as bacias possuem uma lagoa de retenção e infiltração nos seus exutórios, destacadas na cor azul. Ainda é possível perceber o grau de impermeabilização do solo, diferente para as duas bacias.

Segundo informações do Anuário Estatístico da Cidade (NATAL, 2005) que contempla informações para o Bairro de Capim macio como um todo, no que diz respeito aos aspectos sanitários, os domicílios são atendidos pela rede pública de abastecimento de água (cerca de 97,95 %). Os efluentes domésticos são dispostos principalmente em tanques sépticos individuais, nem sempre construídos de acordo com as técnicas sanitárias recomendadas, infiltrando os efluentes através de sumidouros. Os resíduos sólidos são coletados pelo serviço de limpeza pública municipal, com frequência de 02 vezes por semana e varrição a cada 3 meses. A geração de resíduos sólidos estimada para este bairro é de 1,04 kg/hab/dia.



Figura 3.1 Fotografia Aérea das Bacias Hidrográficas

Na Bacia de Mirassol, o padrão de ocupação é do tipo residencial unifamiliar, padrão classe B e C, com predomínio de lotes de 360m². A sua localização privilegiada enseja alterações de melhoria da paisagem e mudança gradual para residências de padrão tipo A.

Na cobertura do solo predomina revestimento das vias executadas em paralelepípedo, excetuando-se, apenas, uma das vias, prevalecendo arruamentos de classificação secundária. A área da bacia apresenta apenas uma via de classificação principal. O tipo de ocupação observada indica tendenciosamente um alto grau de impermeabilização, fato que é atenuado pela escassez de áreas verdes. Por se tratar de região de dunas, a bacia apresenta uma série de trechos com

grandes declividades. A lagoa de detenção/infiltração apresentou, para as condições circunstanciais, densa vegetação e deposição de resíduos sólidos (lixo) em sua área interna.

Quanto ao sistema de drenagem, na bacia M, o fluxo das águas do escoamento superficial é direcionado para uma Lagoa de Detenção e Infiltração (Lagoa Mirassol), que se localiza na região com cota topográfica inferior aos demais locais da bacia. Há somente um pequeno trecho de coletores de drenagem, situado a 7 metros da Lagoa. A entrada das águas pluviais se dá através de uma tubulação com diâmetro de 0,80 metros, que recebe o pequeno trecho de galeria e as bocas de lobo da entrada da lagoa (Figura 3.2 e 3.3).



Figura 3.2 Boca de Lobo na Entrada Lagoa Mirassol



Figura 3.3 Detalhe do Local de Coletas das Amostras

O intervalo de varrição das ruas que favorece o comprometimento e obstrução dos sistemas de drenagem isolados (lagoas de detenção / infiltração). Observando as Figura 3.2 e 3.3, pode-se verificar que durante o período seco ocorre o acúmulo de resíduos sólidos e podas na superfície de drenagem. Esses resíduos contribuem para obstrução do sistema durante o evento de precipitação, bem como para a redução da qualidade da água a ser detida na lagoa e posteriormente infiltrada no solo.

As Figuras 3.4 e 3.5 mostram a gravidade desse problema durante e após a ocorrência desses eventos. As Figuras apresentam a situação da área no período chuvoso do ano de 2007 e a Figura 3.6 no período chuvoso do ano de 2008. Neste

último ano, as maiores precipitações provocaram estragos na boca de lobo da entrada da lagoa, bem como nas instalações para o desenvolvimento do trabalho.



Figura 3.4 Boca de Lobo obstruída com resíduos carreados da superfície (Ano 2007).



Figura 3.5 Aspecto visual da água armazenada na Lagoa Mirassol após evento de precipitação (Ano 2007).



Figura 3.6 Boca de lobo da entrada da lagoa de retenção (Ano 2008).

O sistema de drenagem de águas pluviais da bacia C é composto pela pavimentação das ruas (100 % asfaltadas), por uma rede de galerias e por uma lagoa de retenção (Lagoa Cidade Jardim) com capacidade de 9.600 m³. Moreira *et al.* (2000) realizou um estudo e identificou a fragilidade do sistema frente a chuvas de maior intensidade, o que levaria a ocorrência de inundações em algumas áreas baixas (Figura 3.7 e 3.8), justificando a existência de um sistema de recalque para o esgotamento da água que ultrapasse sua capacidade de armazenamento, como pode ser observado na Figura 3.9.



Figura 3.7 Ponto de alagamento na Bacia C próximo às bocas de lobo.



Figura 3.8 – Ponto de alagamento na Bacia C em áreas de cotas baixas da bacia.



Figura 3.9 Vista geral da Lagoa Cidade Jardim e localização da Estação Elevatória

Na Bacia Cidade Jardim, a ocupação é residencial predominando famílias de classe média-alta a alta e uma ocupação bem menos densa, o que ajuda com relação à infiltração pontual e ocorrência de menor escoamento superficial.

Na Figura 3.10, apresenta-se a caracterização topográfica da área estudada, a disposição do sistema de drenagem pluvial e localização dos pontos de coleta. Em vermelho destaca-se a bacia M, cuja rede de drenagem aparece em laranja e se estende até a Lagoa de Infiltração Mirassol. Nesta bacia, têm-se quatro pontos de coleta espalhados na área de drenagem, sendo eles: M1, M2, M3 e M4. A bacia C compreende um sistema maior de rede de drenagem que se direciona para a Lagoa de Infiltração de Capim Macio. Ao longo de sua superfície de drenagem foram instalados 4 pontos de coleta, sendo eles: C1, C2, C3 e C4.

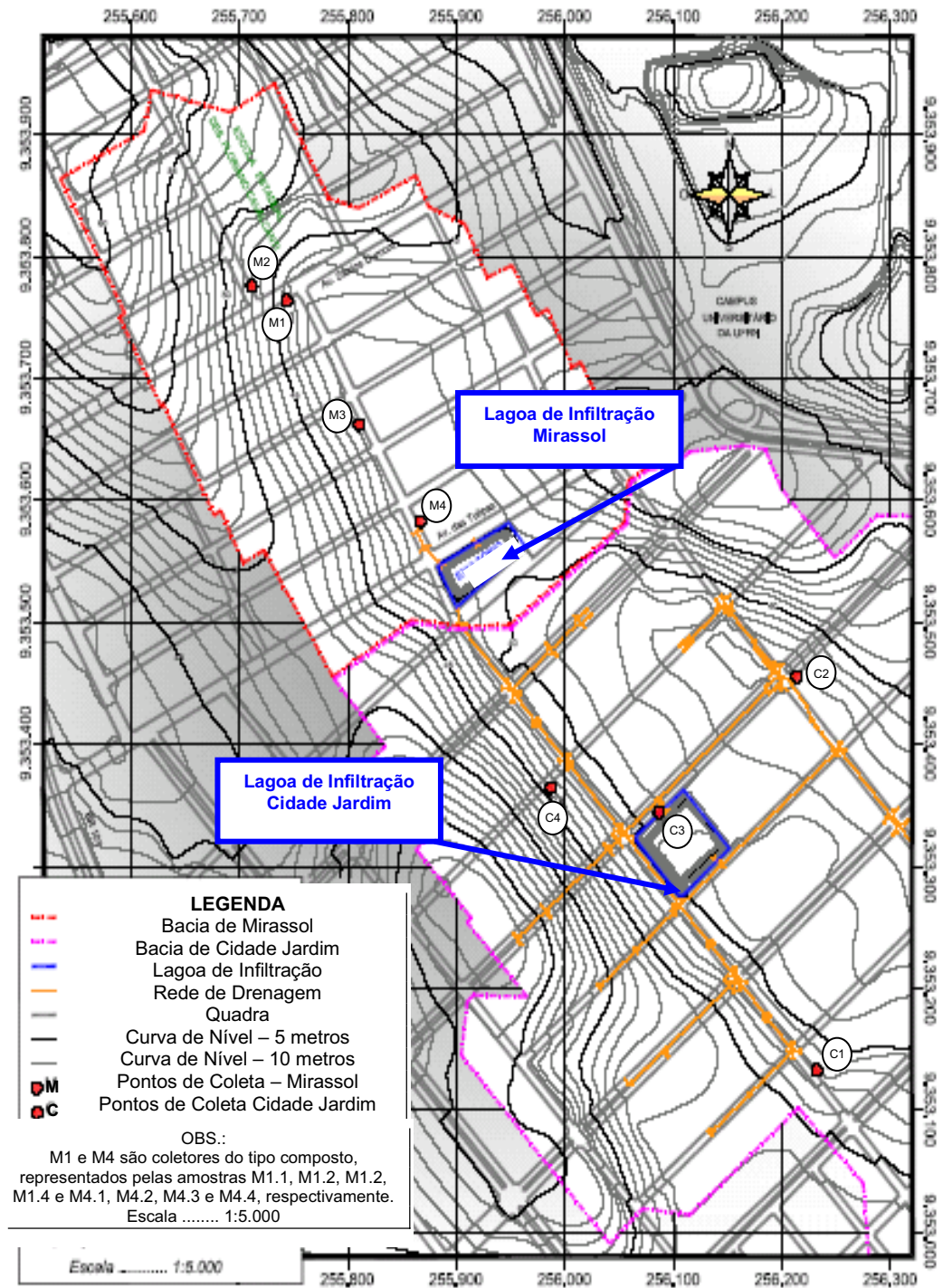


Figura 3.10 Disposição do Sistema de Drenagem das Bacias e localização dos pontos de coleta

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho ocorreu em três fases distintas, sendo a primeira delas a coleta de água no exutório da bacia M com o emprego de amostradores desenvolvidos no Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – LARHISA. A segunda fase compreende a coleta de água no exutório da bacia M, com o uso de equipamento automático de coleta. Na terceira fase foram distribuídos coletores nas bacias M e C, sendo escolhidos pontos com área de captação representativa da bacia de drenagem.

Para as coletas de amostras de água no exutório da bacia M, foi construída uma plataforma de trabalho no final da tubulação de descarga da lagoa de retenção e infiltração (Figura 4.1). Esta obra é composta por duas câmaras, área de passagem para acesso e apoio, casa de instalação de equipamento amostrador e Quadros de comando e de um portão de acesso. A primeira câmara recebe as águas que saem da tubulação de descarga, de modo que na segunda câmara possa ser medido o nível da água. Em seguida, a água verte para a lagoa, conforme pode ser visto na Figura 4.2.



Figura 4.1 Tubulação de descarga na Lagoa, antes da instalação da plataforma



Figura 4.2 Plataforma de trabalho para coleta de amostras e dados

Na segunda câmara também foi instalada uma tubulação de descarga, regulada por um registro de esfera, para esgotar as águas acumuladas abaixo da soleira do vertedor.

4.1 Coleta no Exutório da bacia M com amostradores em diferentes níveis - Fase 01

Nesta primeira fase, as coletas foram realizadas na segunda câmara da plataforma de trabalho. Foram instalados amostradores desenvolvidos no LARHISA, pelos bolsistas do Projeto MAPLU, nas alturas de 15 cm, 30 cm, 45 cm, 60 cm, 75 cm e 90 cm. O princípio de funcionamento desse sistema de coleta visa à caracterização da qualidade da água durante o início da precipitação, pois cada amostrador corresponde a um determinado volume de água precipitado. As alturas correspondem aos volumes de 0,454 m³, 0,908 m³, 1,361 m³, 2,185 m³, 2,269 m³, 2,723 m³, respectivamente.

Os recipientes coletores foram confeccionados com PVC para esgoto sanitário, com diâmetro de 75 mm, e esferas isopor. Os amostradores foram instalados na posição vertical, à medida que a câmara enchia, eles eram preenchidos, ao ter seu volume completado, a entrada de água era vedada pela esfera de isopor, preservando assim as características daquele volume (Figura 4.3 e 4.4). Quando o volume de água era rebaixado, utilizando a extravasor da câmara, os recipientes eram coletados.



Figura 4.3 Disposição dos amostradores na segunda câmara



Figura 4.4. Transporte dos coletores de PVC até a área de trabalho

Após a coleta, as amostras eram transferidas para garrafas de plásticos, identificadas previamente, e transportadas para o laboratório de análises (Figura 4.5). Nesta primeira fase todas as análises foram realizadas no LARHISA.



Figura 4.5. Garrafas de Acondicionamento das Amostras

4.2 Coleta no Exutório da bacia M com amostrador automático – Fase 02

A fase 02 de experimentos compreende a utilização do equipamento de coleta de amostras automático modelo ISCO 6712, instalado na plataforma de trabalho do exutório da bacia M. Este equipamento permite a coleta de acordo com a programação estabelecida (Figura 4.6). Desta forma coletaram-se amostras a cada 5 minutos, durante os eventos monitorados.



Figura 4.6 Amostrador automático ISCO 6712

O equipamento é dotado de uma tubulação de sucção com um crivo, que foi instalada na tubulação de descarga do sistema de drenagem (Figura 4.7). A água coletada era transferida para os dispositivos próprios do amostrador (Figura 4.8), os quais eram transportados em recipiente de isopor para o laboratório de realização de análises.



Figura 4.7 Instalação da sucção do amostrador na tubulação de descarga



Figura 4.8 Garrafas coletoras do amostrador automático

4.3 Coleta na área de drenagem das bacias M e C – Fase 03

Para realizar a fase 03, foi necessária a instalação de amostradores distribuídos nas áreas de drenagem das bacias M e C. Para a caracterização da M, foram empregados amostradores simples e compostos. Já para a C, apenas foram instalados os amostradores simples.

Os amostradores simples são dispositivos construídos em PVC para esgoto sanitário com diâmetro de 150 mm, vedados em sua parte inferior com um Cap soldável de 150 mm. Foram instalados na sarjeta das vias, dentro de uma caixa protetora, dotada de uma tampa de ferro que acompanhou o caimento da rua. Esta tampa possui duas partes: a grelha protetora e funil direcionado de fluxo para a entrada no tubo circular (Figura 4.9).



Figura 4.9 Coletor simples para bacia instalado

Segundo concepção do orientador deste trabalho, o professor Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto, foram construídos dois amostradores compostos com objetivo de verificar a variação da qualidade da água do escoamento superficial ao longo do evento de precipitação. O funcionamento do equipamento consiste no escoamento da água que escoar na sarjeta da via que é direcionada pela entrada na tubulação coletora preenchendo os recipientes um a um, seqüencialmente. Cada coletor representa uma parcela do volume precipitado no evento (Figura 4.10). Nos dois primeiros testes os coletores possuíam altura de 40 cm, após essas análises percebeu-se que não havia variação significativa de alguns parâmetros, desta forma, foi reduzido o volume de cada parcela a fim de se detectar a variação da qualidade no início da precipitação. Nesta etapa, os coletores passaram a ter uma altura de 22 cm, totalizando um volume de 3,89 Litros cada.



Figura 4.10 Amostrador composto e esquema de funcionamento

Para a construção dos amostradores compostos foram empregados tubos e conexões em PVC, da linha comercial indicada para esgoto sanitário. Cada amostrador individualmente consumiu os seguintes materiais: Tubo PVC Soldável 100 mm – 40 cm; Tubo PVC Soldável 150 mm – 160 cm; Joelho 45° Soldável 100 mm – 01 und; Joelho 90° Soldável 100 mm – 01 und; Tê Soldável 100 x 100 mm – 04und; Anel de Borracha 100 mm – 04 und; Cap Soldável 150 mm – 09 und; Adesivo para PVC Soldável e Adesivo à base de Epóxi. A tubulação e os recipientes coletores foram construídos através da serragem dos tubos de PVC 150 mm; marcação e corte do orifício de encaixe entre as partes e Soldagem entre as conexões.

Os amostradores foram instalados na sarjeta das ruas, com algumas adaptações da instalação do amostrador simples. Devido ao seu maior comprimento, a tampa metálica consiste em uma grade coberta, exceto na entrada da água do escoamento superficial e na saída (extravasor), como apresentado na Figura 4.11.



Figura 4.11 Local de instalação do amostrador automático

Após a retirada dos coletores, as amostras eram transferidas para garrafas previamente numeradas e transportadas para o laboratório no qual seriam feitas as análises.

4.4 Análises de qualidade da água

As análises qualitativas foram realizadas no LARHISA e no CEFET/RN, de acordo com a disponibilidade de equipamentos e demanda da realização de análises pelo projeto. Todas as análises seguem o padrão dos Standard Methods (APHA *et al.*, 1998). Para cada fase foi analisado um grupo de indicadores, que estão listados no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Descrição dos Parâmetros Analisados e metodologia Utilizada

Parâmetro	Metodologia
pH	Método eletrométrico
Oxigênio dissolvido	Método iodométrico
Demanda bioquímica de oxigênio	Método dos frascos padrões
Demanda química de oxigênio	Método da refluxação aberta
Fósforo	Método da digestão em meio ácido
Ortofosfato	Método do cloreto estanhoso
Metais pesados (Cd, Cu, Zn, Pb e Cr)	Espectrometria por absorção atômica
Dureza total	Método titulométrico
Sólidos	Método gravimétrico
Condutividade elétrica	Método da resistência elétrica
Nitrato	Método do salicilato de sódio
Nitrito	Método da sulfanilamida
Alcalinidade	Método titulométrico
Sódio e Potássio	Fotometria de chama
Cloreto	Método argentométrico
Turbidez	Método nefelométrico
Coliformes Totais e <i>Escherichia Coli</i>	Método cromogênico

4.5 Medição de Dados de Pluviometria e Vazão

Os equipamentos utilizados para medição da precipitação pluviométrica e da vazão foram instalados no exutório da bacia M (Figura 4.12). O pluviômetro fazia o registro da precipitação ocorrida na bacia a cada 5 minutos. Para a medição da vazão de descarga, foi empregado um linígrafo, instalado na segunda câmara de medição instalada, que registrava o nível da água, que era utilizado no cálculo da vazão de fluxo das águas de drenagem.



Figura 4.12 Disposição dos equipamentos de medição quantitativa de dados

4.6 Programa de Amostragem

Na fase 01, as amostras foram coletadas no período de 18/02/2008 até 27/04/2008, em um total de nove eventos de precipitação. Alguns parâmetros foram coletados em todos os eventos. Na fase 02, foram feitas coletas nos dias 17/06/2008, 24/06/2008, 02/07/2008 e 10/07/2008.

A fase 03 compreende análise do período de 06/06/2008 até 22/08/2008, totalizando quinze eventos analisados. Novamente, alguns parâmetros foram analisados em todos os eventos, já outros em menor quantidade de eventos. Nesta fase, as coletas foram realizadas em quatro pontos para cada bacia, conforme apresentado anteriormente na Figura 3.10, sendo discriminados no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Caracterização dos Pontos de Coleta

Bacia	Ponto		Tipo de Amostrador	Área de Contribuição (km²)
Bacia Mirassol M	M1	M11	Composto	0,048
		M12		
		M13		
		M14		
		M2	Simple	0,027
		M3	Simple	0,035
	M4	M41	Composto	0,051
M42				
M43				
M44				
Bacia Cidade Jardim C		C1	Simple	0,031
		C2	Simple	0,015
		C3	Simple	0,031
		C4	Simple	0,015

5 RESULTADOS

Na fase 01e 03 (Amostradores Compostos) serão comparadas as concentrações medidas ao longo do evento com seus volumes correspondentes. Nesta fase, a análise dos dados consiste em apresentar a variação da qualidade da água ao longo do evento de precipitação. Em seguida, baseados na literatura, serão elaboradas as curvas adimensionais $M(V)$ para os parâmetros estudados. A curva $M(V)$ apresenta a relação da fração de massa de poluente removida com a fração de volume escoado ao longo do período do evento de precipitação estudado.

A determinação da ocorrência do fenômeno de first flush está relacionada com a análise da curva $M(V)$. Quando a curva $M(V)$ do evento estudado estiver acima do bissetor do gráfico, diz que ocorreu o first flush. Quando a curva $M(V)$ do evento estudado estiver abaixo do bissetor do gráfico, diz que não ocorreu o first flush. A magnitude do fenômeno pode ser dada pelo afastamento da curva $M(V)$ até o bissetor do gráfico.

Quanto à proporção entre a parcela do volume e a parcela de remoção de massa, foi adotada a proporção de X % de massa removida para os primeiros 30% de volume, seguindo a maior quantidade de referências que indicam essa proporção (Seção 2.3.3). Sendo calculada pela regressão de potência e aplicada quando o coeficiente de determinação $R^2 < 0,90$.

Na fase 02, será apresentada a variação da concentração dos poluentes, quando empregado o coletor automático no exutório da bacia M.

Na fase 03, serão apresentados os resultados dos pontos de coleta distribuídos na bacia. Neste caso, faz-se necessário destacar que ao longo da realização do trabalho, os pontos M3 da bacia M e o ponto C3 da bacia C foram desativados, tendo em vista a inviabilidade das coletas devido às obstruções das caixas de proteção.

5.1 Coleta no Exutório da bacia M com amostradores em diferentes níveis - Fase 01

Na fase 01, foram analisadas as variações da qualidade da água, ao longo do evento de precipitação, conforme resultados apresentados na Tabela 5.1. Cada parâmetro teve quantidades de eventos apresentados diferentemente. Os parâmetros analisados foram pH, condutividade elétrica, Oxigênio Dissolvido Cor, turbidez, Demanda Química de oxigênio, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais, Nitrito e Nitrato, em 7, 6, 5, 9, 9, 6, 3, 3, 2 e 2 eventos, respectivamente.

Tabela 5.1 – Resultados obtidos dos parâmetros pesquisados na Fase 01

Parâmetro	Pontos	Eventos									Amostra		
		18/02/08	25/02/08	28/02/08	13/03/08	25/03/08	27/03/08	11/04/08	25/04/08	27/04/08	Máximo	Mínimo	Média
pH	15 cm			6,00	6,40	6,00	5,84	7,65	7,36	6,32	7,65	5,84	6,51
	30 cm			5,70	6,30	5,92	5,09	7,56	7,58	7,55	7,58	5,09	6,53
	45 cm			5,70	6,30	5,86	5,10	7,60	7,21	8,30	8,3	5,1	6,58
	60 cm			6,00	6,00	5,91	5,11	7,54	6,97	7,34	7,54	5,11	6,41
	75 cm			6,00	6,10	5,90	5,12	7,62	7,85	7,57	7,85	5,12	6,59
	90 cm				6,00	5,91		7,42	7,84	7,64	7,84	5,91	6,96
Cé (μ S/cm)	15 cm	242,00	174,30	410,00	198,28	190,23	199,20				410	174,3	235,67
	30 cm	191,10	253,60	283,00	211,76	223,55	174,70				283	174,7	222,95
	45 cm	169,10	252,60	303,00	200,80	199,60	160,60				303	160,6	214,28
	60 cm	189,40	281,20	254,00	224,09	201,30	143,00				281,2	143	215,50
	75 cm	186,90	270,60	230,00	217,85	189,60	135,90				270,6	135,9	205,14
	90 cm		120,90		195,80	181,70					195,8	120,9	166,13
Cor (PtCo)	15 cm	33,00	33,00	55,00	52,00	53,00	32,00	23,28	19,50	25,20	55	19,5	36,22
	30 cm	37,00	36,00	68,00	53,00	51,00	33,00	21,05	23,40	19,50	68	19,5	37,99
	45 cm	31,00	31,00	67,00	52,00	54,00	29,00	15,49	9,70	18,30	67	9,7	34,17
	60 cm	45,00	43,00	68,00	54,00	57,00	31,00	13,83	16,50	14,80	68	13,83	38,13
	75 cm	34,00	35,00	77,00	56,00	54,00	33,00	11,45	27,00	22,10	77	11,45	38,84
	90 cm		36,00		54,00	54,00	31,00	7,16	11,30	13,70	54	7,16	29,59
Tur - UNT	15 cm	189,00	37,10	77,10	41,30	51,30	47,20	37,20	25,60	9,40	189	9,4	57,24
	30 cm	205,00	34,20	93,10	39,50	39,20	49,00	19,50	31,40	31,50	205	19,5	60,27
	45 cm	189,00	37,50	61,50	42,10	33,50	42,80	19,30	20,50	17,90	189	17,9	51,57
	60 cm	166,00	39,80	61,10	38,80	37,80	37,10	25,50	33,50	35,80	166	25,5	52,82
	75 cm	182,00	41,10	62,80	37,40	32,00	39,00	20,50	27,70	22,40	182	20,5	51,66
	90 cm		36,20		37,90	33,60	35,20	26,80	17,50	15,30	37,9	15,3	28,93
DQO (mg/L)	15 cm				92,80	48,00	24,00	72,00	86,90	61,00	92,8	24	64,12
	30 cm				417,60	72,00	96,00	48,00	66,00	75,00	417,6	48	129,10
	45 cm				92,80	96,00	72,00	264,00	125,00	137,00	264	72	131,13
	60 cm				46,40	84,00	72,00	336,00	174,00	168,00	336	46,4	146,73
	75 cm				37,12	48,00	84,00	360,00	197,00	241,00	360	37,12	161,19
	90 cm				27,84	24,00	120,00	120,00	211,00	124,00	211	24	104,47

Parâmetro	Pontos	Eventos									Amostra		
		18/02/08	25/02/08	28/02/08	13/03/08	25/03/08	27/03/08	11/04/08	25/04/08	27/04/08	Máximo	Mínimo	Média
SSe (mg/L)	15 cm	6,00	12,00	2,10							12	2,1	6,70
	30 cm	3,00	1,50	2,50							3	1,5	2,33
	45 cm	1,00	3,00	1,50							3	1	1,83
	60 cm	6,00	2,00	2,50							6	2	3,50
	75 cm	5,00	3,00	4,00							5	3	4,00
	90 cm		7,00								7	7	7,00
SST (mg/L)	15 cm				495,00	312,00	362,00				495	312	389,67
	30 cm				568,00	248,00	250,00				568	248	355,33
	45 cm				341,00	374,00	226,00				374	226	313,67
	60 cm				318,00	192,00					318	192	255,00
	75 cm				204,00	214,00					214	204	209,00
	90 cm				179,00						179	179	179,00
Nitrito (mg/L)	15 cm				0,00	0,00					0	0	0,00
	30 cm				0,00	0,00					0	0	0,00
	45 cm				0,00	0,00					0	0	0,00
	60 cm				0,00	0,00					0	0	0,00
	75 cm				0,00	0,00					0	0	0,00
	90 cm				0,00	0,00					0	0	0,00
Nitrito (mg/L)	15 cm				2,37	1,75					2,37	1,75	2,06
	30 cm				2,43	1,87					2,43	1,87	2,15
	45 cm				2,63	1,32					2,63	1,32	1,98
	60 cm				2,58	1,86					2,58	1,86	2,22
	75 cm				2,25	1,73					2,25	1,73	1,99
	90 cm				2,54	1,85					2,54	1,85	2,20

No Gráfico 5.1, pode ser observada a variação do pH nos eventos analisados. Cada evento possui uma faixa de valores característica. De forma geral, o valor mínimo foi de 5,09, encontrando-se na faixa ácida e, o valor máximo foi de 8,3, situado na faixa básica.

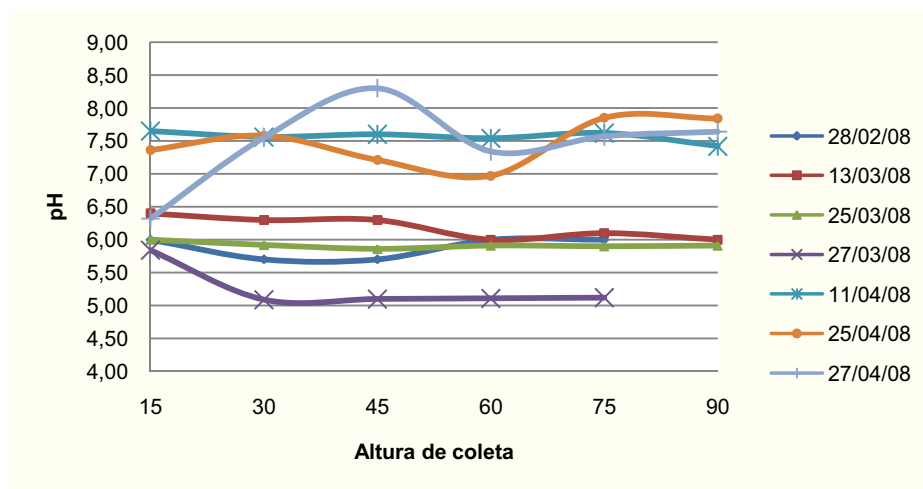


Gráfico 5.1 – Variação do pH na coleta no exutório.

No que se refere a condutividade elétrica, os valores ficaram compreendidos na faixa de 120,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 410,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O gráfico 5.2 ilustra essa variação ao longo dos eventos analisados. Para a condutividade elétrica, com base nas curvas $M(V)$ apresentadas no Gráfico 5.3, foi detectada a ocorrência do fenômeno do first flush em 03 eventos, dos 06 analisados. Nestes eventos, a curva $M(V)$ situou-se acima do bissetor do gráfico, com afastamentos apresentados na tabela 5.2. A maior remoção detectada foi no evento do dia 25/03/08, cuja proporção de remoção da massa foi de 38,06%, nos primeiros 30% do volume.

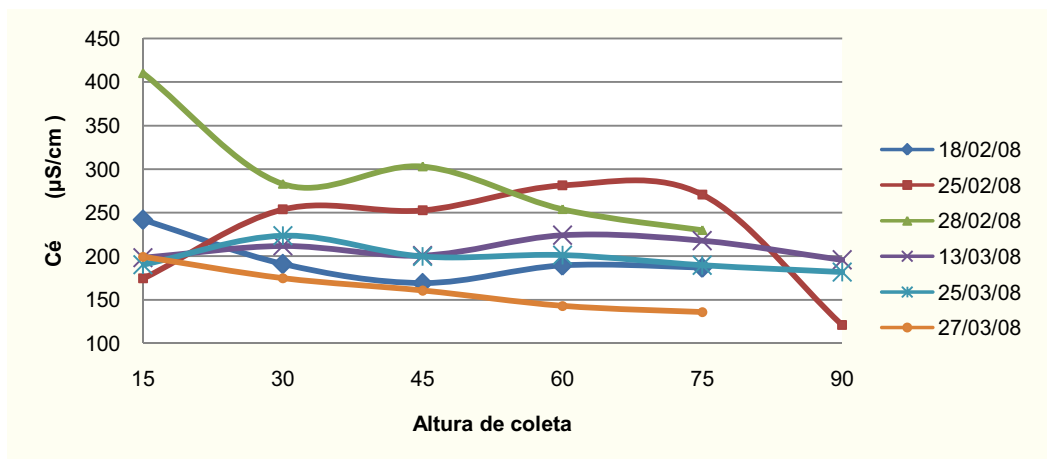


Gráfico 5.2 – Variação da Condutividade elétrica na coleta no exutório.

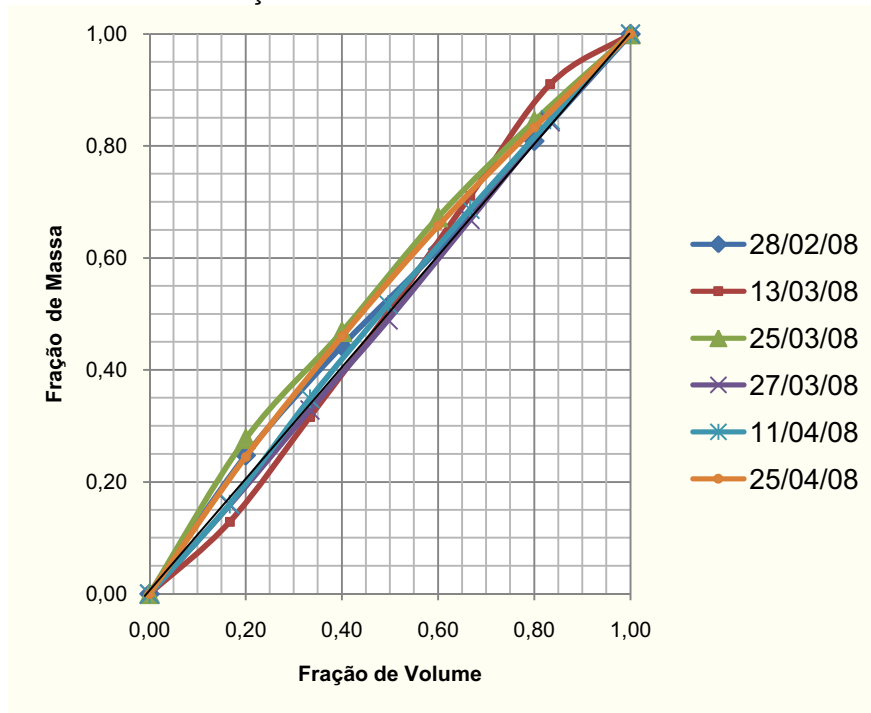


Gráfico 5.3 – Curva $M(V)$ da Condutividade Elétrica na coleta no exutório.

Tabela 5.2. Dados da Curva M(V) da Condutividade elétrica.

Data do Evento	Afastamento da curva ao bissetor	Proporção de remoção % Massa / 30 %Volume
28/02/08	0,1375	34,72
25/03/08	0,1945	38,06
25/04/05	0,1259	35,31

A cor apresentou variação entre 7,16 Unidades de cor até 77 Unidades de Cor. A variação ao longo do evento pode ser observada no Gráfico 5.4. Quanto às análises das curvas M(V) obtidas para a Cor (Gráfico 5.5), foi verificado que ocorreu first flush apenas nos 04 últimos eventos analisados (Ver Tabela 5.3). A ocorrência com maior intensidade foi detectada no evento do dia 11/04/08, com uma proporção de remoção de 42% de massa nos primeiros 30% do volume.

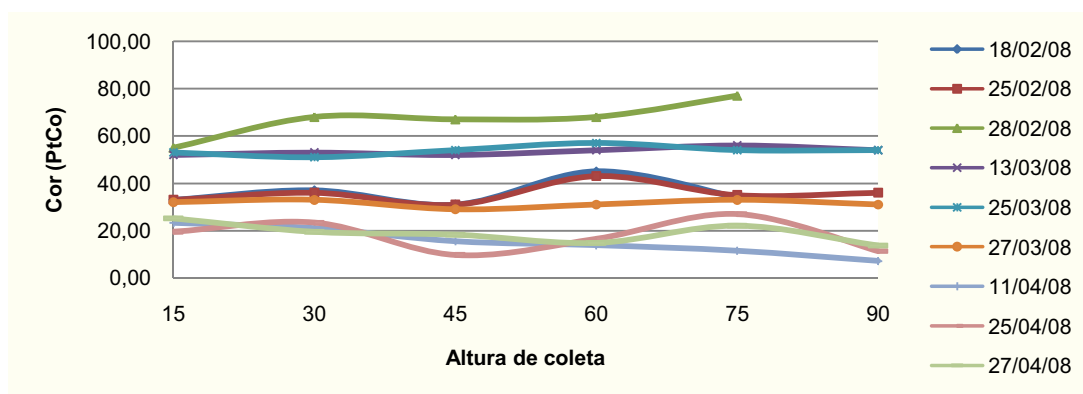


Gráfico 5.4 – Variação da Cor na coleta no exutório.

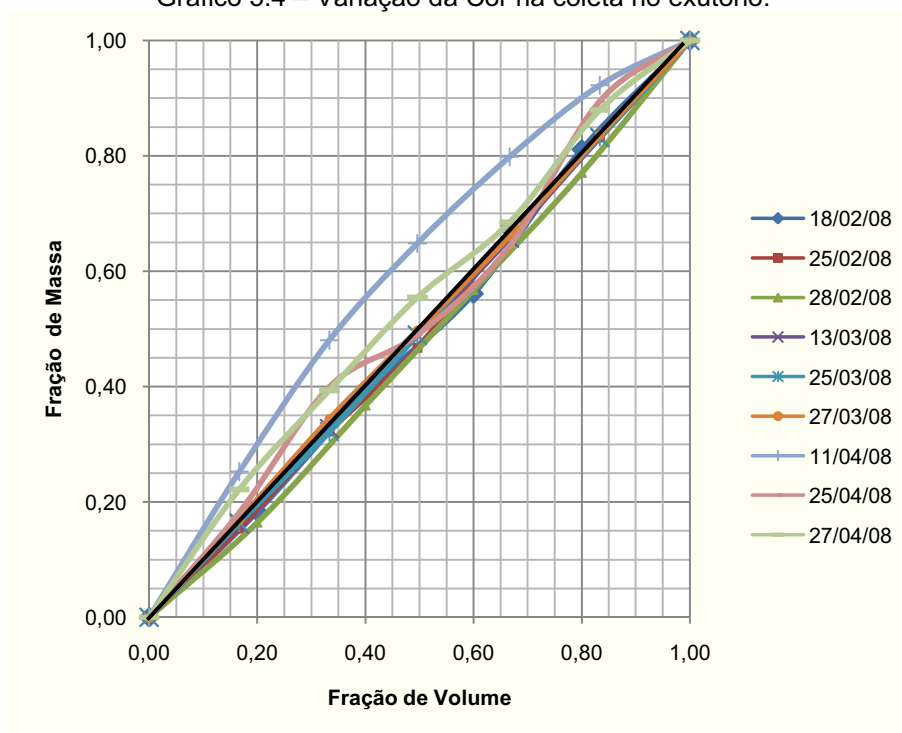


Gráfico 5.5 – Curva M(V) da Cor na coleta no exutório.

Tabela 5.3. Dados da Curva M(V) da Cor.

Data do Evento	Afastamento da curva ao bissetor	Proporção de remoção % Massa / 30 %Volume
27/03/08	0,0137	30,43
11/04/08	0,2266	42,00
25/04/08	0,0637	32,51
27/04/05	0,1569	36,17

A turbidez apresenta comportamento uniforme ao longo de cada evento. No entanto, cada um possui uma faixa de variação própria, nas quais os valores se encontram inferiores a 100 UT, exceto para o evento do dia 18/02/2008, com observado no Gráfico 5.6. Os valores podem estar relacionados com a maior quantidade de dias secos que antecedam o evento do dia 18/02/08, que foi de 15 dias secos. Enquanto que, para os outros eventos, esse período foi de 03 dias.

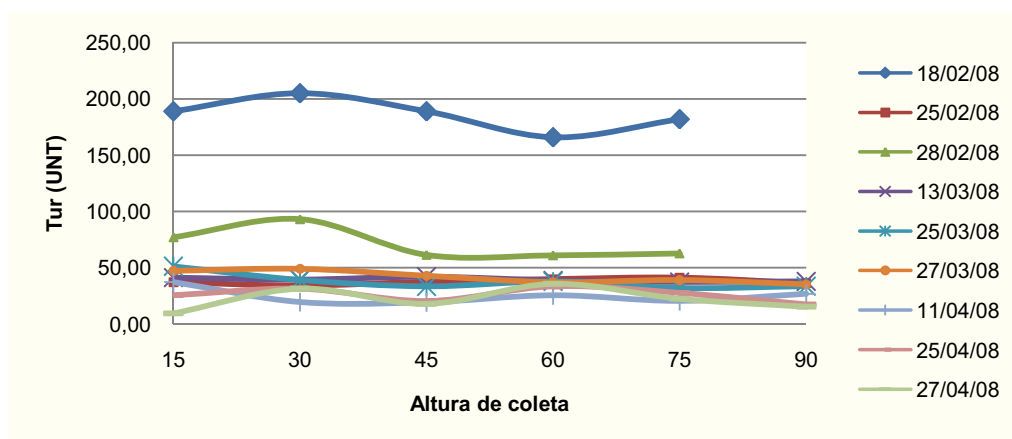


Gráfico 5.6 – Variação da Turbidez na coleta no exutório.

As curvas M(V) para a Turbidez (Gráfico 5.7) na maioria dos eventos analisados apresentou-se acima do bissetor, exceto nos eventos dos dias 25 e 27/04/08. Os afastamentos das curvas M(V) e a proporção da remoção de massa encontram-se na Tabela 5.4. A ocorrência com maior intensidade foi detectada no evento do dia 11/04/08, com uma proporção de remoção de 37,05% de massa nos primeiros 30% do volume, ocorrida no evento de 11/04/08.

Tabela 5.4. Dados da Curva M(V) da Turbidez.

Data do Evento	Afastamento da curva ao bissetor	Proporção de remoção % Massa / 30 %Volume
18/02/08	0,0128	30,94
28/02/08	0,0624	33,45
13/03/08	0,0213	31,05
25/03/05	0,1696	36,51
27/03/05	0,0734	33,64
11/04/05	0,2274	37,05

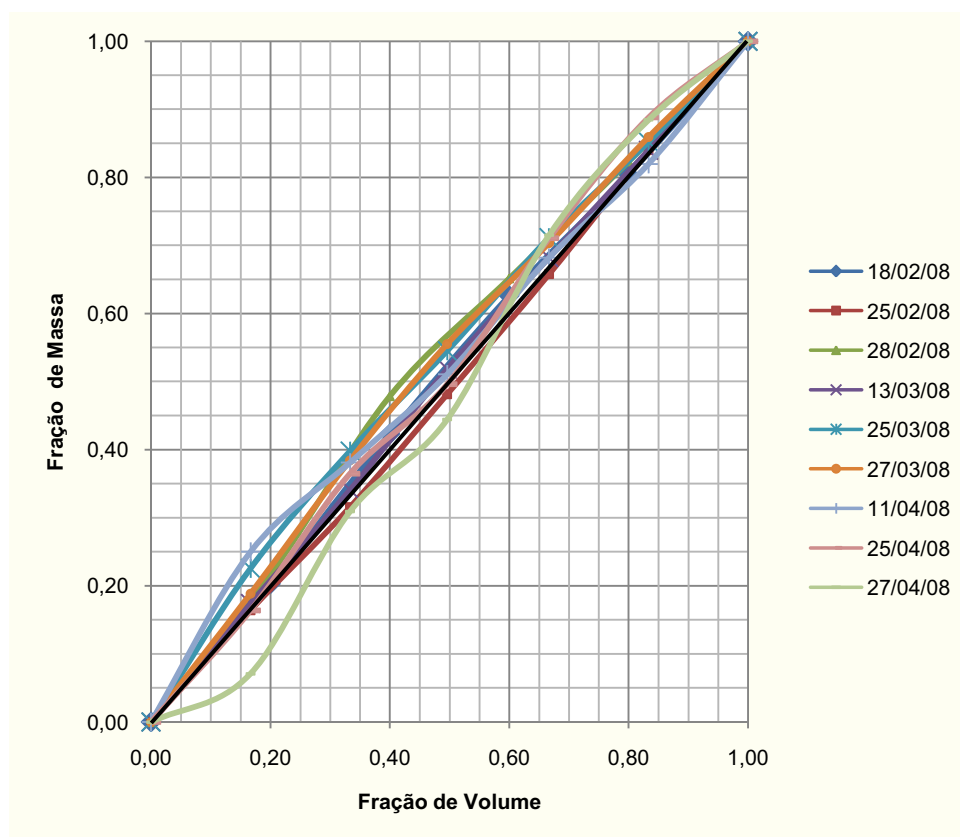


Gráfico 5.7 – Curva M(V) da Turbidez na coleta no exutório.

A DQO apresentou valores entre 24 mg/L até 417,60 mg/L, o que reforça o predito na literatura, sobre a variação entre os eventos de precipitação. O Gráfico 5.8 apresenta os diversos comportamentos da concentração de DQO ao longo dos eventos no período estudado. Destaca-se o comportamento da variação da qualidade da água no evento do dia 13/03/08, no qual ocorre um pico de concentração de DQO e em seguida, sua redução.

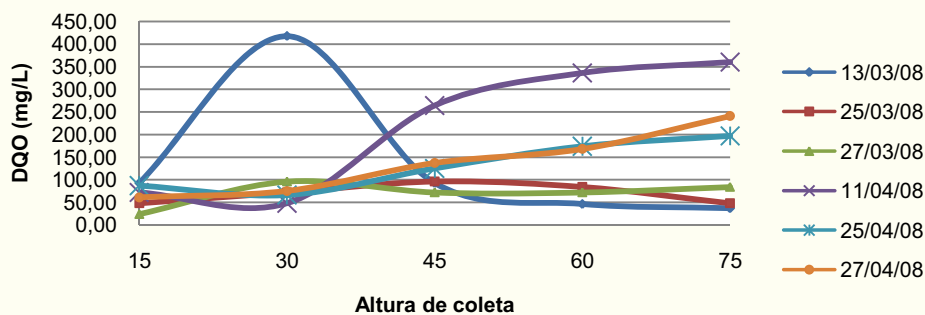


Gráfico 5.8 – Variação da DQO na coleta no exutório.

No que se refere às curvas $M(V)$ para a DQO (Gráfico 5.9) dos 06 eventos analisados, tem-se que a aplicação da curva de regressão de potência proposta indica que todas as curvas estão situadas abaixo do bissetor do gráfico. Desta forma, não seria detectada a ocorrência do fenômeno do first flush em nenhum dos eventos para DQO. No entanto, visivelmente é perceptível que a curva $M(V)$ do evento do dia 13/03/08, possui um trecho acima do bissetor do gráfico, do qual se pode aferir que a remoção da massa é superior aos 45 % nos primeiros 30 % do volume. Para esta referida curva, o coeficiente de determinação R^2 é igual a 0,8195, logo a aplicação da regressão para esta curva não deve ser considerada pois $R^2 < 0,90$. Sendo, portanto, considerada a ocorrência do first flush nesse evento.

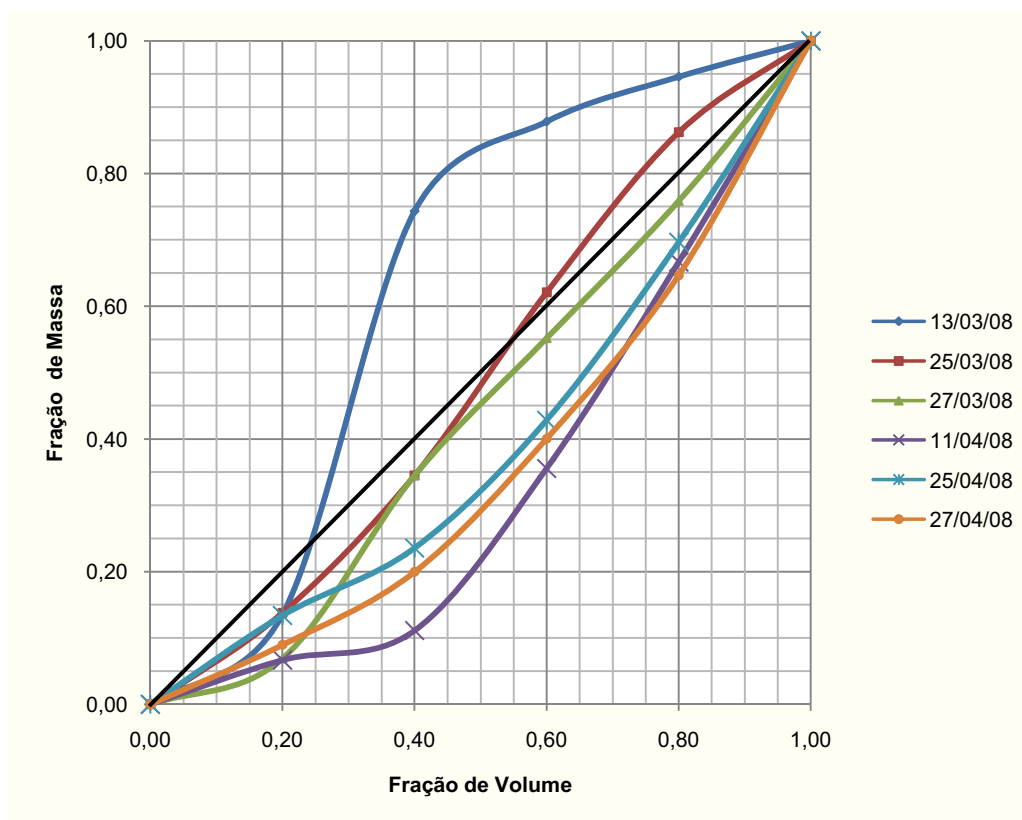


Gráfico 5.9 – Curva $M(V)$ da DQO na coleta no exutório.

Para os sólidos sedimentáveis foram também analisados três eventos a faixa de valores encontrados foi 1 mL/L até 12 mL/L, conforme apresentado no Gráfico 5.10. Nas variações apresentadas nos eventos dos dias 25 e 28/02/08 percebe-se uma queda na quantidade de sólidos no entre duas primeiras parcelas do volume analisado. Na variação do dia 13/03/08, não existe essa queda da quantidade dos sólidos sedimentáveis.

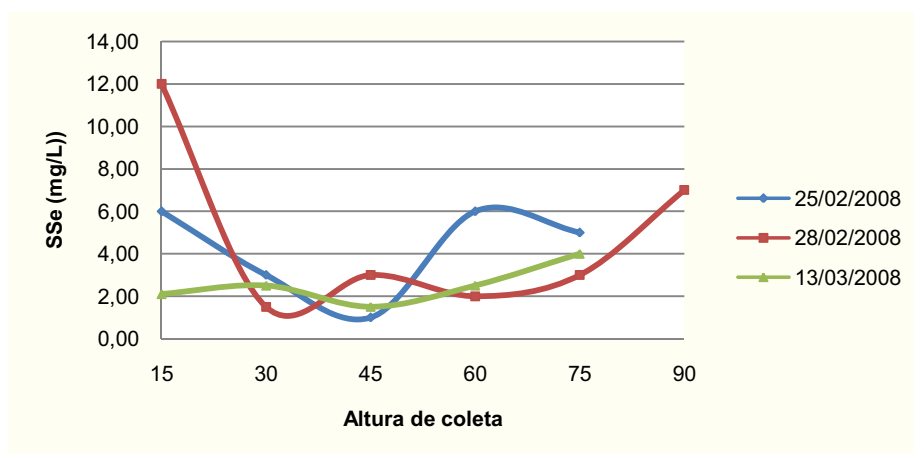


Gráfico 5.10 – Variação dos Sólidos Sedimentáveis na coleta no exutório.

O comportamento da variação da qualidade ao longo do evento é refletivo na configuração das suas respectivas curvas $M(V)$, como pode ser observado no Gráfico 5.11. Ocorreu first flush apenas nos eventos dos dias 25 e 28/02/08. Em relação ao dia 25/02/08, o afastamento da curva foi de 0,2558, atingindo um proporção de remoção de 35,57% de massa nos primeiros 30% do volume. No evento de 28/02/08, o fenômeno ocorreu em maior intensidade, cujo afastamento da curva foi de 0,5537. O coeficiente de determinação R^2 foi igual a 0,8812, como $R^2 < 0,90$, não pode ser aplicada a equação da regressão. No entanto, graficamente é perceptível que uma parcela maior de que 45 % de massa foram carreadas nos primeiros 30% do volume.

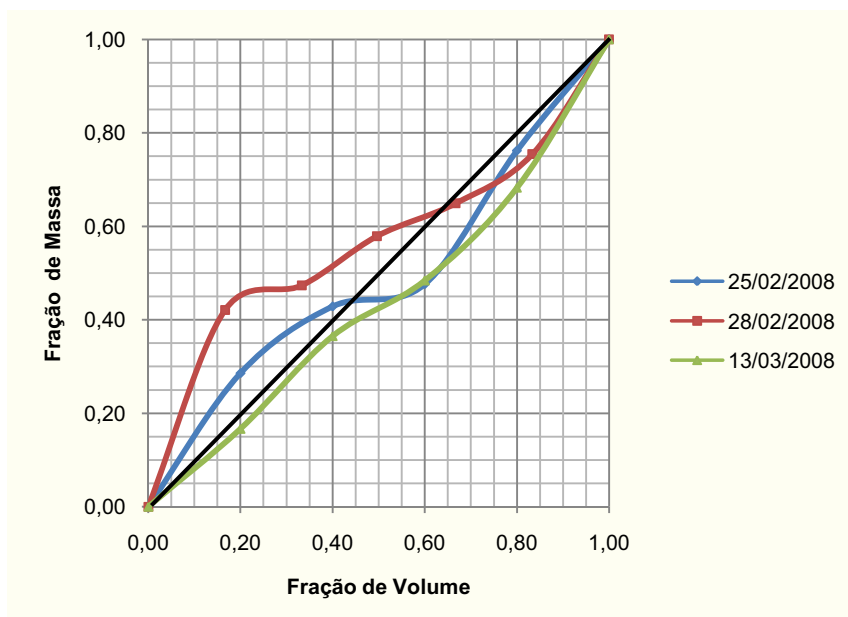


Gráfico 5.11 – Curva M(V) dos Sólidos Sedimentáveis na coleta no exutório.

A variação dos sólidos totais ao longo dos eventos estudados está apresentada no Gráfico 5.12. A concentração mínima foi de 179 mg/L e máxima de 568 mg/L. A partir da análise das curvas M(V) para os sólidos totais (Gráfico 5.13), tem-se que ocorreu first flush nos 03 eventos estudados, ocorrendo em maior intensidade no evento do dia 25/02/08, com uma proporção de 41,59% da massa sendo removido nos primeiros 30% do volume (Ver Tabela 5.5).

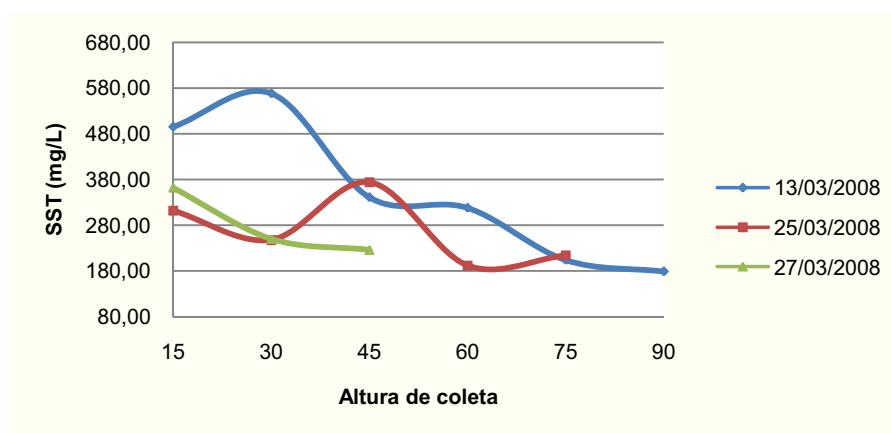


Gráfico 5.12 – Variação dos Sólidos Totais na coleta no exutório.

Tabela 5.5. Dados da Curva M(V) da Condutividade elétrica.

Data do Evento	Afastamento da curva ao bissetor	Proporção de remoção % Massa / 30 %Volume
25/02/08	0,1993	41,59
28/02/08	0,071	33,76
13/03/05	0,2367	38,92

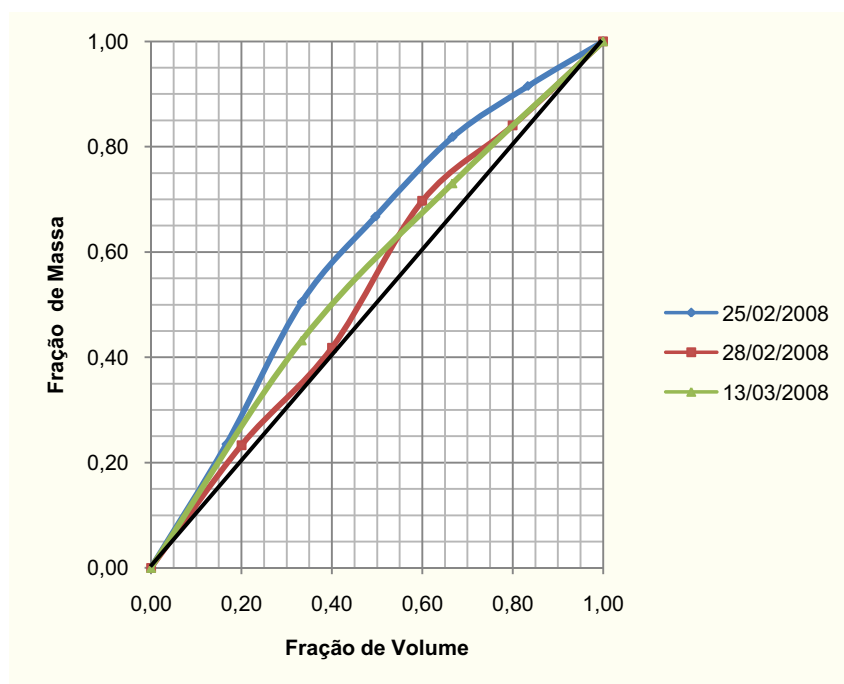


Gráfico 5.13 – Curva M(V) dos Sólidos Totais na coleta no exutório.

Em relação à presença do nitrogênio, foram feitas análises em apenas dois eventos. Para o nitrato, a variação de concentrações por eventos encontram-se no Gráfico 5.14. O valor máximo detectado foi de 2,63 mg/L e o mínimo de 1,32 mg/L. O valores de nitrito medidos foram iguais a zero em ambos os eventos dos dias 13/03/08 e 25/03/08. Conforme Gráfico 5.15, a curva M(V) do dia 13/03/08 situou-se abaixo do bisetor, logo, não ocorreu o first flush, o que é condizente com a pouca variação apresentada ao longo do evento. A curva M(V) do dia 25/03/08, apresentou-se acima do bisetor com um afastamento pequeno da ordem de 0,0193, refletindo a parcela de remoção de 30,21 % da massa nos primeiros 30% do volume.

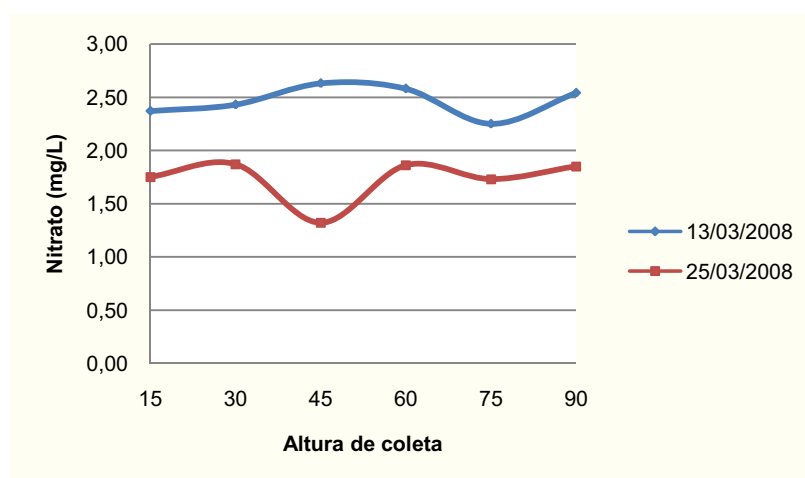


Gráfico 5.14 – Variação do Nitrato na coleta no exutório.

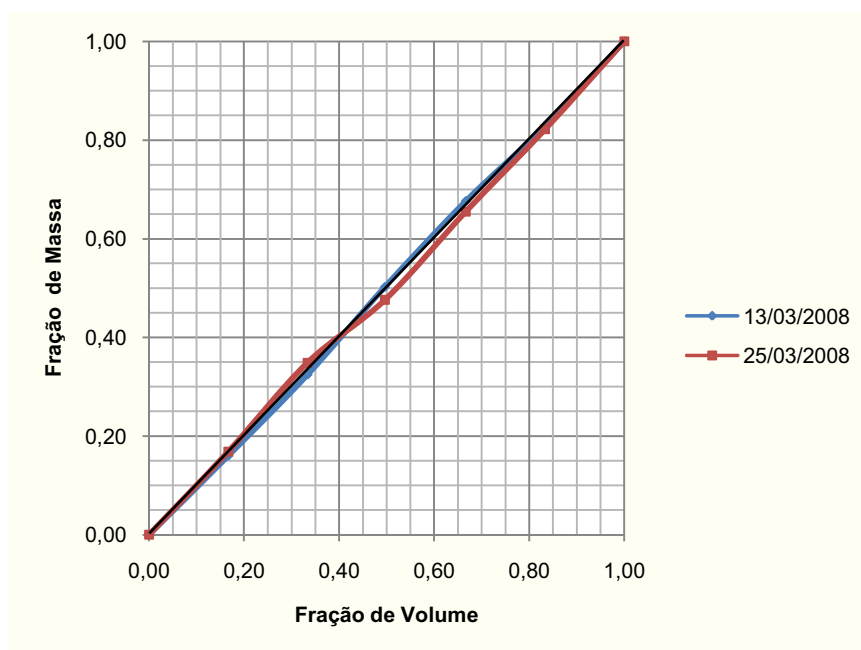


Gráfico 5.15 – Curva M(V) do Nitrato na coleta no exutório.

De modo geral, todos os parâmetros analisados nesta fase apresentaram ocorrência do first flush. Contudo, em eventos isolados e em intensidades diferentes. A intensidade variou no estudo de um mesmo parâmetro e entre todos os estudados. Na Tabela 5.6, apresenta-se um quadro geral da ocorrência deste fenômeno. Ainda que o evento do dia 11/04/08 não tenha apresentado first flush para a DQO, destaca-se como o evento que apresentou as maiores remoções de Cor e turbidez.

Tabela 5.6. Ocorrência do first flush na fase 1.

Data Do Evento	Parâmetros						
	CE	Cor	Tub.	DQO	SSe	ST	NO ₃
18/02/08	Sim	Não	Sim	-	-	-	-
25/02/08	Não	Não	Não	-	Sim	Sim	-
28/02/05	Não	Não	Sim	-	Sim	Sim	-
13/03/08	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não
25/03/08	Não	Não	Sim	Não	-	-	Sim
27/03/08	Sim	Sim	Sim	Não	-	-	-
11/04/08	-	Sim	Sim	Não	-	-	-
25/04/08	-	Sim	Sim	Não	-	-	-
27/04/08	-	Sim	Não	Não	-	-	-

5.2 Coleta no Exutório da bacia M com amostrador automático – Fase 02

Para apresentação e discussão dos resultados da fase 2, é necessário mencionar que nos eventos em que houve coletas, não foi possível obter os tempos ideais de separação das primeiras águas, das demais com qualidade superior, satisfatoriamente identificado (Gráfico 5.16). Isso gerou medições da qualidade da água com precipitação nula.

Essa dificuldade no monitoramento ocorreu, principalmente, em razão da ausência de um sensor medidor de vazão que acompanhasse o amostrador automático adquirido pelo projeto. O referido acessório permitiria o acionamento automático do equipamento no início da precipitação e eliminaria as falhas da programação preditiva. Apesar desta interferência inicial, a utilização do amostrador automático permite traçar os polutogramas dos eventos estudados, como pode ser observados no Gráfico 5.16.

Na utilização dos amostradores, foi detectado que no mesmo evento, para alguns parâmetros, os resultados obtidos no exutório com o emprego do amostrador automático foram inferiores aos obtidos nos pontos de coleta espalhados na área de drenagem. Esta ocorrência ocorreu nos parâmetros Condutividade Elétrica, Cor e Turbidez. Nas datas: 24/06/2008, 02/07/2008 e 09/07/2008.

Essa diferença pode estar relacionada ao diferente modo de coleta empregado. Nas superfícies das bacias, tem-se a área de captação da entrada do coletor é de 78,53 cm² e volume armazenado é superior a 3 Litros (Amostradores Compostos e simples), já nos amostradores automáticos o volume máximo por garrafa é de 1,00 Litro. No exutório, a entrada da água é feita por uma sucção dotada de crivo e localiza-se em um trecho de contínuo movimento, impedindo de captar sólidos que, porventura, venham a alterar a característica da qualidade da água do escoamento superficial. Desta forma, o emprego do amostrador automático está condicionado à escolha adequada do local do ponto de sucção, além, é claro, da determinação do início da coleta vinculada ao início do evento de precipitação e seu término.

Evento do dia 17-06-2008

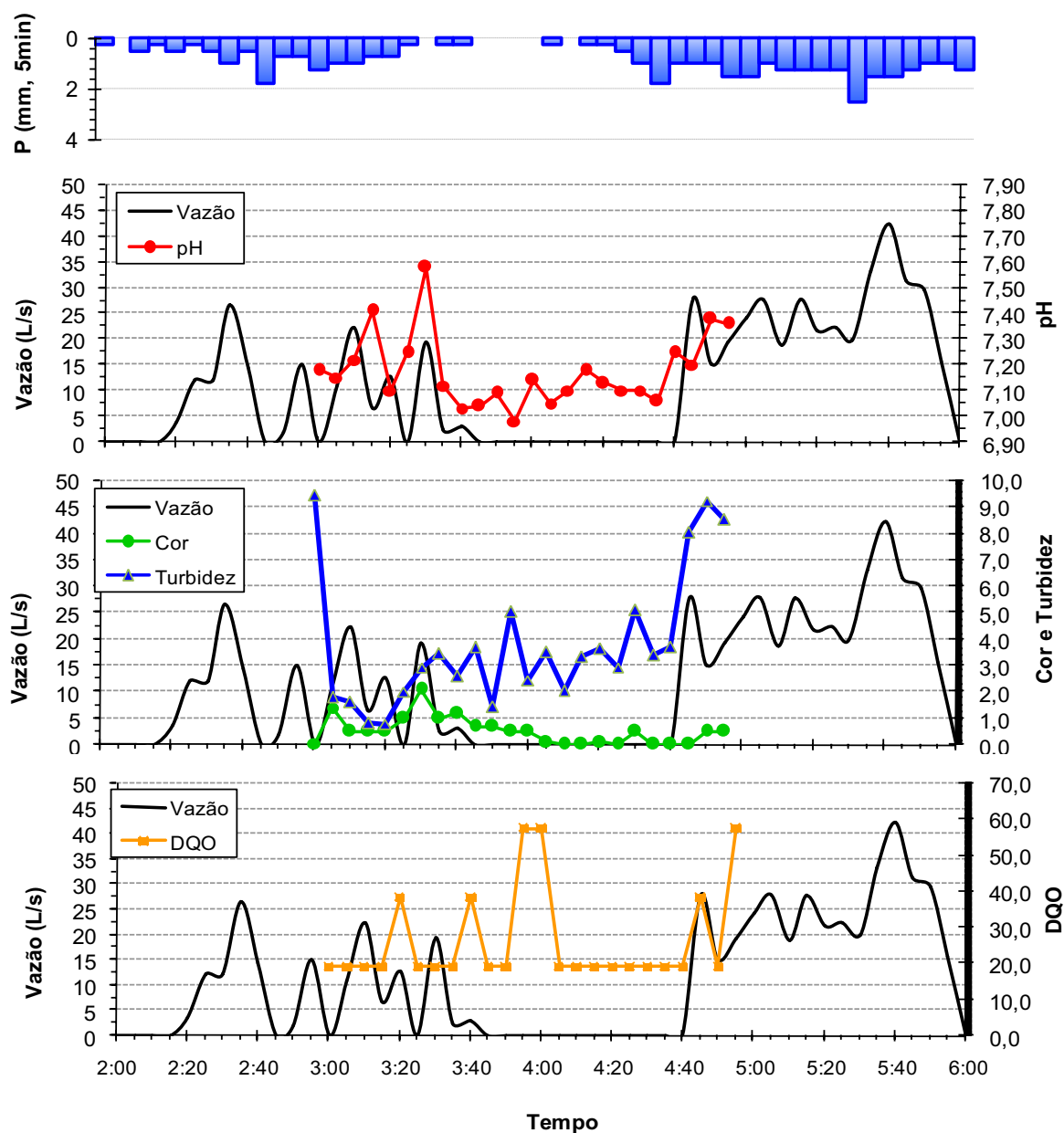


Gráfico 5.16. Polutograma “Multi-variáveis” – Evento do dia 17.06.08.

5.3 Coleta na área de Drenagem das bacias M e C – Fase 03

Os resultados da Fase 03 envolvem dois tipos de amostragem empregados na superfície da bacia de drenagem, a simples e a composta. Sendo, portanto abordados nos subitens a seguir.

5.3.1 Coleta na área de Drenagem das bacias M e C– Amostradores Simples

Para os amostradores simples, os resultados estão apresentados na Tabela 5.7, compreendendo dados das bacias M e C. Não estão apresentados os valores dos pontos M3 e C3 devido a problemas apresentados ao longo das coletas, no sentido de entupimento e acessos aos abrigos dos amostradores. As inclusões desses dados geravam quantidade de eventos diferentes para análises dos parâmetros estudados, o que poderia prejudicar a comparação entre os demais dados coletados.

Tabela 5.7. Resultado das Análises para a Fase 01 nos Amostradores Simples.

Parâmetro	Ponto	Número de Eventos	Média	Mediana	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão
pH	C1	11,00	7,30	7,15	8,68	6,87	0,52
	C2	11,00	7,22	7,12	8,58	6,55	0,57
	C4	11,00	7,09	7,02	8,20	6,63	0,41
	M2	11,00	7,20	7,16	7,83	6,80	0,32
Cé (µS/cm)	C1	9,00	164,33	179,51	316,19	7,06	90,18
	C2	9,00	76,50	58,90	137,33	33,68	39,90
	C4	9,00	184,25	161,10	431,20	89,00	101,99
	M2	9,00	148,58	137,30	390,80	57,92	97,43
Cor (PtCo)	C1	12,00	41,65	23,55	229,00	3,80	62,06
	C2	12,00	21,23	15,50	53,00	2,20	15,95
	C4	12,00	23,39	15,75	61,00	9,40	17,58
	M2	12,00	19,48	11,05	75,00	3,80	21,28
Tur (UNT)	C1	9,00	25,78	19,60	77,00	11,30	20,87
	C2	9,00	15,17	13,20	30,80	5,30	7,55
	C4	8,00	14,13	11,75	27,00	7,11	6,93
	M2	9,00	15,82	16,10	23,00	7,00	5,48
DQO (mg/L)	C1	7,00	178,87	85,20	768,62	26,92	261,84
	C2	7,00	63,69	42,20	195,31	15,38	59,92
	C4	7,00	179,91	92,31	776,47	19,20	266,22
	M2	7,00	58,00	31,25	133,33	10,40	49,78

Parâmetro	Ponto	Número de Eventos	Média	Mediana	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão
S _{Se} (mL/L)	C1	5,00	59,00	13,00	250,00	7,00	106,82
	C2	5,00	34,00	26,00	100,00	5,00	38,41
	C4	5,00	9,00	7,00	21,00	0,00	7,78
	M2	5,00	11,60	9,00	23,00	1,00	9,94
S _{ST} (mg/L)	C1	6,00	1813,83	580,50	8490,00	10,00	-
	C2	6,00	206,50	191,50	573,00	8,00	205,21
	C4	6,00	465,00	440,00	1120,00	21,00	428,66
	M2	6,00	311,33	244,50	930,00	8,00	344,41
Amônia (mg/L)	C1	5,00	1,44	0,48	3,36	0,07	1,67
	C2	5,00	0,80	0,20	2,91	0,00	1,22
	C4	5,00	1,05	0,55	2,94	0,07	1,17
	M2	5,00	0,50	0,07	2,21	0,00	0,96
Nitrito (mg/L)	C1	5,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,01
	C2	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C4	5,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,01
	M2	5,00	0,03	0,03	0,08	0,00	0,03
Nitrato (mg/L)	C1	5,00	0,09	0,13	0,14	0,00	0,06
	C2	5,00	0,11	0,11	0,14	0,06	0,03
	C4	5,00	0,07	0,09	0,12	0,02	0,04
	M2	5,00	0,25	0,31	0,41	0,06	0,16
Fósforo (mg/L)	C1	7,00	0,22	0,25	0,40	0,03	0,13
	C2	7,00	0,20	0,18	0,37	0,07	0,10
	C4	7,00	0,64	0,31	2,23	0,14	0,74
	M2	7,00	0,38	0,31	0,89	0,17	0,25
Ortofosfato (mg/L)	C1	7,00	0,05	0,01	0,23	0,00	0,08
	C2	7,00	0,03	0,03	0,06	0,00	0,02
	C4	7,00	0,29	0,08	1,27	0,00	0,45
	M2	7,00	0,23	0,17	0,61	0,04	0,21
Cloreto (mg/L)	C1	7,00	25,30	11,86	86,66	6,26	29,00
	C2	7,00	13,94	10,83	31,98	3,61	10,96
	C4	7,00	15,35	17,02	29,40	4,17	10,04
	M2	7,00	11,10	9,28	26,82	4,13	7,94
Sulfato (mg/L)	C1	7,00	13,06	10,29	46,49	0,00	15,39
	C2	7,00	3,68	1,82	16,20	0,00	5,64
	C4	7,00	6,27	4,22	14,83	0,00	5,53
	M2	7,00	5,66	6,48	9,14	0,00	3,31
Alcalinidade (mg/L)	C1	7,00	84,56	60,76	235,65	18,62	75,22
	C2	7,00	35,10	16,92	82,25	7,84	30,29
	C4	7,00	47,80	40,42	103,40	14,70	28,80
	M2	7,00	46,98	24,44	93,10	18,62	31,79

Parâmetro	Ponto	Número de Eventos	Média	Mediana	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão
Cálcio (mg/L)	C1	6,00	31,95	30,99	58,92	8,06	16,35
	C2	6,00	13,75	11,68	28,95	2,77	10,47
	C4	6,00	24,68	24,13	45,72	6,05	12,66
	M2	6,00	16,40	12,96	36,06	7,05	11,28
Magnésio (mg/L)	C1	6,00	8,52	7,50	17,10	1,06	5,58
	C2	6,00	2,90	2,79	6,30	1,04	1,90
	M2	6,00	3,58	2,64	7,80	0,89	2,65
Sódio (mg/L)	C1	6,00	15,25	4,25	42,00	0,00	19,28
	C2	6,00	4,73	4,25	11,50	0,00	4,00
	C4	6,00	2,90	4,00	5,00	0,00	2,28
Potássio (mg/L)	C1	5,00	4,00	0,00	11,00	0,00	5,52
	C2	5,00	0,60	0,00	2,00	0,00	0,89
	C4	5,00	0,20	0,00	1,00	0,00	0,45
	M2	5,00	0,20	0,00	1,00	0,00	0,45

Os valores médios de pH apresentaram variação, conforme apresentados no Gráfico 5.17. O maior valor de pH foi detectado na bacia C, no ponto C1. A bacia M, representada pelo ponto M2, apresentou valores entre 6,80 e 7,83.

Quanto à condutividade elétrica, o comportamento não apresenta diferença significativa entre as bacias, destaca-se o maior valor médio para o ponto C4, seguido pelos valores de C1 e o menor para o ponto C2, como pode ser observado no Gráfico 5.18. O valor do ponto M2 apresentou valor médio de 148,58 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

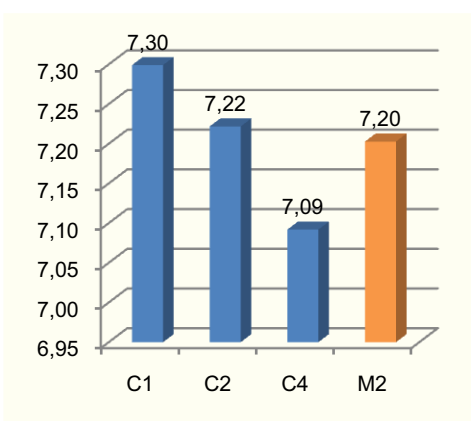


Gráfico 5.17 – Valores Médios do pH para os Amostradores Simples.

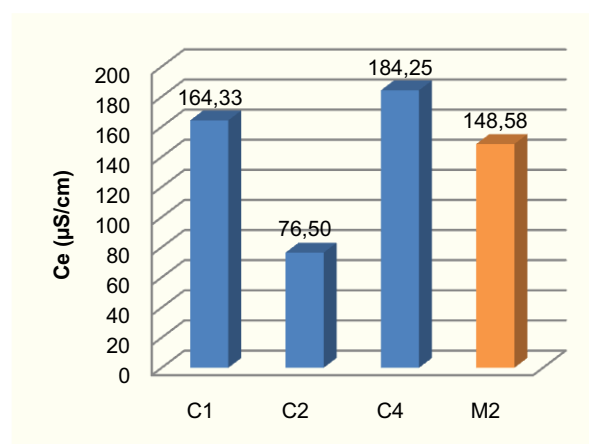


Gráfico 5.18 – Valores Médios da Condutividade Elétrica para os Amostradores Simples.

A comparação entre os parâmetros de Cor e Turbidez pode ser observada nos Gráficos 5.19 e 5.20, respectivamente. Quanto a Cor, a bacia M apresentou valor médio inferior aos da Bacia C. Na bacia C, os maiores valores foram encontrados no ponto C1, seguidos dos pontos C4 e C2. Quanto à Turbidez, a maior concentração na bacia C, é no ponto C1, seguidos pelos pontos C2 e C4. Na bacia M, o valor médio obtido foi de 15,82 UNT.

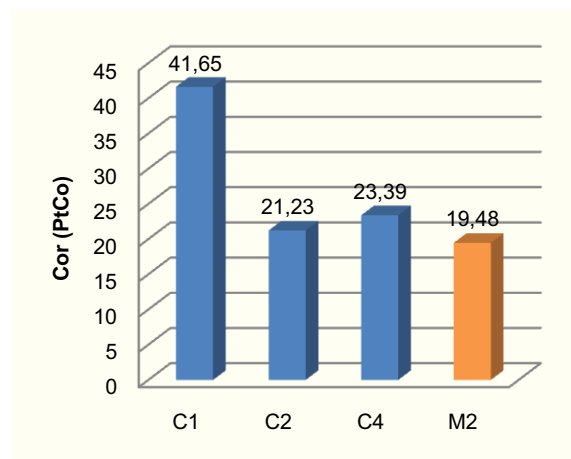


Gráfico 5.19 – Valores Médios da Cor para os Amostradores Simples.

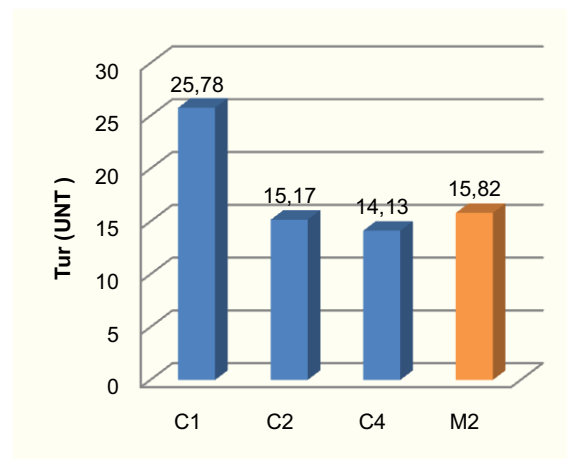


Gráfico 5.20 – Valores Médios da Condutividade Elétrica para os Amostradores Simples.

No Gráfico 5.21, podem ser observadas as concentrações médias da DQO encontradas nas duas bacias estudadas. Com valores médios próximos, o ponto C4 teve o maior deles, seguidos pelos pontos C1 e C2. O valor apresentado no ponto C2 difere significativamente dos demais na bacia C. Já na bacia M, o valor médio atingido foi de 58 mg/L.

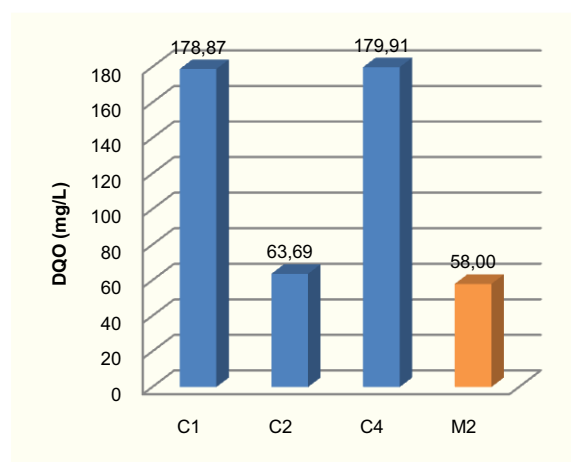


Gráfico 5.21 – Valores Médios da DQO para os Amostradores Simples.

Quanto aos Sólidos Sedimentáveis e aos Sólidos Totais, os valores médios estão apresentados nos Gráficos 5.22 e 5.23, respectivamente. Em ambos indicadores, o ponto C1 apresentou os maiores valores médio. Na bacia M, foi calculado o valor médio de sólidos sedimentáveis de 11,60 mL/L, superior apenas ao ponto C4 da bacia C. O valor médio de sólidos totais calculado na bacia M foi de 311mg/L, superior apenas ao ponto C2 da bacia C.

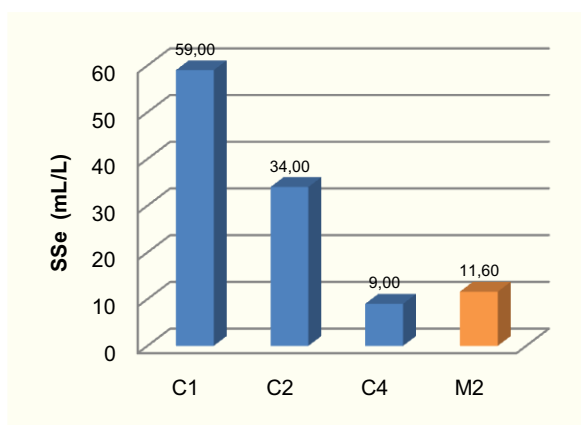


Gráfico 5.22 – Valores Médios dos Sólidos Sedimentáveis para os Amostradores Simples.

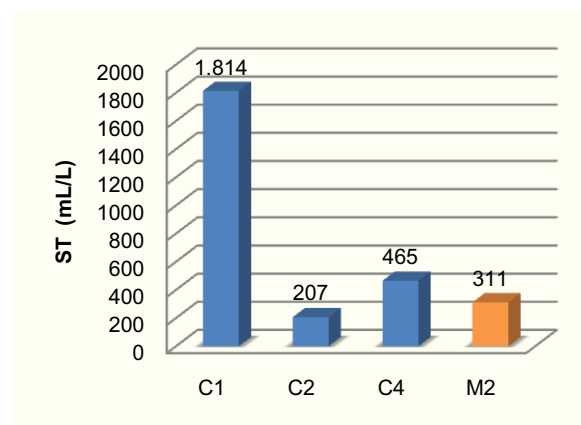


Gráfico 5.23 – Valores Médios dos Sólidos Totais para os Amostradores Simples.

Quanto aos nutrientes, foram avaliados o nitrogênio e fósforo. O gráfico 5.24 apresenta os resultados das análises de nitrogênio nas formas de amônia, nitrito e nitrato. O nitrito praticamente não foi detectado na maioria dos eventos analisados. O ponto C1 apresentou os maiores valores de concentração de amônia, comparando os valores das duas bacias. Quanto ao nitrato, na bacia C os valores médio não diferem significativamente, variando de 0,07 a 0,11 mg/L. O ponto M2 apresentou concentração média de nitrato de 0,25 mg/L, maior valor que os pontos da bacia C.

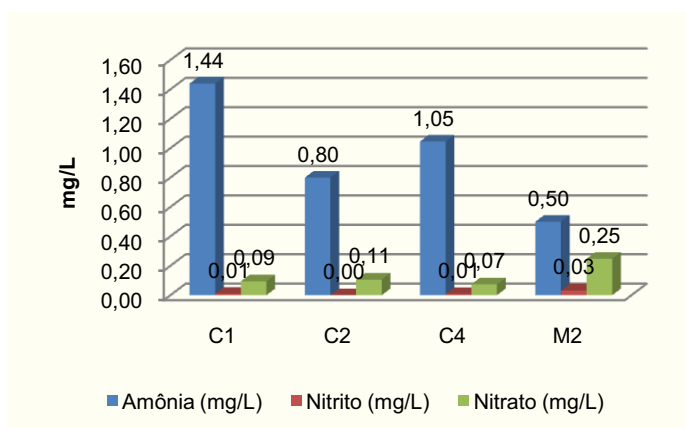


Gráfico 5.24 – Valores Médios de Nitrogênio na forma de Amônia, Nitrito e Nitrato para os Amostradores Simples.

Quanto ao fósforo total e ortofosfato, a variação foi semelhante para os dois parâmetros, com esperado. As concentrações médias nos pontos analisados estão apresentadas no Gráfico 5.25, do qual podemos observar que a concentração máxima na bacia C foi no ponto C4. As concentrações nos pontos C1 e C2, não diferem significativamente entre si, mas ambas diferem do ponto C4. A bacia M apresentou valor médio de 0,38 mg/L de Fósforo Total e 0,23 mg/L de Ortofosfato.

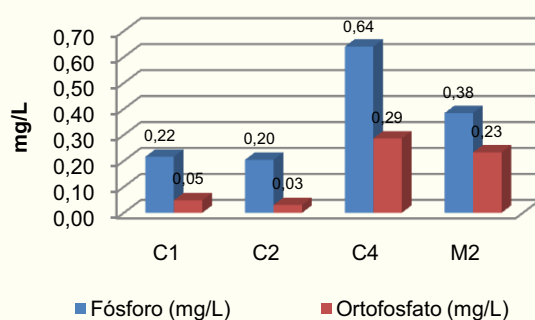


Gráfico 5.25 – Valores Médios do Fósforo Total e Ortofosfato para os Amostradores Simples.

Quanto à alcalinidade, os maiores valores foram detectados no ponto C1, seguidos pelos pontos C4 e C2. A bacia M, apresentou valor médio de 46,98 mg/L de alcalinidade, sendo superior apenas ao ponto C2, como pode ser observado no Gráfico 5.26.

Foi detectada a presença de cloretos e sulfatos, já esperada devido à localização da área do estudo ser em uma cidade litorânea. Novamente, o ponto C1 apresentou os maiores valores na concentração de Cloretos e Sulfatos, seguidos pelos pontos C4 e C2. Na bacia M, o valor médio foi de 11,10 mg/L de Cloretos, sendo inferior aos valores detectados na bacia C. A variação das concentrações média pode ser observada no Gráfico 5.27.

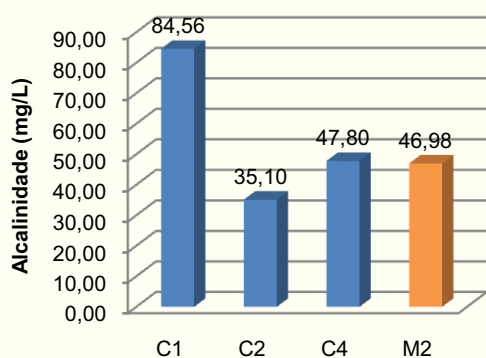


Gráfico 5.26 – Valores Médios da Alcalinidade para os Amostradores Simples.

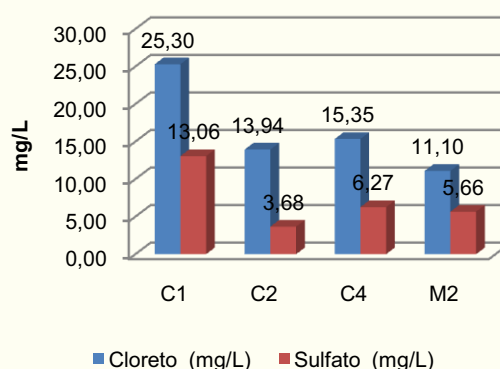


Gráfico 5.27 – Valores Médios de Cloreto e Sulfato para os Amostradores Simples.

As concentrações dos íons presentes na água e da alcalinidade encontram-se apresentadas no Gráfico 5.28. Para o Cálcio, tem-se que: Na bacia C, o ponto que apresentou maior valor médio de concentração foi o ponto C1, seguido pelo ponto C4 e C2. Na bacia M, a concentração média foi de 16,40 mg/L. Inferior aos pontos C1 e C4. Para o Magnésio, tem-se que: Na bacia C, o ponto que apresentou maior valor médio de concentração foi o ponto C1, seguido pelo ponto C2. Não foi detectado no ponto C4. Na bacia M, a concentração média foi de 3,58 mg/L, inferior apenas ao ponto C1. Para o Sódio, tem-se que: Na bacia C, o ponto que apresentou maior valor médio de concentração foi o ponto C1, seguido pelo ponto C2 e C4. Não detectado na bacia M. Para o Potássio, tem-se que: Na bacia C, o ponto que apresentou maior valor médio de concentração foi o ponto C1, seguido pelo ponto C2 e C4. Na bacia M, a concentração média foi de 0,20 mg/L.

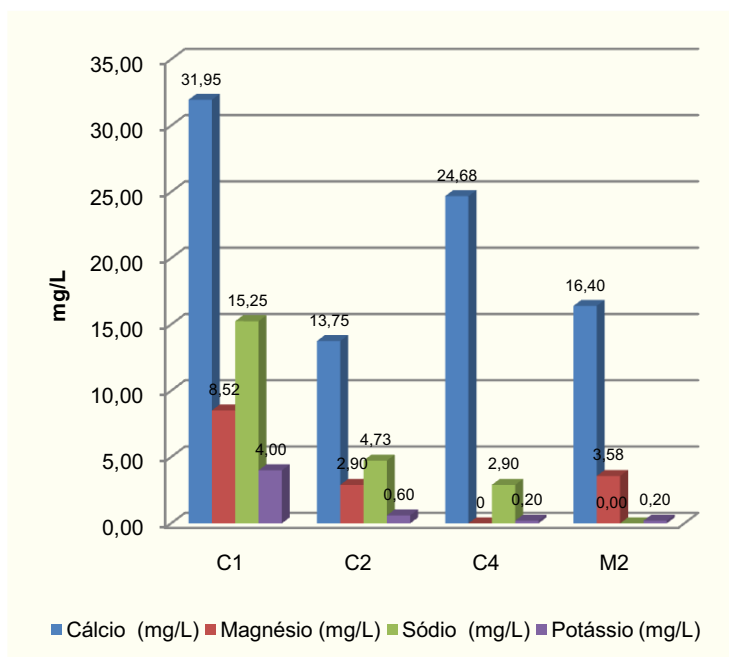


Gráfico 5.28 – Valores Médios da Concentração dos Íons para os Amostradores Simples.

Como pode ser verificado através das análises realizadas, o tamanho da área de contribuição para cada ponto de coleta influencia na quantidade de poluentes que a água do escoamento superficial possa carrear. Na Bacia C, o ponto C1 que possui a maior área de contribuição, por sua vez, apresentou concentrações mais elevadas na maioria dos parâmetros, exceto para Condutividade, DQO, Fósforo Total e Ortofosfato.

Quanto à comparação entre as duas bacias, tem-se a representação da bacia M apenas pelo ponto M2, que não apresentou diferenças significativas entre os pontos C2 e C4, apesar de ter área de contribuição 44,44% superior. No entanto, em relação ao ponto C1, que possui uma diferença de área de 12,90%, as características de qualidade apresentaram diferenças significativas. Logo, a diferença entre as bacias (topográficas, pavimentação, ocupação, padrão sócio-econômico) e não somente área de contribuição influencia na diferença das características de qualidade das bacias de drenagem.

Deste modo, comprova-se o explicitado na revisão de literatura, na qual afirma que vários fatores podem contribuir para a qualidade da água de uma bacia de drenagem urbana e que a ocorrência de fenômenos relacionados à qualidade da água está relacionada ao conjunto desses fatores, em cada uma delas.

5.3.2 Coleta na área de Drenagem da bacia M – Amostradores Compostos

Os resultados encontrados para as análises realizadas a partir das coletas empregando os amostrados compostos na bacia estão apresentados na Tabela 5.8. Alguns parâmetros foram analisados em todos os eventos, já outros em apenas parte deles, desta forma estão identificados os números de eventos analisados por parâmetros.

Tabela 5.8. Resultado das Análises para a Fase 02 nos Amostradores Compostos.

Parâmetro	Pontos	Número de Eventos	Média	Mediana	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão
pH	M1-1	10	6,88	6,97	7,35	6,00	0,45
	M1-2	10	7,03	7,07	7,61	6,58	0,34
	M1-3	10	7,07	7,02	7,69	6,58	0,36
	M1-4	10	7,10	7,10	7,64	6,58	0,38
	M4-1	10	7,32	7,39	7,74	6,83	0,29
	M4-2	10	7,34	7,36	8,27	6,83	0,41
	M4-3	10	7,30	7,35	7,87	6,83	0,34
	M4-4	10	7,31	7,36	8,30	6,83	0,46
Cé ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	M1-1	9	188,99	173,30	323,50	69,20	87,10
	M1-2	9	136,60	149,10	197,10	75,90	38,78
	M1-3	9	129,77	140,06	187,18	93,20	33,58
	M1-4	9	130,55	140,06	181,18	82,50	34,30
	M4-1	9	153,61	115,00	316,36	81,90	78,45
	M4-2	9	161,81	115,00	316,36	74,10	86,30
	M4-3	9	172,62	136,90	332,00	72,90	98,36
	M4-4	9	191,16	139,50	481,30	76,60	132,97
Cor (PtCo)	M1-1	9	29,76	21,20	74,00	3,80	25,13
	M1-2	9	22,10	15,70	66,00	2,20	21,59
	M1-3	9	19,98	13,40	53,00	1,00	17,96
	M1-4	9	18,48	11,60	53,00	2,70	17,80
	M4-1	9	18,68	18,00	49,00	2,70	17,36
	M4-2	9	18,47	15,00	49,00	0,50	17,30
	M4-3	9	18,64	12,10	49,00	0,70	17,29
	M4-4	9	18,31	10,50	49,00	1,60	17,57
Tur (UNT)	M1-1	6	27,17	22,70	52,00	10,40	17,54
	M1-2	6	21,47	12,55	64,30	10,40	21,16
	M1-3	6	18,73	13,65	42,50	10,00	12,41
	M1-4	6	12,80	12,00	21,00	8,00	4,38
	M4-1	6	11,40	10,75	17,00	7,00	3,36
	M4-2	6	9,14	8,10	17,00	4,00	5,18
	M4-3	6	10,22	10,20	17,00	5,00	4,68
	M4-4	6	9,52	8,55	17,00	5,00	4,80

Parâmetro	Pontos	Número de Eventos	Média	Mediana	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão
DQO (mg/L)	M1-1	6	67,50	64,71	121,56	31,00	33,97
	M1-2	6	46,97	34,44	84,61	19,20	27,37
	M1-3	6	48,02	53,61	84,61	7,75	32,86
	M1-4	6	54,95	52,33	84,61	27,13	23,02
	M4-1	6	42,08	31,35	96,15	7,84	35,00
	M4-2	6	51,32	49,30	96,15	19,60	29,70
	M4-3	6	45,25	42,75	96,15	7,75	34,05
	M4-4	6	55,56	54,36	96,15	7,84	33,84
SSe (mL/L)	M1-1	4	88,00	35,00	280,00	2,00	130,95
	M1-2	4	14,50	9,50	35,00	4,00	14,06
	M1-3	4	10,63	6,75	25,00	4,00	9,67
	M1-4	4	8,70	6,40	20,00	2,00	7,83
	M4-1	4	53,50	6,00	200,00	2,00	97,72
	M4-2	4	13,50	7,00	40,00	0,00	18,05
	M4-3	4	19,63	6,50	65,00	0,50	30,45
	M4-4	4	3,65	2,80	9,00	0,00	4,21
ST (mg/L)	M1-1	4	1038,50	649,50	2791,00	64,00	1201,87
	M1-2	4	628,50	717,50	1015,00	64,00	401,62
	M1-3	4	613,00	673,50	1041,00	64,00	406,71
	M1-4	4	552,00	617,50	909,00	64,00	362,94
	M4-1	4	372,00	281,50	909,00	16,00	379,25
	M4-2	4	224,50	205,00	472,00	16,00	197,26
	M4-3	4	224,25	271,50	338,00	16,00	142,50
	M4-4	4	208,50	238,00	342,00	16,00	141,59
Amônia (mg/L)	M1-1	5	0,53	0,42	1,09	0,00	0,49
	M1-2	5	0,38	0,27	1,09	0,00	0,42
	M1-3	5	0,33	0,14	1,09	0,00	0,46
	M1-4	5	0,47	0,42	1,09	0,00	0,44
	M4-1	5	1,08	0,49	2,33	0,07	1,15
	M4-2	5	1,10	0,49	2,33	0,07	1,13
	M4-3	5	1,12	0,49	2,33	0,07	1,12
	M4-4	5	1,12	0,49	2,33	0,07	1,12
Nitrito (mg/L)	M1-1	5	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01
	M1-2	5	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
	M1-3	5	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01
	M1-4	5	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01
	M4-1	5	0,01	0,01	0,03	0,00	0,02
	M4-2	5	0,02	0,00	0,05	0,00	0,02
	M4-3	5	0,02	0,02	0,05	0,00	0,02
	M4-4	5	0,02	0,01	0,05	0,00	0,02

Parâmetro	Pontos	Número de Eventos	Média	Mediana	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão
Nitrato (mg/L)	M1-1	5	0,13	0,13	0,25	0,02	0,08
	M1-2	5	0,13	0,13	0,25	0,03	0,08
	M1-3	5	0,13	0,13	0,25	0,04	0,08
	M1-4	5	0,13	0,13	0,25	0,05	0,08
	M4-1	5	0,21	0,17	0,50	0,00	0,18
	M4-2	5	0,18	0,17	0,36	0,00	0,13
	M4-3	5	0,18	0,17	0,35	0,00	0,13
	M4-4	5	0,21	0,17	0,51	0,00	0,19
Fósforo (mg/L)	M1-1	6	0,42	0,29	0,83	0,12	0,32
	M1-2	6	0,33	0,29	0,56	0,12	0,18
	M1-3	6	0,32	0,29	0,66	0,12	0,19
	M1-4	6	0,31	0,29	0,53	0,12	0,17
	M4-1	6	0,39	0,25	0,92	0,15	0,29
	M4-2	6	0,41	0,29	0,92	0,15	0,29
	M4-3	6	0,34	0,25	0,92	0,15	0,29
	M4-4	6	0,35	0,25	0,92	0,15	0,28
Ortofosfato (mg/L)	M1-1	6	0,15	0,10	0,44	0,01	0,15
	M1-2	6	0,12	0,11	0,28	0,01	0,09
	M1-3	6	0,11	0,10	0,23	0,01	0,07
	M1-4	6	0,13	0,10	0,33	0,01	0,11
	M4-1	6	0,18	0,11	0,68	0,01	0,25
	M4-2	6	0,18	0,10	0,68	0,01	0,25
	M4-3	6	0,19	0,12	0,68	0,01	0,25
	M4-4	6	0,18	0,11	0,68	0,01	0,25
Cloreto (mg/L)	M1-1	6	12,40	9,85	28,37	5,22	8,75
	M1-2	5	12,51	7,83	28,37	5,22	9,77
	M1-3	5	12,41	7,83	27,85	5,22	9,56
	M1-4	5	12,00	7,83	25,79	5,22	8,74
	M4-1	5	11,99	7,83	25,76	5,22	8,73
	M4-2	5	10,76	7,31	24,76	4,17	8,25
	M4-3	5	10,80	7,31	23,93	4,17	7,94
	M4-4	5	11,17	7,31	23,73	4,17	8,02
Sulfato (mg/L)	M1-1	5	10,55	7,31	23,73	4,17	7,82
	M1-2	5	4,48	5,52	7,01	0,00	2,69
	M1-3	5	4,67	5,52	7,01	0,00	2,83
	M1-4	5	4,59	5,52	7,01	0,00	2,76
	M4-1	5	5,10	6,52	7,16	0,00	3,00
	M4-2	5	5,21	6,20	8,12	0,00	3,17
	M4-3	5	5,13	5,10	8,81	0,00	3,30
	M4-4	5	5,11	5,00	8,81	0,00	3,30

Parâmetro	Pontos	Número de Eventos	Média	Mediana	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio Padrão
Alcalinidade (mg/L)	M1-1	5	54,02	52,92	80,84	23,52	20,65
	M1-2	5	36,16	32,90	52,92	19,74	15,51
	M1-3	5	39,35	41,36	52,92	23,52	13,58
	M1-4	5	39,16	41,36	52,92	23,52	13,79
	M4-1	5	38,82	36,66	54,52	23,52	11,68
	M4-2	5	33,94	33,84	54,52	23,50	12,66
	M4-3	5	36,57	34,30	54,52	23,52	11,32
	M4-4	5	36,00	34,30	54,52	23,52	11,32
Cálcio (mg/L)	M1-1	5	26,00	24,38	39,62	10,83	10,98
	M1-2	5	18,18	19,81	24,38	10,83	5,72
	M1-3	5	18,89	20,32	24,38	10,83	5,30
	M1-4	5	18,49	19,81	24,38	10,83	5,46
	M4-1	5	16,43	20,32	21,84	9,06	6,29
	M4-2	5	14,50	13,71	21,84	9,06	5,35
	M4-3	5	16,02	17,78	21,84	9,06	6,10
	M4-4	5	15,71	16,25	21,84	9,06	6,03
Magnésio (mg/L)	M1-1	5	3,92	3,30	7,20	1,93	2,13
	M1-2	5	3,20	3,30	4,76	1,93	1,10
	M1-3	5	2,96	2,40	4,76	1,93	1,12
	M1-4	5	2,96	2,40	4,76	1,93	1,12
	M4-1	5	8,55	2,82	32,73	1,78	13,53
	M4-2	5	8,61	2,82	32,73	1,78	13,50
	M4-3	5	8,85	2,82	32,73	1,20	13,46
	M4-4	5	8,37	2,70	32,73	1,78	13,63
Sódio (mg/L)	M1-1	5	3,40	3,00	8,00	0,00	2,97
	M1-2	5	3,60	3,00	8,00	0,00	3,05
	M1-3	5	4,20	4,00	8,00	0,00	3,03
	M1-4	5	4,50	5,00	8,00	0,00	3,12
	M4-1	5	3,20	3,00	6,00	0,00	2,17
	M4-2	5	3,00	3,00	5,00	0,00	1,87
	M4-3	5	2,60	3,00	5,00	0,00	1,82
	M4-4	5	2,60	3,00	4,00	0,00	1,52
Potássio (mg/L)	M1-1	5	0,20	0,00	1,00	0,00	0,45
	M1-2	5	0,40	0,00	1,00	0,00	0,55
	M1-3	5	0,60	0,00	2,00	0,00	0,89
	M1-4	5	0,60	0,00	2,00	0,00	0,89
	M4-1	5	0,30	0,00	1,50	0,00	0,67
	M4-2	5	0,20	0,00	1,00	0,00	0,45
	M4-3	5	0,20	0,00	1,00	0,00	0,45
	M4-4	5	0,20	0,00	1,00	0,00	0,45

Quanto ao pH os valores estiveram entre 6,0 e 8,30 em todos os pontos amostrados. Houve variação do pH entre os pontos M1 e M4 (Ver Gráfico 5.29). O ponto M4 apresentou valores superiores a M1, pode ser devido ao fato de que o ponto M1 está situado logo abaixo da única via asfaltada da bacia M, já a maior parte área de contribuição de M4 é calçada com paralelepípedo e os meios fios pintados a cal, contribuinte de cálcio nesta bacia. No ponto M1, houve aumento do pH com a continuidade do evento de precipitação. No ponto M4, a pH apresentou-se de forma regular ao longo do período analisado.

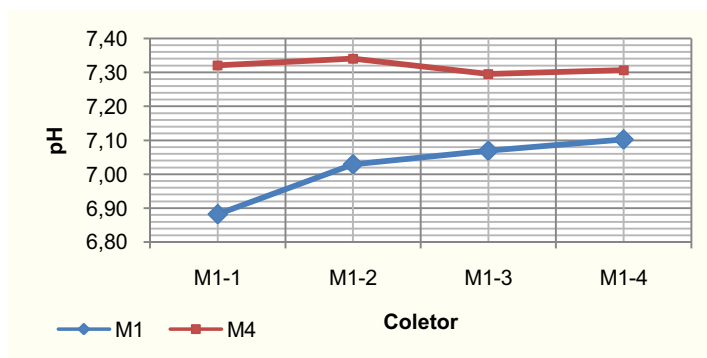


Gráfico 5.29 – Variação do pH nos amostradores compostos.

A condutividade apresentou valor mínimo e máximo de 69,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 481,30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Assim como o pH, o ponto M4 situado mais próximo do exutório da bacia, apresentou os maiores valores médios que M1, como pode ser observado no Gráfico 5.30. A análise das curvas M(V) aponta que ocorreu first flush no ponto M1, com afastamento de 0,1987 acima do bissetor do gráfico e a proporção de remoção foi de 38,13% de massa nos primeiros 30% do volume. A curva M(V) de M4 está abaixo do bissetor, com um afastamento de 0,0682 (Gráfico 5.31).

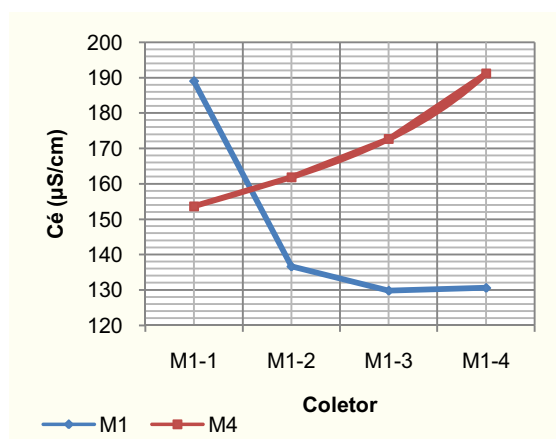


Gráfico 5.30 – Variação da Condutividade Elétrica nos amostradores compostos.

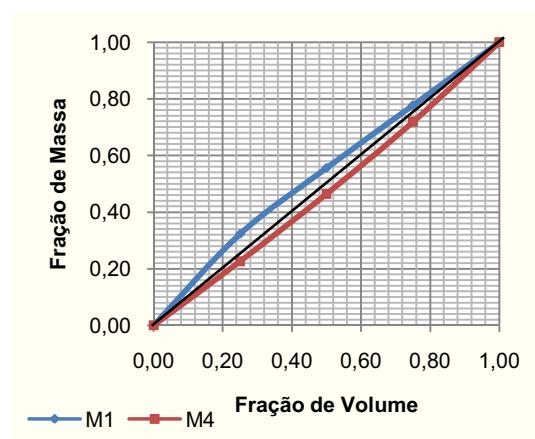


Gráfico 5.31 – Curva M(V) para a Condutividade elétrica.

Em relação à Cor no ponto M1 pode ser observada a redução considerável da cor, ao longo dos eventos de precipitação. Já no ponto M4, essa variação não tão acentuada, como apresentado no Gráfico 5.32. Quanto à análise das curvas M(V), tem-se que ambas as curvas situa-se acima do bissetor, logo, configura-se a ocorrência do first flush. A diferença de intensidade do fenômeno é conferida pelo afastamento da curva, o qual para M1 é de 0,1987 e para M4 é de 0,0052, quase não perceptível visualmente no Gráfico 5.33. A parcela de remoção de massa foi de 38,13% e 30,37% nos pontos M1 e M4, respectivamente.

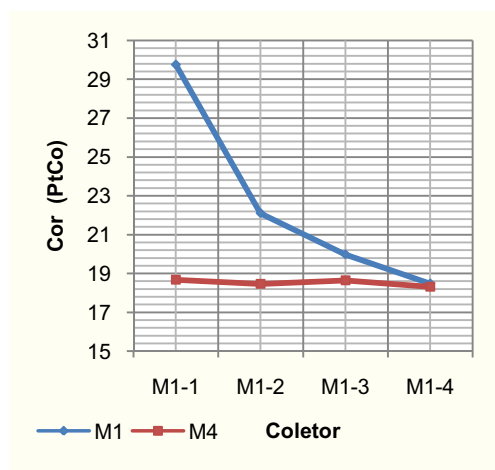


Gráfico 5.32 – Variação da cor nos amostradores compostos.

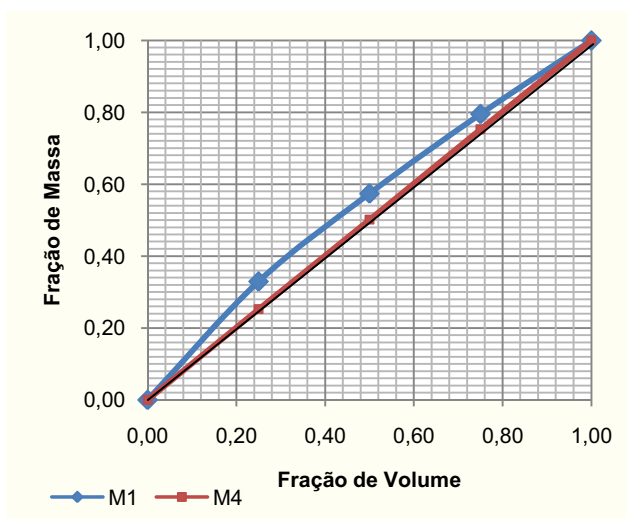


Gráfico 5.33 – Curva M(V) para a Cor.

Para a turbidez, seguindo o padrão do pH, da condutividade elétrica e da cor, como já esperado, no ponto M1 pode ser observada sua redução ao longo do evento de precipitação. Já no ponto M4, essa variação foi tão acentuada, como pode ser observada no Gráfico 5.34. Em relação à análise das curvas M(V), tem-se que ocorreu first flush em ambos os pontos (Ver Gráfico 5.35). A intensidade do fenômeno foi maior no ponto M1, com afastamento da curva ao bissetor de 0,2091, com a parcela de remoção de 39,73% da massa. No ponto M4, o afastamento foi de 0,0878 e parcela de remoção de 32,96% da massa nos primeiros 30 % do volume.

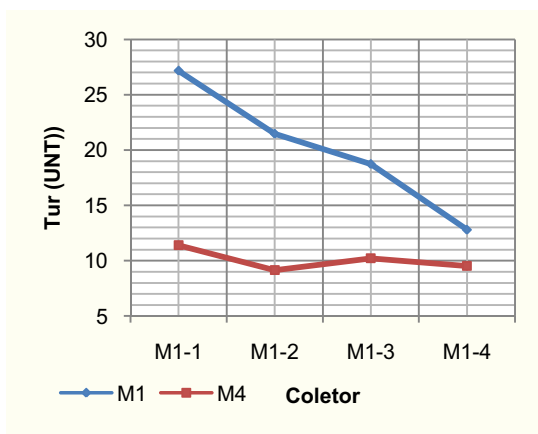


Gráfico 5.34 – Variação da Turbidez nos amostradores compostos.

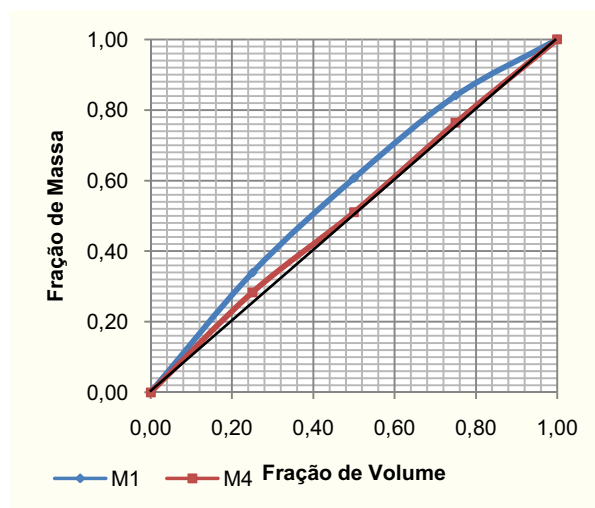


Gráfico 5.35 – Curva M(V) para a Turbidez.

Em relação à DQO, a distribuição da concentração ao longo do evento variou conforme apresentado no Gráfico 5.36. Neste caso, o ponto M1 apresentou maiores concentrações em relação ao M4, o que pode ser justificada pela capacidade de arraste de poluentes devido à maior declividade da área de contribuição do ponto M1, que em média é de 5 %. Na verificação da curva Massa x Volume da DQO (Gráfico 5.37), foi detectado que ocorreu first flush apenas no ponto M1, a curva encontra-se acima do bissetor do gráfico, com afastamento de 0,1645 e parcela de remoção de 35,44% de massa. Já a curva de M4, situa-se abaixo do bissetor com afastamento de 0,0946 para a parte inferior.

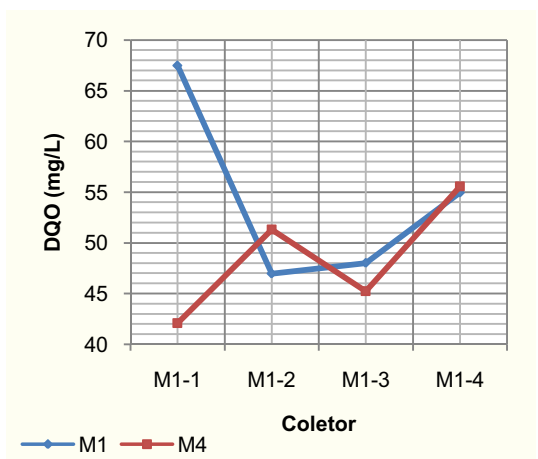


Gráfico 5.36 – Variação da DQO nos amostradores compostos.

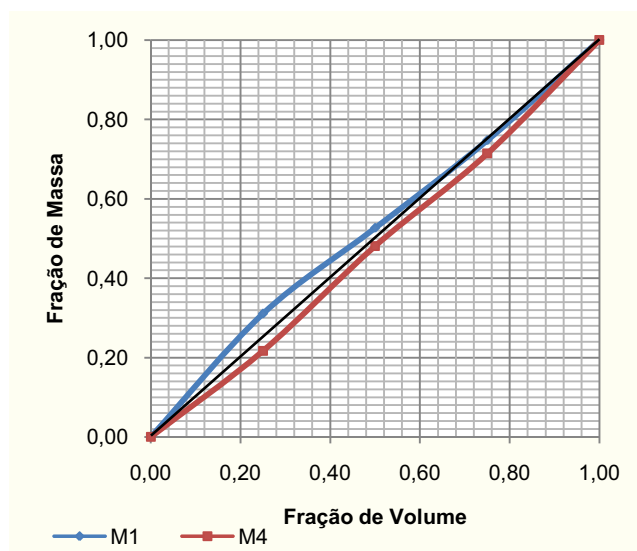


Gráfico 5.37 – Curva Massa x Volume para a DQO.

Para os sólidos sedimentáveis, a variação da qualidade da água pode ser observada no Gráfico 5.38. Percebe-se um comportamento semelhante com a redução da quantidade de sólidos nos primeiros volumes analisados. Essa redução traduz-se na curva $M(V)$ de cada ponto apresentadas no Gráfico 5.39. Em ambos os pontos, ocorreu o first flush, com maior intensidade no ponto M, cujo afastamento da curva ao bissetor foi de 0,7663 para cima e parcela de remoção de 75,12% da massa de poluente. No ponto M4, o afastamento foi de 0,6003, com parcela de remoção de 63,11% de massa nos primeiros 30% do volume.

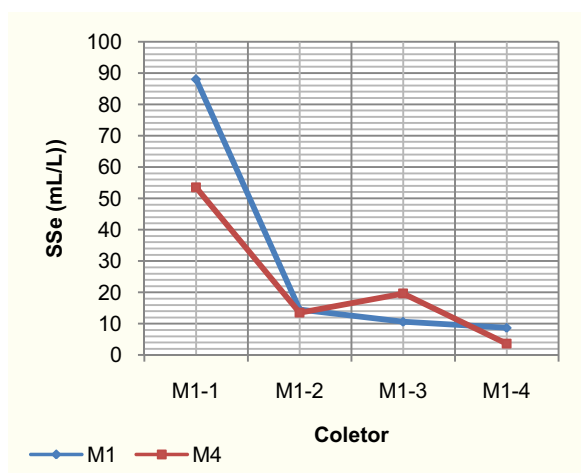


Gráfico 5.38 – Variação dos Sólidos Sedimentáveis nos amostradores compostos.

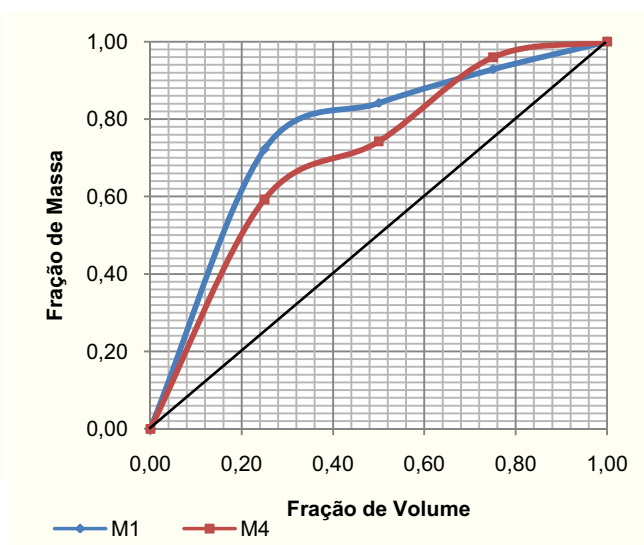


Gráfico 5.39 – Curva Massa x Volume para Sólidos Sedimentáveis.

Em relação aos sólidos totais, para ambos os pontos houve uma redução da concentração ao longo dos volumes analisados, como apresentado no Gráfico 5,40. Desta forma, as curvas $M(V)$ situam-se acima do bissetor do gráfico, sendo que para o ponto M1 o afastamento foi de 0,2761 e a parcela de remoção foi de 41,45%; e para o ponto M4, o afastamento foi de 0,2667 e a parcela de remoção foi de 30,81% de massa nos primeiros 30% de volume. Portanto, a maior intensidade foi em M1.

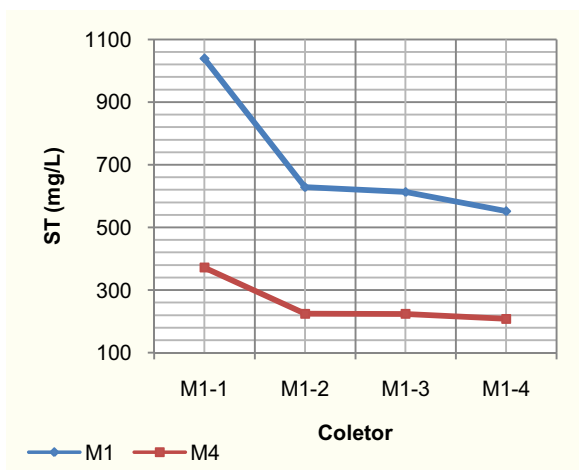


Gráfico 5.40 – Variação dos Sólidos Totais nos amostradores compostos.

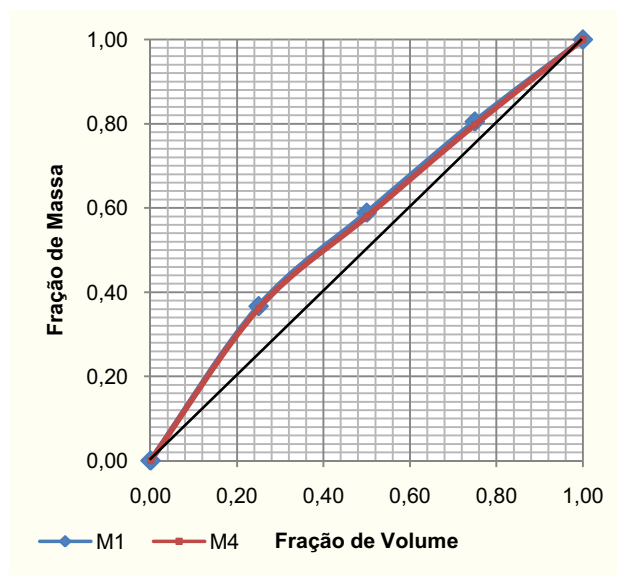


Gráfico 5.41 – Curva Massa x Volume para os Sólidos Totais.

O nitrogênio foi medido na forma de amônia, nitrito e nitrato. As variações das concentrações destes parâmetros encontram-se nos Gráficos 5.42, 5.43 e 5.44; Os valores encontrados apresentam concentrações baixas, de modo que a bacia não contribui com esses elementos para a lagoa de infiltração. Podendo ser considerado um fator positivo, visto que as águas de drenagem são encaminhadas para o lençol freático, cuja água é utilizada no abastecimento de água potável para a cidade.

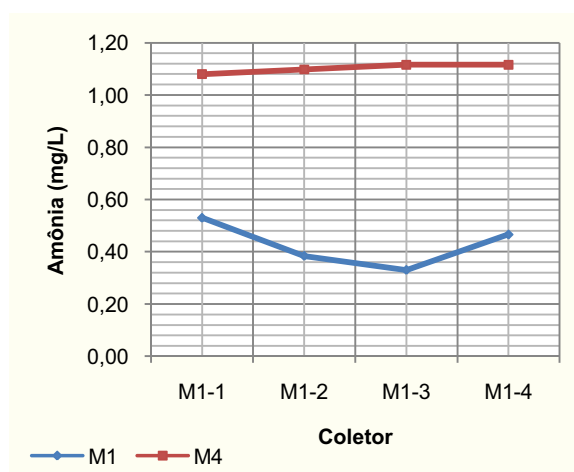


Gráfico 5.42 – Variação da Amônia nos amostradores compostos.

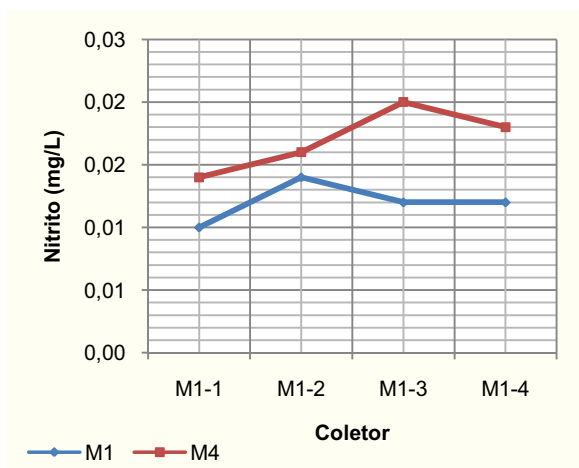


Gráfico 5.43 – Variação do Nitrito compostos.

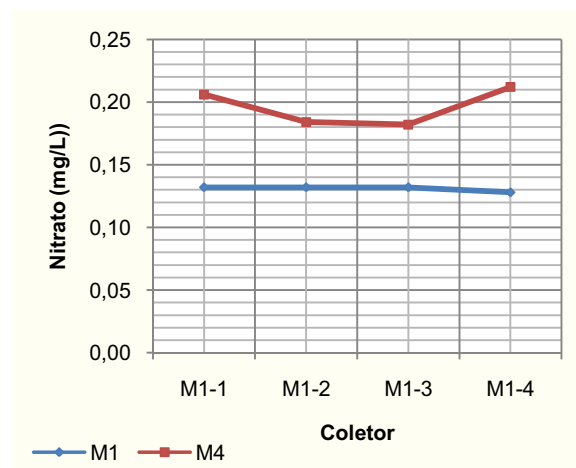
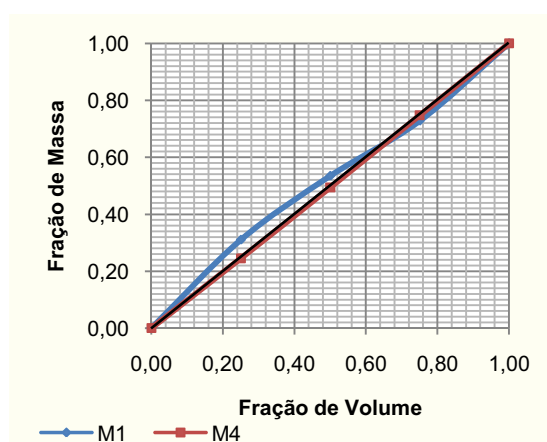


Gráfico 5.44 – Variação do Nitrato nos amostradores compostos.

Quanto as curva M(V) para as três formas de nitrogênio foi verificado que:

- Para Amônia, apenas foi detectada ocorrência do first flush no ponto M1, com afastamento de 0,1723 para cima do bissetor, correspondendo a uma proporção de remoção de 35,50% de massa para 30% de volume (Gráfico 5.45).
- Não ocorreu first flush em nenhum ponto para Nitrato (Gráfico 5.46), os afastamentos foram de 0,1336 e 0,1484 para baixo nos pontos M1 e M4, respectivamente;
- Para o Nitrato, ambas as curvas M(V) situam-se acima do bissetor, caracterizando a ocorrência do first flush. Para M1 o afastamento foi de 0,0042, com remoção de 30,25% de massa para 30% do volume. Para M4 o afastamento foi de 0,00437, com remoção de 30,94% de massa para 30% do volume.

Gráfico 5.45 – Curva M(V) para N-NH₄ nos amostradores compostos.

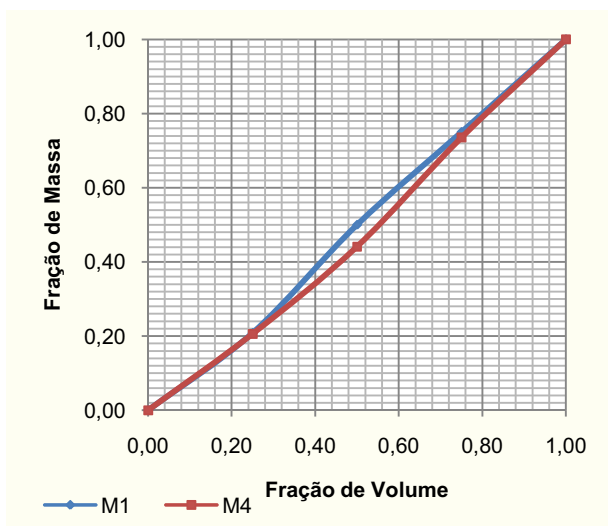


Gráfico 5.46 – Curva M(V) para N-NO₂ nos amostradores compostos.

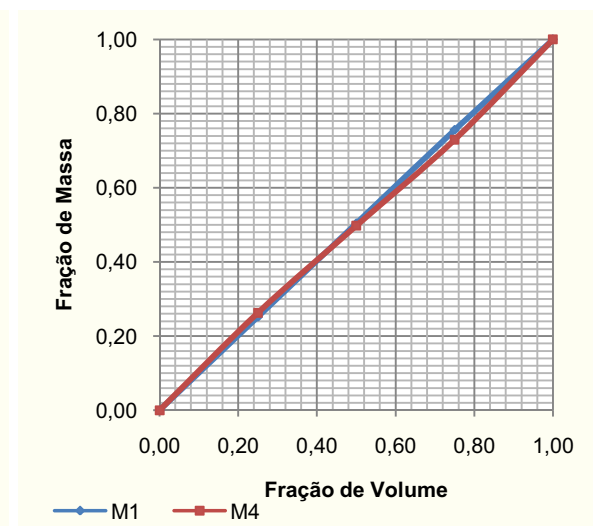


Gráfico 5.47 – Curva M(V) para N-NO₃ nos amostradores compostos.

A presença de fósforo foi medida na sua forma elementar e na forma de ortofosfato. Os resultados das variações ao longo dos volumes analisados encontram-se nos Gráficos 5.48 e 5.49. As análises das curvas M(V) demonstram que:

- Para o Fósforo Total, tem-se que: Ocorre first flush em ambos os pontos, com maior intensidade no ponto M1. Em M1, o afastamento foi de 0,143, com remoção de 35,32% de massa para 30% do volume; Em M4, o afastamento foi de 0,0361, com remoção de 31,77% de massa para 30% do volume.
- Para o Ortofosfato, tem-se que: Somente ocorre first flush em M1. Em M1, o afastamento foi de 0,1122, com remoção de 33,81% de massa para 30% do volume; Em M4, o afastamento foi de 0,0166 para a parte inferior.

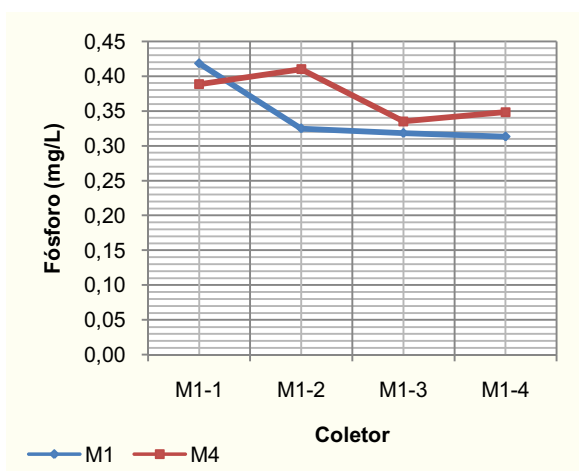


Gráfico 5.48– Variação do Fósforo Total – P nos amostradores compostos

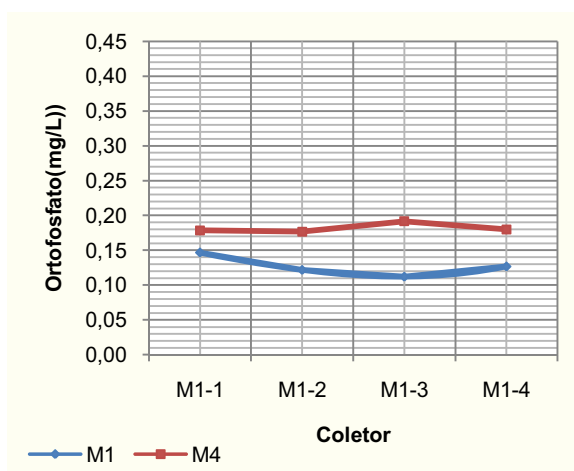


Gráfico 5.49 – Variação do Ortofosfato – PO₄ nos amostradores compostos.

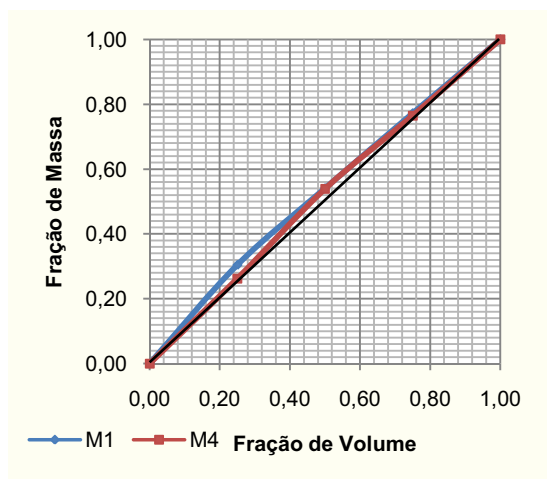


Gráfico 5.50 – Curva M(V) para Fósforo Total – P nos amostradores compostos.

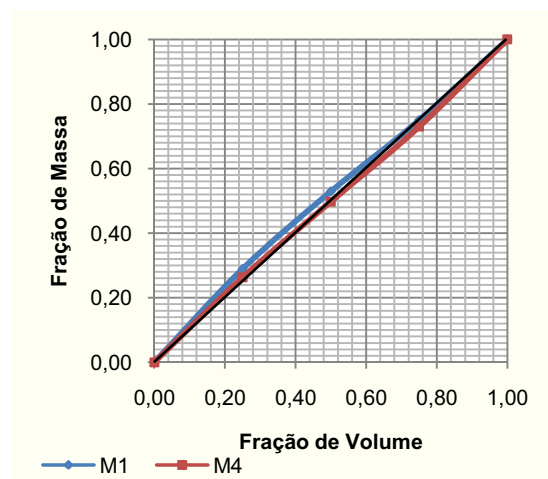


Gráfico 5.51 – Curva M(V) para Ortofosfato – PO₄ nos amostradores compostos.

Quanto aos cloretos e sulfatos, devido ao ambiente litorâneo da cidade de Natal/RN foram detectadas concentrações destes íons. A concentração máxima de cloretos foi de 28,37 mg/L e mínima de 4,17 mg/L. Nos Gráficos 5.52 e 5.53, é possível verificar a distribuição ao longo dos volumes estudados nos amostradores composto. As presenças desses elementos reforçam a contribuição da deposição atmosférica para a redução da qualidade da água do escoamento superficial.

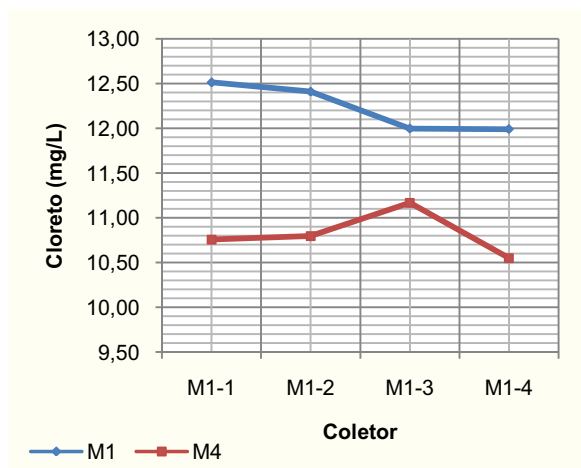


Gráfico 5.52 – Variação da Concentração de cloretos nos amostradores compostos.

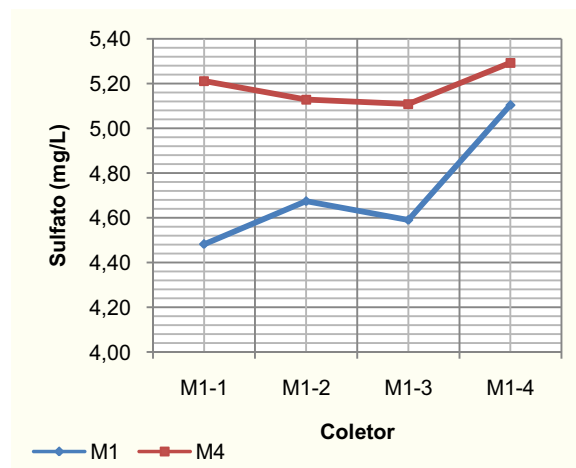


Gráfico 5.53 – Variação da Concentração de Sulfato nos amostradores compostos.

Em relação às curvas M(V) observadas nos Gráficos 5.54 e 5.55, tem-se que:

- Para o Cloreto: Ocorre first flush em M1, com afastamento de 0,0169 e proporção de remoção de 30,68% de massa por 30% do volume. O afastamento para a parte inferior do gráfico é de 0,0008.

- Para o Sulfato: Ocorre first flush em M4, com afastamento de 0,0169 e proporção de remoção de 30,68% de massa por 30% do volume.

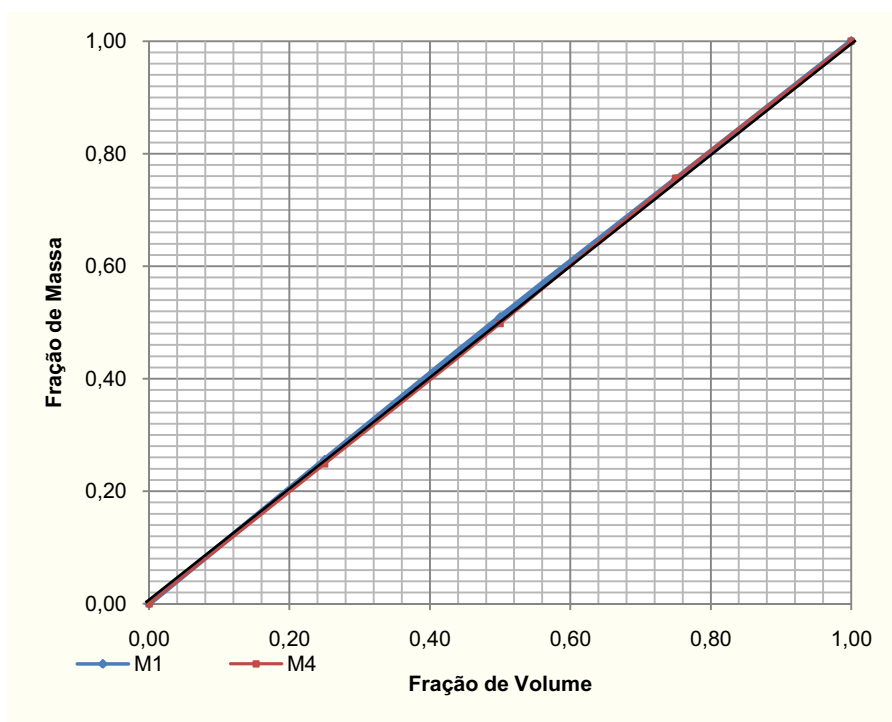


Gráfico 5.54 – Curva Massa x Volume para a Cloreto.

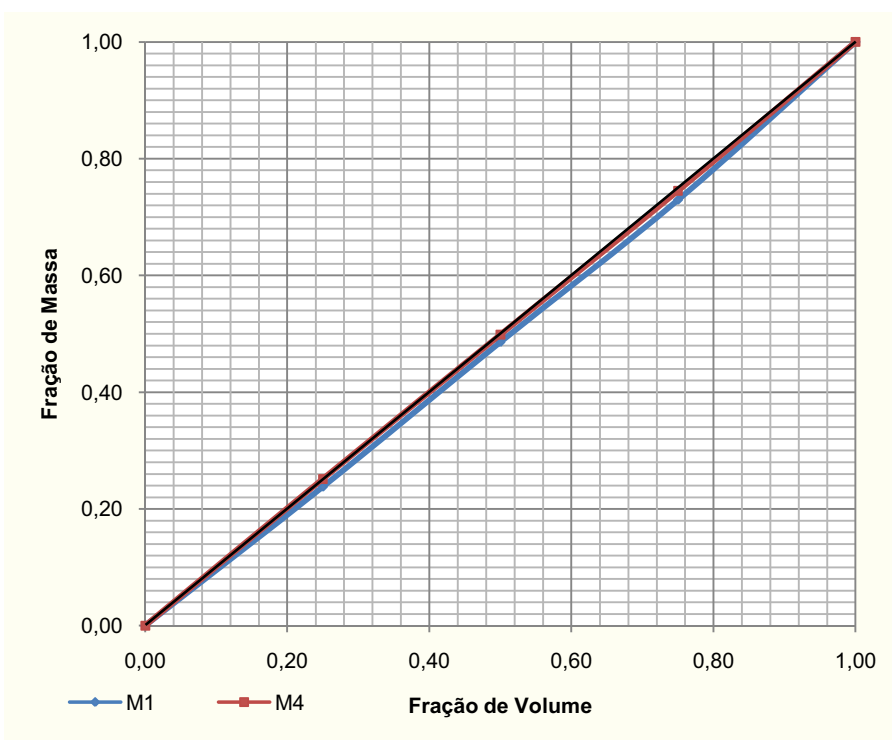


Gráfico 5.55 – Curva Massa x Volume para Sulfato.

Quanto a alcalinidade, houve a tendência de redução ao longo do volume analisado evento (Gráfico 5.56), deste modo quando analisada a curva M(V) verifica-se a ocorrência do first flush em ambos os pontos. Ambas as curvas estão acima do bisetor, como pode ser observado no Gráfico 5.57. Para o ponto M1, o afastamento foi de 0,181 com parcela de remoção de 36,47% de massa nos 30% do volume. Para o ponto M4, a remoção foi de 31,44%, em menor intensidade e medindo afastamento de 0,0479.

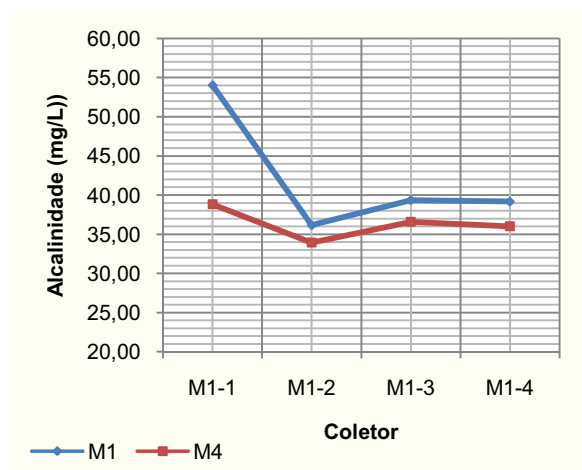


Gráfico 5.56 – Variação da Alcalinidade nos amostradores compostos.

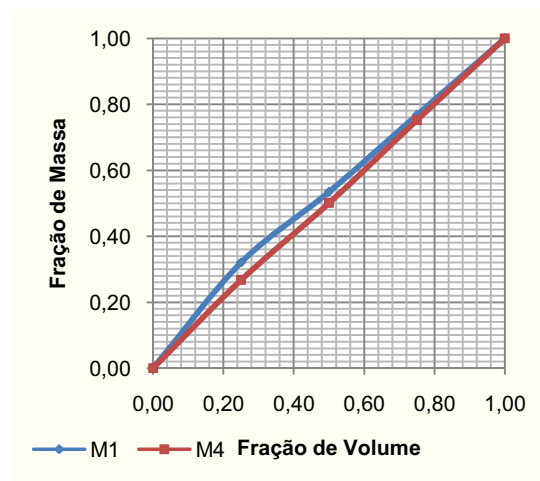


Gráfico 5.57 – Curva M(V) da Alcalinidade.

Os demais parâmetros analisados apresentaram variação de concentração de acordo com o que mostra no Gráfico 5.58 para o Cálcio, no Gráfico 5.60 para o Magnésio, no Gráfico 5.62 para o Potássio e no Gráfico 5.64 para o Sódio. A redução na concentração reflete em curvas (MV) acima do bisetor, caracterizando a ocorrência do fenômeno do first flush, em maior ou menor intensidade. Para esses parâmetros, os dados encontram na Tabela 5.9.

Tabela 5.9. Ocorrência de first flush e Proporção de Remoção para Ca, Mg, K e Na.

Parâmetro	Ponto	Afastamento	Proporção de remoção % Massa / 30 %Volume
Ca	M1	0,1771	36,53
	M4	0,0339	30,87
Mg	M1	0,1349	35,35
K	M4	0,2105	37,00
Na	M4	0,0847	33,46

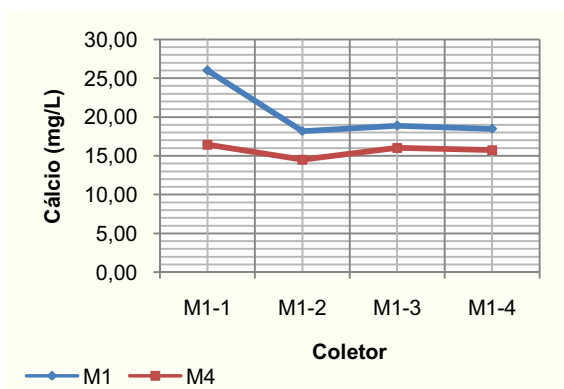


Gráfico 5.58 – Variação da concentração de Cálcio nos amostradores compostos.

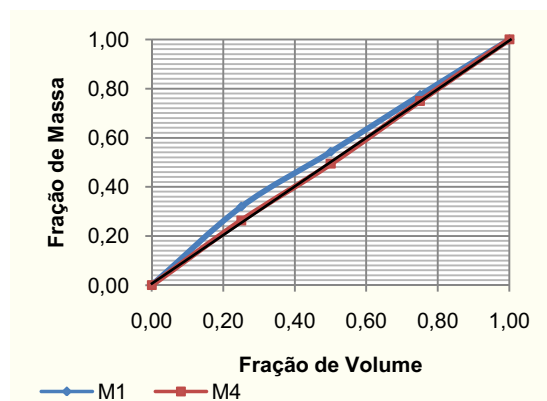


Gráfico 5.59 – Curva M(V) para o Cálcio.

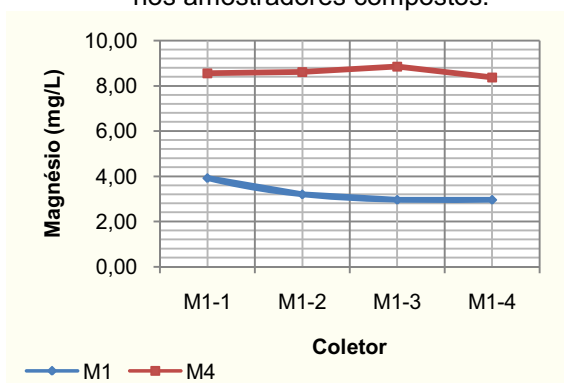


Gráfico 5.60 – Variação da concentração de Magnésio nos amostradores compostos.

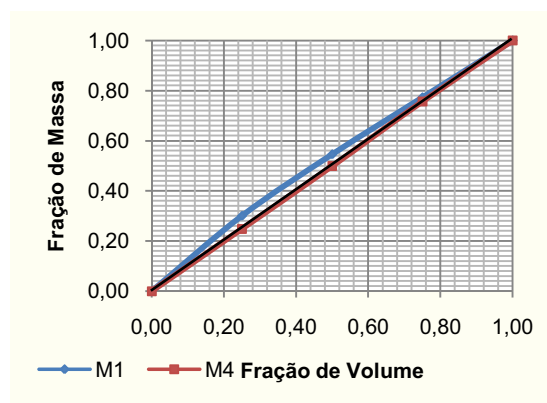


Gráfico 5.61 – Curva M(V) para o Magnésio.

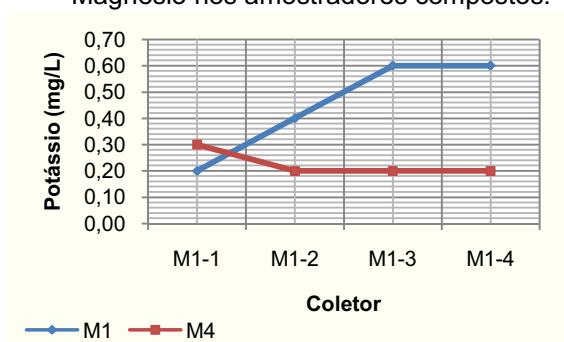


Gráfico 5.62 – Variação da concentração de Potássio nos amostradores compostos.

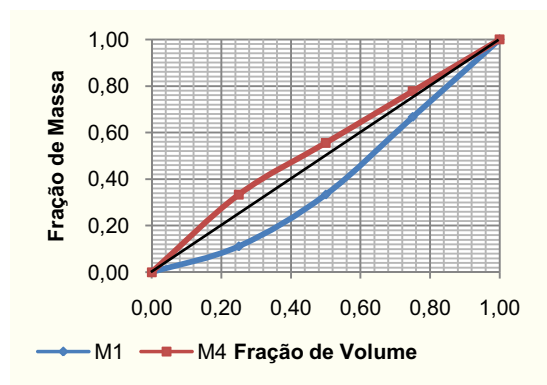


Gráfico 5.63 – Curva M(V) para o Potássio.

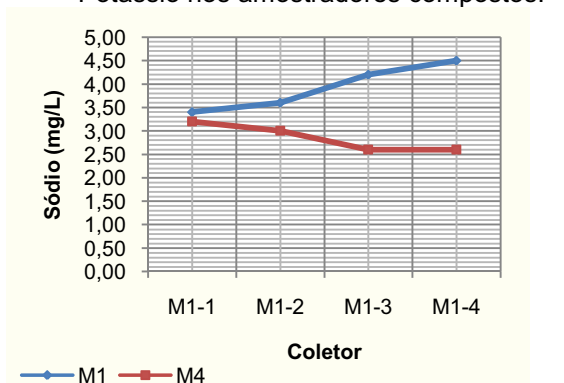


Gráfico 5.64 – Variação da concentração de Sódio nos amostradores compostos.

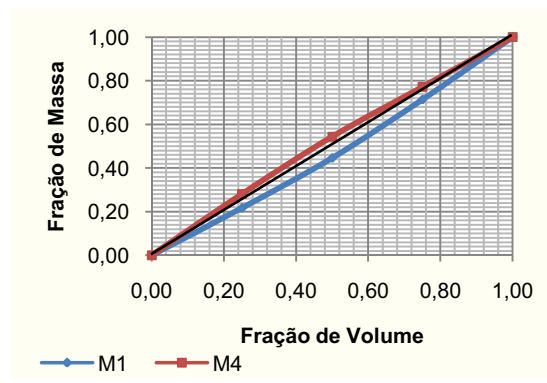


Gráfico 5.65 – Curva M(V) para o Sódio.

5.4 Metais

Em relação aos metais pesados, foram realizadas análises nas fases 02 e 03, seguindo as demandas do projeto MAPLU.

Na fase 02, foi analisado apenas o evento do dia 06/08/2008. Neste evento, foram feitas coletas em oito garrafas, em intervalos de 5 minutos entre elas, totalizando 40 minutos de cobertura do evento precipitado. Todas as concentrações não excederam 0,12 mg/L dos metais analisados e não foi detectado Cobre. O Chumbo apresentou concentrações de 0,09 mg/L de Pb após 10 minutos e após 25 minutos de precipitação.

O cromo apresentou concentração máxima de 0,12 mg/L de Cr e mínima de 0,01 mg/L de Cr. O cádmio apresentou valores de 0,01 mg/L de Cd, nos pontos detectados. O chumbo apresentou concentrações de 0,09 mg/L de Pb, quando detectado. O zinco apresentou valores de concentrações entre 0,02 mg/L de Zn a 0,06 mg/l de Zn. Essas variações podem ser verificadas no Gráfico 5.66.

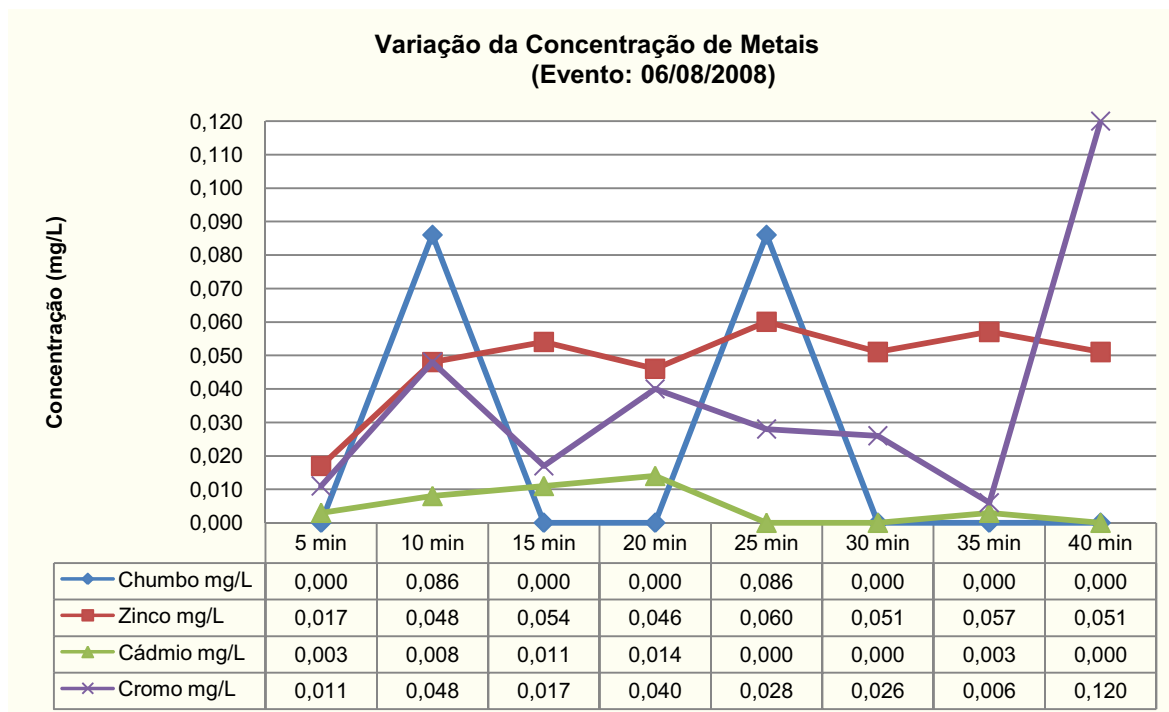


Gráfico 5.66 - Variação da concentração de metais pesados medida no exutório da bacia M em 06/08/2008

Na fase 03, foram realizadas coletas em quatro eventos, cujos dados estão apresentados nas Tabelas 5.10 e 5.11. Na bacia M, foi detectada a presença de Zinco, Cádmio e Cromo. Não foi detectada a presença de Cobre e Chumbo. As concentrações de zinco variaram de 0,017 mg/L de Zn a 0,083 mg/L de Zn. Foi detectado Cádmio no evento do dia 01/07/2008, com uma concentração de 0,003 mg/L de Cd. A concentração máxima de Cromo foi de 0,043 mg/L de Cr e mínima de 0,014 mg/L de Cr.

Tabela 5.10. Concentração de metais pesados na bacia M.

Parâmetro	Pontos	Data dos Eventos			
		13/06/2008	01/07/2008	09/07/2008	06/08/2008
Cobre - mg/L	M2	0,000	0,000	-	0,000
	M3	-	-	0,000	-
Chumbo - mg/L	M2	0,000	0,000	0,000	0,000
	M3	-	-	-	-
Zinco - mg/L	M2	0,032	0,083	0,017	-
	M3	-	-	-	0,006
Cádmio - mg/L	M2	0,000	0,003	-	-
	M3	-	-	-	0,000
Cromo - mg/L	M2	0,024	0,014	-	0,043
	M3	-	-	-	-

Na Bacia M, tanto na coleta ao longo da bacia, quanto no exutório não foi detectado a presença de Cobre. As presenças de Chumbo e Cádmio detectadas no evento do dia 06/08/2008 no exutório e não em pontos da superfície de drenagem coletados denota que as contribuições das áreas representadas pelos pontos de coleta M2 e M3 possivelmente não carregam estes metais para a lagoa de captação. Para os demais metais, as concentrações são detectadas em ambas as análises deste evento.

Na bacia C, foram detectados todos os metais analisados, como pode ser observado na Tabela 5.11. As maiores concentrações obtidas foram para o Zinco, atingindo valor máximo de 0,703 mg/L de Zn no ponto C4 (em vermelho), evento do dia 06/08/2008. O ponto C4 está situado em uma rua asfaltada, durante as coletas era comum algum veículo estava estacionado sobre a caixa na qual o coletor estava instalado. Além do que o ponto C4 está numa via com elevada inclinação, sua

velocidade de escoamento é maior, por consequência apresenta uma maior força de arraste dos poluentes da superfície.

Tabela 5.11. Concentração de metais pesados na bacia C.

Parâmetro	Pontos	Data dos Eventos			
		13/06/2008	01/07/2008	09/07/2008	06/08/2008
Cobre - mg/L	C1	0,000	0,051	0,006	0,148
	C2	0,000	0,000	0,000	0,000
	C3	0,000	-	-	-
	C4	0,000	0,000	0,000	0,368
Chumbo - mg/L	C1	0,000	0,057	0,000	0,114
	C2	0,000	0,000	0,000	0,000
	C3	0,000	-	-	-
	C4	0,000	0,000	0,000	0,171
Zinco - mg/L	C1	0,052	0,083	0,011	0,486
	C2	0,068	0,026	0,040	0,051
	C3	0,112	-	-	-
	C4	0,020	0,040	0,011	0,703
Cádmio - mg/L	C1	0,000	0,000	-	0,000
	C2	0,000	0,060	-	0,000
	C3	0,000	-	-	-
	C4	0,000	0,003	-	0,000
Cromo - mg/L	C1	0,028	0,031	-	0,134
	C2	0,036	0,048	-	0,011
	C3	0,032	-	-	-
	C4	0,036	0,011	-	0,154

A bacia C possui pavimentação asfáltica, ao contrário da bacia M cuja pavimentação é em paralelepípedo convencional em sua maioria. Este fato embasa a detecção de metais presentes nos derivados do petróleo (Chumbo). O Gráfico 5.67 apresenta a variação da concentração de metais pesados no ponto C1, por ele percebe-se a elevada concentração de zinco, bem como o comportamento da concentração ao longo do tempo.

Para o ponto C2, não foram encontradas concentrações de cobre e chumbo. Ocorre somente a presença de zinco, cádmio e cromo, atingindo valores máximo de concentração de 0,068 mg/L de Zn, 0,060 mg/L de Cd e 0,048 mg/l de Cr, respectivamente, conforme o Gráfico 5.68.

No ponto C4, foi detectada a presença de todos os metais analisados. No entanto o Cádmiu apresentou concentração máxima de 0,03 mg/L de Cd, apenas no evento do dia 01/07/2008. Destaca-se o pico de concentração de zinco no dia 06/08/2008, atingindo valor máximo de 0,703 mg/L de Zn, como pode ser observado no Gráfico 5.69.

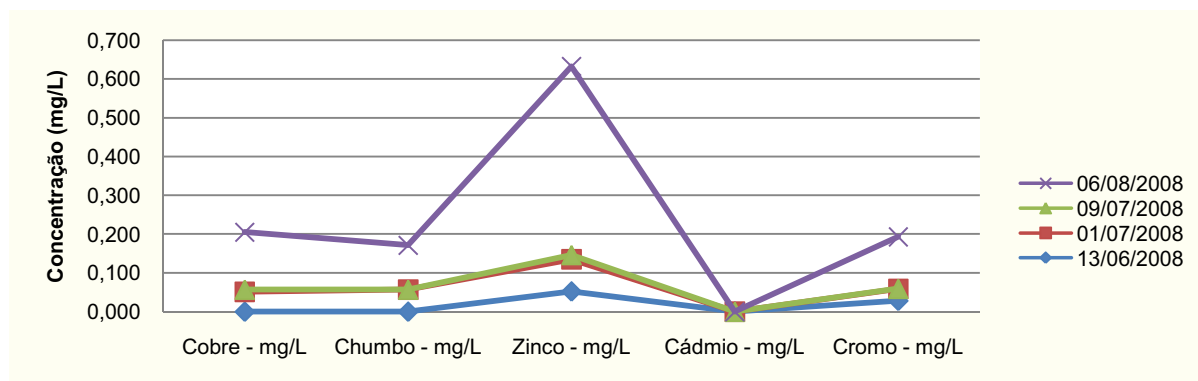


Gráfico 5.67 – Concentração de Metais Pesados no Ponto C1 - Bacia C

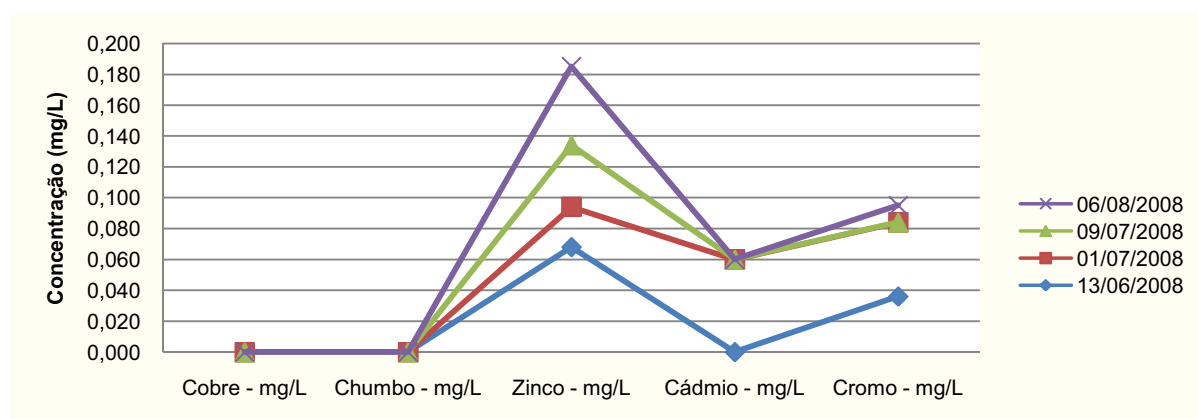


Gráfico 5.68 – Concentração de Metais Pesados no Ponto C2 - Bacia C

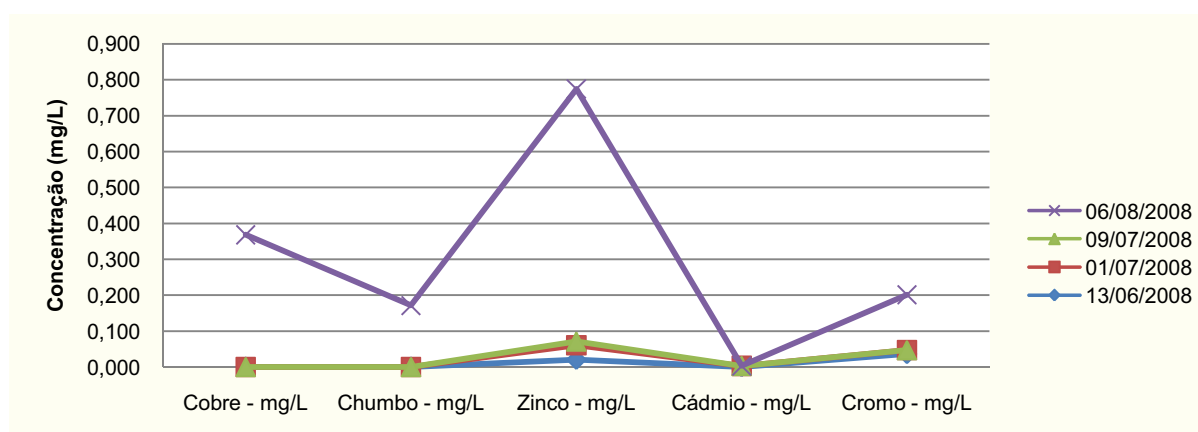


Gráfico 5.69 – Concentração de Metais Pesados no Ponto C4 - Bacia C

As análises do evento do dia 06/08/2008 apresentaram, na maioria dos resultados, as maiores concentrações de metais dentre os demais eventos. Com exceção para o Cádmio, que não foi detectado; para o Zinco, nos pontos C2 e C3 (Evento: 13/06/2008); e para o Cromo, no ponto C2 (Evento: 01/07/2008). Considerando que a qualidade está relacionada com as características dos eventos, quando comparadas a distribuição da precipitação ao longo do tempo entre os eventos analisados (Gráfico 5.70), tem-se que no início do evento do dia 06/08/2008, a precipitação atingiu um pico antes dos outros eventos, o que gerou maior volume de chuva para carrear poluentes na superfície da bacia, detectados pelos amostradores espalhados na área de drenagem. O único evento que teve dias secos anteriores foi do dia 13/06/2008, no total de 04 dias secos.

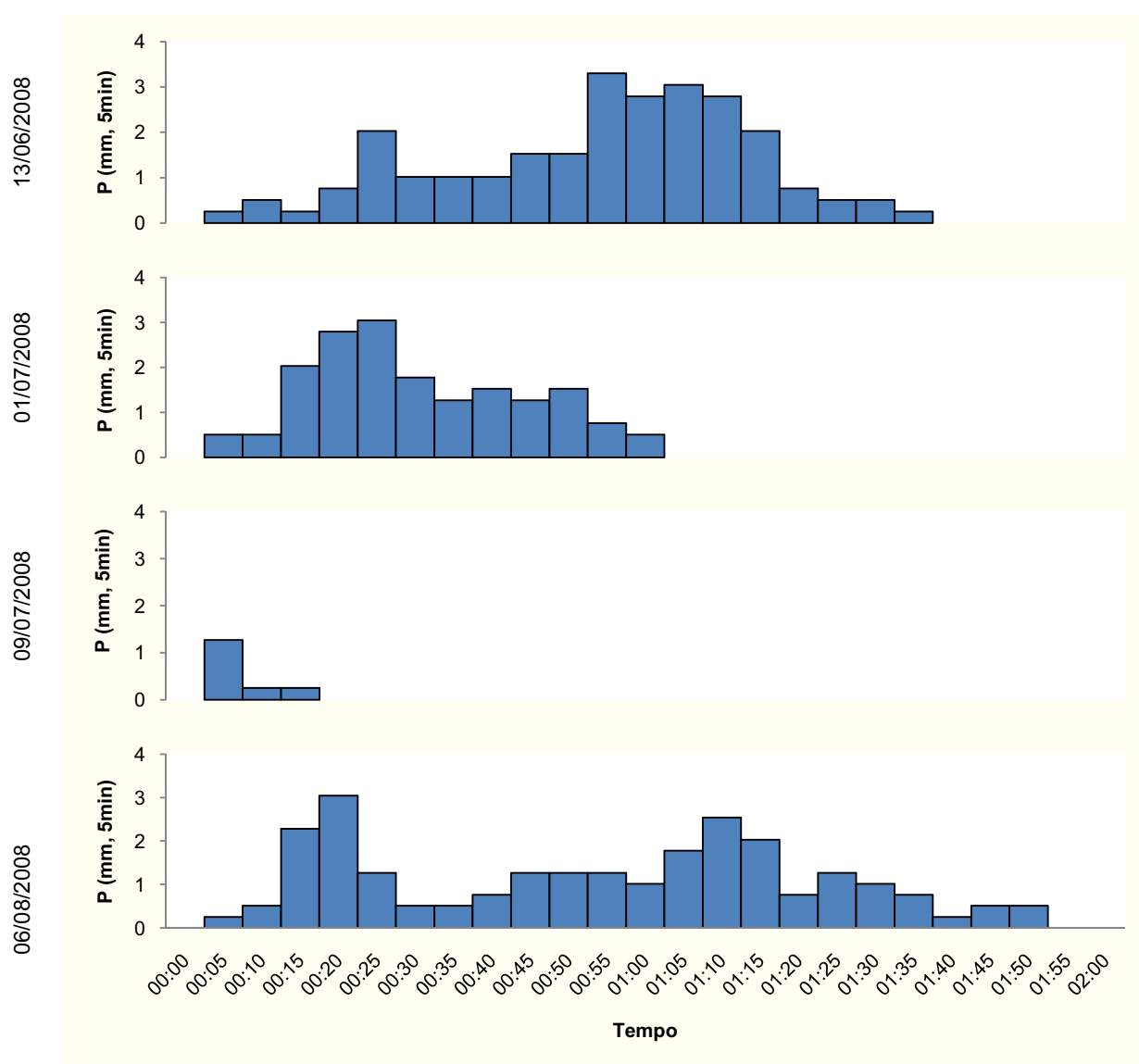


Gráfico 5.70 – Precipitações dos eventos em que foram analisados Metais

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece os padrões das concentrações dos parâmetros de qualidade de acordo com o uso da água a ser destinado, ou seja, com sua classe de enquadramento. Dentre os parâmetros inorgânicos, são estabelecidos os valores máximos para os metais, que para as águas doces estão apresentados no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Valores máximo para metais Água Doce Classe 1.

Parâmetro	Água Doce	
	Classe 1	Classe 3
Cobre dissolvido	0,009 mg/L de Cu	0,013 mg/L de Cu
Chumbo total	0,01 mg/L de Pb	0,033 mg/L de Pb
Zinco total	0,18 mg/L de Zn	5,00 mg/L de Zn
Cádmio total	0,001 mg/L de Cd	0,01 mg/L de Cd
Cromo total	0,05 mg/L de Cr	0,05 mg/L de Cr

Fonte: CONAMA, 2005.

Considerando o intuito de utilização da água das bacias de drenagem urbana, foi estabelecendo uma comparação entre os resultados encontrados para a água do escoamento superficial e os valores máximos permitidos para as águas doces (Quadro 5.1), sabendo que suas classes podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento adequado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA nº 274/2000; à irrigação de culturas e hortaliças; e outros usos menos restritivos.

Dos valores encontrados, os pontos C1 e C4 apresentaram valores superiores aos de padrões para Classe 1 nas concentrações de Cobre, Chumbo, Zinco e Cromo, apenas no evento da data de 06/08/2008. O ponto C1 apresenta supera os valores máximos de Cobre e Chumbo no dia 01/07/2008. A área de contribuição do ponto C1 é o trecho inicial da bacia de Cidade Jardim, que contém as vias com empreendimentos comerciais.

5.5 Parâmetros Microbiológicos

Dentro dos objetivos do trabalho, estão incluídas as possíveis indicações de uso para água do escoamento superficial, desta forma, uma análise fundamental a ser feita é a avaliação dos indicadores microbiológicos. Foram realizadas análises apenas nas fases 02 e 03 do estudo, de acordo com as demandas do projeto MAPLU.

Na fase 02, foram analisados os eventos do dias 10/07/2008 e 25/02/2008, em cada um deles foram coletadas 03 garrafas na exutório da Bacia M, cuja análise estatística pode ser observada na Tabela 5.12.

Tabela 5.12. Resultados da medição dos parâmetros de *escherichia coli* e de coliformes totais.

Parâmetro	Eventos	Média	Mediana	Valor Mínimo	Valor máximo
<i>Escherichia Coli</i> (NMP)	10/07/08	$9,29 \times 10^2$	$9,14 \times 10^2$	$9,14 \times 10^2$	$9,60 \times 10^2$
	05/08/08	$2,32 \times 10^3$	$2,42 \times 10^3$	$1,41 \times 10^3$	$2,42 \times 10^3$
Coliformes Totais (NMP)	10/07/08	$1,01 \times 10^3$	$1,01 \times 10^3$	$1,01 \times 10^3$	$1,01 \times 10^3$
	05/08/08	$2,42 \times 10^3$	$2,42 \times 10^3$	$2,42 \times 10^3$	$2,42 \times 10^3$

Com os resultados encontrados para estes dois eventos, tem-se que água do escoamento superficial da Bacia M, apresenta valores que excedem os limites para um corpo d'água ser considerado satisfatório para balneabilidade, conforme as determinações da Resolução CONAMA nº 274/2000. É importante ressaltar que, devido à natureza do estudo em eventos separados de chuva, não há possibilidade de aplicar a análise temporal de amostras prevista na Resolução CONAMA acima referida. De qualquer forma, os valores encontrados apontam para a potencialidade da superfície da bacia de drenagem de carrear para os corpos receptores ou para as lagoas de retenção e infiltração os contaminantes fecais, advindos das fontes de poluição presentes ao longo da área de captação da bacia.

Na fase 03, o evento analisado foi no dia 02/07/2008, contemplando pontos ao longo das bacias M e C, cujos resultados encontram-se na Tabela 5.13. Para ambas as Bacias têm-se que o valor máximo para Coliformes Totais é de $2,42 \times 10^3$ NMP. É importante destacar que cada ponto possui contribuições específicas da bacia, logo

a caracterização precisa desses pontos requer análises em mais eventos. Na bacia C, destaca-se o ponto C4 (em vermelho), que apresenta maiores concentrações bacteriológicas.

Tabela 5.13 – Resultados de indicadores bacteriológicos para o evento do dia 02/07/2008

Ponto	<i>Escherichia Coli</i> (NMP)	Coliformes Totais (NMP)
C1	1,79x10	2,42x10 ³
C2	3,23x10	3,87x10 ²
C4	6,17x10	1,73x10 ³
M1-1	6,65x10	2,42x10 ³
M1-2	6,17x10	1,97x10 ³
M1-3	4,67x10	1,97x10 ³
M1-4	4,00x10	1,97x10 ³
M2	-	1,01x10 ³

Um ponto importante a se verificar, que pode ser estudado com aplicação dos amostradores compostos, é a variação da concentração dos indicadores biológicos ao longo do evento de chuva. Nos dados obtidos no ponto M1, cuja amostra é composta, é possível perceber que a carga com maior número de bactérias se concentra nos primeiros volumes da precipitação, tendo seu valor reduzido ao longo do evento como pode ser visto no Gráfico 5.71.

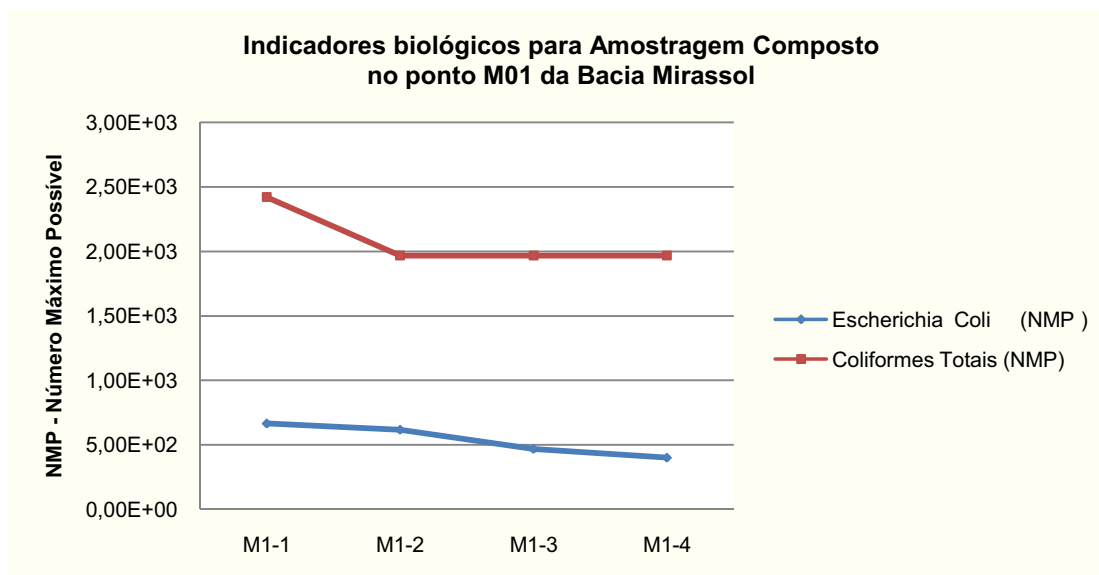


Gráfico 5.71 – Resultado para Amostragem Composta do ponto M1 da bacia M.

5.6 Verificação da utilização da água do escoamento superficial para irrigação

Para avaliar a viabilidade da utilização da água do escoamento superficial na irrigação, foram considerados os seguintes fatores: Cálculo da Razão de Absorção de Sódio – RAS, enquadramento quanto à condutividade elétrica, enquadramento quanto ao risco de sodicidade e às restrições quanto à toxicidade e à quantidade de nutrientes, conforme metodologia proposta por Richards (1954).

A combinação da Condutividade Elétrica e da RAS serve para avaliar os perigos que a água pode oferecer ao solo, bem como aponta uma indicação da salinidade e do aumento dos teores de sódio na solução do solo que, conseqüentemente, acarretam problemas de infiltração. O cálculo da RAS será realizado aplicando-se o método proposto por Richards (1954), no qual o valor é calculado pela Equação 5.1.

$$RAS = \frac{Na}{\left[\frac{Ca + Mg}{2} \right]^{1/2}} (mmol / L^{1/2})$$

Equação 5.1

Onde Na é a Concentração de Sódio (meq/L); Ca é a Concentração de Cálcio (meq/L); e Mg é a Concentração de Magnésio (meq/L).

Apenas durante a fase 03 de coletas foram analisados os indicadores que permitem o cálculo da RAS, devido ao programa de atividades do projeto ao qual este trabalho está vinculado. Como podem ser observados na Tabela 5.14, no que se diz respeito ao risco de salinidade, todos os pontos de ambas as bacias se apresentam com indicação de risco baixo para uso da água para irrigação. Quanto à sodicidade, todos os pontos se enquadram na classe S1 – Sem problemas.

Tabela 5.14. Classificação das Águas de Drenagem quanto a Salinidade e Sodicidade.

PONTO	RAS	Ce ($\mu\text{S/cm}$)	Risco de Salinidade	Risco de Sodicidade
M1-1	0,18	185,01	Risco Baixo	S1 - Sem problemas
M1-2	0,20	141,99	Risco Baixo	S1 - Sem problemas
M1-3	0,24	134,65	Risco Baixo	S1 - Sem problemas
M1-4	0,26	134,88	Risco Baixo	S1 - Sem problemas
M4-1	0,16	253,61	Risco Baixo	S1 - Sem problemas
M4-2	0,15	161,81	Risco Baixo	S1 - Sem problemas
M4-3	0,13	172,62	Risco Baixo	S1 - Sem problemas
M4-4	0,13	191,16	Risco Baixo	S1 - Sem problemas
M2	0,76	148,58	Risco Baixo	S1 - Sem problemas
C1	0,21	152,57	Risco Baixo	S1 - Sem problemas
C2	0,15	82,47	Risco Baixo	S1 - Sem problemas
C4	0,43	168,66	Risco Baixo	S1 - Sem problemas

No que se refere ao risco de toxicidade, dentre os parâmetros utilizados, o sódio e o cloreto influenciam na irrigação (RICHARDS, 1954). No caso dos cloretos a concentração máxima para irrigação deve ser de 3 meq/L e 10 meq/L para irrigação por aspersão e superficial, respectivamente. No trabalho desenvolvido, a maior concentração encontrada na bacia M foi de 1,67 meq/L, que não influencia na irrigação. Para a bacia C, a concentração máxima detectada foi de 5,09 mg/L, valor que excede o limite permitido para a irrigação por aspersão.

A qualidade, o rendimento e a estética das culturas produzidas podem ser comprometidos para comercialização devido ao excesso de nutrientes existentes na água empregada para irrigação. Outro ponto prejudicial é a corrosão excessiva dos equipamentos, que tendem a aumentar os custos de manutenção. Os valores normais indicados são: K^+ : 0 a 2 mg/L; $\text{NO}_3\text{-N}$: 0 a 30mg/L; $\text{NH}_4\text{+N}$: 0 a 5 mg/L; $\text{PO}_4\text{-P}$: 0 a 2 mg/L;; pH: 6,5 a 8,4 (RICHARDS, 1954).

A concentração dos nutrientes analisados estão apresentados na Tabela 5.15. Destaca-se (em vermelho) como fora do recomendado, o excesso de potássio no ponto C1 da bacia C. Desta forma é importante verificar sua aplicação, podendo causar problemas em algumas culturas produzidas.

Tabela 5.15 – Concentrações médias os dos nutrientes e do pH dos eventos analisados ao longo das bacias.

PONTOS	Potássio K ⁺ (mg/L)	Nitrato NO ₃ -N (mg/L)	Amônia NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	Ortofosfato PO ₄ - P (mg/L)	pH
M1-1	0,20	0,01	0,53	0,15	6,91
M1-2	0,40	0,01	0,38	0,12	7,03
M1-3	0,60	0,01	0,33	0,11	7,07
M1-4	0,60	0,01	0,47	0,13	7,09
M4-1	0,30	0,01	1,08	0,18	7,32
M4-2	0,20	0,02	1,10	0,18	7,34
M4-3	0,00	0,02	1,12	0,19	7,30
M4-4	0,20	0,02	1,12	0,18	7,31
M2	1,50	0,33	0,48	0,23	8,06
C1	4,00	0,27	1,44	0,05	7,34
C2	0,50	2,60	0,71	0,03	7,36
C4	0,20	0,09	0,92	0,29	7,16

Apesar os cloretos possuírem concentrações elevadas, apenas uma ponto da Bacia C oferece problemas para irrigação por aspersão. Quanto aos nutrientes, das concentrações identificadas, apenas o potássio apresentou valores acima dos recomendados, no ponto C1 da bacia C. Considerando os resultados da bacia M e C, presume-se que para empregar as águas da segunda bacia deverá haver um rígido controle de quais eventos devem ser utilizados.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que:

- No estudo da qualidade da água no exutório da Bacia Mirassol, foi detectada a ocorrência do fenômeno do first flush em todos os parâmetros analisados: Condutividade Elétrica, Cor, Turbidez, DQO, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais e Nitrato. No entanto, não ocorreu em todos os eventos, e quando ocorreu, comportou-se com intensidades variadas.
- A curva adimensional $M(V)$ constitui-se um instrumento muito útil para caracterizar a ocorrência do first flush. Ainda que o método da regressão de potência não possa ser aplicado em todas as curvas $M(V)$ obtidas, a análise gráfica pode indicar as parcelas de remoção ocorridas no evento.
- O emprego do amostrador automático favorece a elaboração dos polutogramas. Contudo, a determinação adequada do ponto de coleta é fundamental para que ocorra uma representação da bacia de drenagem em estudo. Nessa fase, houve problemas na execução dos experimentos que comprometeram a confiabilidade dos resultados, não permitindo, retirar dados consistentes na fase 02. Nesse estudo, os valores de sólidos sedimentáveis medidos no exutório da bacia foram inferiores aos encontrados nos coletores distribuídos na superfície coletora.
- No estudo da variação da qualidade da água ao longo da bacia de drenagem, foi constatado que a dimensão da área de contribuição do ponto de coleta influencia na qualidade da água. Quanto maior a área, maior sua capacidade de retenção e acúmulo de poluentes, ainda que os pontos pertençam à mesma bacia. Como pode ser percebida na comparação entre os valores da Bacia Cidade Jardim.
- As diferentes características de cada bacia contribuem para a variação da qualidade da água. Verificou-se que ainda que os pontos de coleta possuam áreas aproximadas, a qualidade da água do escoamento superficial urbano é diferente. Desta forma, os estudos sobre qualidade devem levar em consideração aspectos peculiares de cada área.
- Quanto aos nutrientes: nitrogênio, fósforo e potássio, em ambas as bacias apresentaram baixos valores de concentração. Neste caso, contribui pouco para deterioração da qualidade da água na lagoa de retenção e infiltração, bem como no subsolo.

- Em relação à contribuição da bacia com nutrientes, foi detectado que a bacia de Mirassol não possui uma contribuição elevada destes parâmetros para a infiltração no lençol. O que favorecer a injeção dessa água no lençol freático, sem impactos negativos ao meio ambiente.
- Na caracterização da variação da qualidade ao longo da bacia de drenagem, foi constatada a ocorrência do fenômeno first flush em 16 parâmetros dos 17 analisados, em pelo menos um dos pontos da Bacia Mirassol. Excetuando-se o nitrito, cuja remoção da massa foi proporcional ao volume escoado.
- Apesar da área de contribuição do ponto M1 ser inferior ao da M4, as maiores remoções ocorreram no primeiro ponto. Esta ocorrência tende a indicar a influência de outro fator na qualidade da água, que é a declividade da área de contribuição.
- Diante dos resultados obtidos, denota-se que a forma de coleta implicará na tomada de decisões gerenciais para os recursos das águas de drenagem. Desta forma, os amostradores compostos podem oferecer economia de instalações e o fornecimento de dados sobre a variação da qualidade da água.
- O ambiente litorâneo da cidade influencia no aparecimento dos íons Cloreto e Sulfato, evidenciando que uma das fontes de poluição é a deposição atmosférica.
- No que diz respeito aos metais pesados, a distribuição da precipitação ao longo do evento influi na presença de metais nas águas do escoamento pluvial urbano. Foram detectadas concentrações baixas, no entanto, em alguns eventos podem superar os valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, para Classe 01, mas isso ocorreu pontualmente.
- Quanto aos contaminantes biológicos, foi verificado que a superfície drenante da bacia possui elevado potencial para transportar esses contaminantes pela superfície até o seu exutório. Desta forma, as intervenções estruturais ou sanitárias a serem realizadas devem verificar atentamente esses parâmetros.
- Quanto ao emprego das águas de drenagem na irrigação foi constatado que não oferece risco de salinidade e sodicidade. Quanto aos nutrientes, das concentrações identificadas, apenas o potássio apresentou valores acima dos recomendados, e somente em um evento, no ponto C1 da bacia C, que constitui em um caso esporádico.

7 SUGESTÕES

Diante do caráter exploratório desta pesquisa, das dificuldades e das conclusões encontradas, sugere-se que:

- A variação da qualidade da água do escoamento superficial deve ser analisada durante todo o período chuvoso, bem como considerando campanhas que ultrapassem um ano de monitoramento, para validar as informações obtidas sobre a bacia em estudo, seguindo as orientações referenciadas no capítulo 2, na seção de Análise temporal da qualidade da água.
- Quanto ao emprego dos amostradores compostos na bacia, reforça-se que a estanqueidade entre os recipientes e a tubulação coletora deve ser bem executado para garantir a fidelidade das amostras, bem como não gerar dados que comprometam a confiança dos resultados.
- Sugere-se analisar a balneabilidade das lagoas de infiltração e detenção, segundo as prerrogativas da Resolução CONAMA nº 274/2000 e caracterizar o efeito poluidor das águas infiltradas nas lagoas de cada bacia.
- Quando à execução dos trabalhos em campo, sugere-se que seja feita uma campanha de esclarecimento com a população sobre o trabalho que está sendo desenvolvido, no sentido de colaborar na proteção dos equipamentos e como espécie de tentativa de evitar danos às instalações.
- Como na cidade de Natal/RN este estudo é recente, bem como a preocupação com a qualidade da água do escoamento, é ideal que sejam estudadas bacias com características hidrológicas, fisiográficas, sócio-econômicas e sanitárias diferentes. Desta forma pode-se ter um padrão para as intervenções de engenharia na solução dos diversos problemas de drenagem.

REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS

AHLMAN, Stefan. **Modelling of substance flows in urban drainage systems**. 2006. 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental)_Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Chalmers University of Technology. Göteborg (Suécia), 2006.

ALLISON, R. A.; CHIEW, F. H. S.; McMAHON, T. A. Nutrient contribution of leaf litter in urban stormwater. **Journal of Environmental Management**, n. 54, p. 269–272, 1998.

APHA *et al.*, **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18th ed. New York: Public Health Association, 1998.

ARGUE, J. R. Stormwater “source control” design procedures for waste: some issues and examples. In: NATIONAL CONFERENCE ON WATER SENSITIVE URBAN DESIGN – SUSTAINABLE DRAINAGE SYSTEMS FOR URBAN AREAS, 2000, Melbourne.

ARTINA, Sandro *et al.* (Coord.). **Sistemi di fognatura: Manuale di progettazione**. Milano: HOEPLI, 1997. 932 p.

AZZOLIN, Nelva Maria Peruffo. PIRES, Viviane Azzolin de Carvalho. Influência da drenagem pluvial urbana nas condições de balneabilidade do Lago Paranoá, no Distrito Federal. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 7., 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABES, 2006. 1 CD-ROM.

BAPTISTA, Márcio Benedito; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira. Hidrologia urbana e drenagem. In: SEMINÁRIO QUALIDADE DAS ÁGUAS. BELO HORIZONTE. 1., 2005, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** Belo Horizonte: UFMG – Escola de Engenharia – Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, 2005. Disponível em:<<http://www.ufmg.br/ehrh>>. Acesso em 27 jul. 2007.

BERNARDES, Ricardo Silveira; SOARES, Sérgio R. Ayrimoraes. **Esgotos contaminados e controle da poluição**: estratégias para planejamento do tratamento da mistura de esgotos sanitários e águas pluviais. Brasília: CAIXA, 2004. 160 p.

BERTRAND-KRAJEWSKI, J.; CHEBBO, G.; SAGET, A. Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and first flush phenomenon. **Water Resource**. v. 32. n. 8, p. 2341-2356, 1998.

BRASIL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Saneamento para todos: v. 4. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. 194 p.

BRASIL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Gestão do território e manejo das águas urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. 270 p.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre a balneabilidade. Resolução CONAMA Nº 274/2000, de 29 de novembro de 2000. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 jan. 2001.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução CONAMA Nº 357/2005, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

CHEONG, Chui Peng. Quality of stormwater runoff from an urbanized watershed. **Environmental Monitorinf and Assesment**, n.19, p. 449-456, 1991.

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

DE LUCA, S. J.; CASTRO, C.B.; IDE, C. N. Contaminação da chuva e da drenagem pluvial. **Revista Ambiente**. v. 4, n. 1, p. 49-53, 1990.

ELLIS, J. Bryan; MITCHELL, Gordon. Urban diffuse pollution: key data information approaches for the water framework directive. **Water and Environment Journal**, n.20, v.0, p.19-26, 2006.

GILBERT, Jennifer k.; CLAUSEN, John c. Stormwater runoff quality and quantity from asphalt, paver, and crushed stone driveways in Connecticut. **Water Research**. n.40, p. 826-832, 2006.

GOONETILLEKE, Ashantha; THOMAS, Evan. Water quality impacts of urbanization: evaluation of corrent research. In: ENERGY & RESOURCE MANAGEMENT RESEARCH PROGRAM. **Research Report**. Queensland: Centre for Built Environment and Engineering Research, Queensland University of Technology, 2003.

GOONETILLEKE, Ashantha; THOMAS, Evan; GINN, Simon; GILBERT, Dale. Understanding the role of land use in urban stormwater quality management. **Journal of Environmental Management**, v.1, n.74, p. 31-42, 2005.

GROMAIRE-MERTZ, M. C.; GARNAUD, S.; GONZALEZ, A.; CHEBBO, G. Characterization of urban runoff pollution in Paris. **Water Science and Technology**. n. 39, p.1-8, 1999.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. A. Drenagem urbana natal: parâmetros hidrológicos. In: CONFERÊNCIA MUNICIPAL DE SANEAMENTO URBANO, 1., 2004, Natal. **Anais eletrônicos...** Natal: CONSAB, 2004. 1 CD-ROM.

HARRIS COUNTY FLOOD CONTROL DISTRICT. **Storm water quality management guidance manual**. City of Houston (Texas), 2001.

HERNGREN, Lars; GOONETILLEKE, Ashantha; AYOKO, Godwin A. Understanding heavy metal and suspended solids relationships in urban stormwater using simulated rainfall. **Journal of Environmental Management**, n.76, p. 149–158, 2005.

LEE, J.H.; BANG, K.W.; KETCHUM, L.H.;CHOE, J.S.;YU, M.J. First flush analysis of urban storm runoff. **The science of the total environment**, n. 293, p. 163-175, 2002.

MAKSINOVIC, Cedo (Editor Chefe); NOUH, M. (Editor do Volume III). Urban stormwater pollution. In: URBAN DRAINAGE IN SPECIFIC CLIMATES: URBAN DRAINAGE IN ARID AND SEMI-ARID CLIMATES. **Documentos Técnicos em Hidrologia**. v. 3. Paris: UNESCO, 2001.

MELO, L. R. C.; ANDRADE NETO, C. O. Um amostrador automático simples para a captação de água da chuva em seus diferentes estágios. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 24., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABES, 2007. 1 CD-ROM.

MOREIRA, L. F. F.; ARAÚJO, V. M.; SANTANA, S. C. Calibração de parâmetros hidrológicos numa bacia urbana em Natal. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS, 5., 2000, Natal. **Anais...** Natal: ABRH, 2000. p. 396-406.

NASCIMENTO, N.O.; ELLIS, J.B.; BAPTISTA, M.B.; DEUTSCH, J.C. Using detention basins: operational experience and lessons. **Urban Water**, n.1, p. 113-124, 1999.

NATAL. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo – Natal (RN). **Anuário Natal 2005**. Natal: Departamento de Informação, Pesquisa e Estatística, 2005.

PRODANOFF, Jorge Henrique Alves. **Avaliação da poluição difusa gerada por enxurradas em meio urbano**. 2005. 276 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

PORTO, Mônica. Aspectos Qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M.T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 1995. p. 387-428.

RAMOS, Carlos Llot. Erosão urbana e produção de sedimentos. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M.T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1995. p. 387-428.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soil** (1954). Disponível em: http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/53102000/hb60_pdf/Hb60ch5.pdf. Acesso em: 12 mar. 2007.

RIGHETTO, Antônio. Marozzi. **Estudo Quali-Quantitativo e de Manejo de Águas Pluviais em Área de Drenagem Piloto na Cidade de Natal, RN – MAPLU-RN**. In: REUNIÃO DA REDE DO TEMA 4: MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS. 1. Natal, 2007.

_____. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Paulo: EDUSP, 1999.

ROSSI, Luca; ALENCASTRO, Luiz de; KUPPER, Thomas; TARRADELLAS, Joseph. Urban stormwater contamination by polychlorinated biphenyls (PCBs) and its importance for urban water systems in Switzerland. **Science of the Total Environment**, n.322, p.179–189, 2004.

SILVA, Salomão Anselmo; OLIVEIRA, Rui. Manual de análises físico-químicas de água de abastecimento e residuárias. Campina Grande: O Autor, 2001.

SOUZA, Cezarina Maria Nobre; MORAES, Luiz Roberto Santos; BERNARDES, Ricardo Silveira. Doenças relacionadas à drenagem urbana de águas pluviais: modelo causal e proposta de classificação ambiental. In: CONGRESSO IBÉRICO SOBRE GESTÃO E PLANEAMENTO DA ÁGUA, 5., 2006, Faro. **Anais ...** Faro, 2006.

TAEBI, Amir; DROSTE, Ronald L. Pollution loads in urban runoff and sanitary wastewater. **The science of the total environment**, 327 (2004), 175-184,

TEMPRANO, Javier; ARANGO, Oscar; CAGIAO, Juan; SUÁREZ, Joaquín; TEJERO, Iñaki. **Stormwater quality calibration by SWMM: A case study in Northern Spain**. Disponível em: <<http://www.wrc.org.za>>. Acesso em: 19 out. 2006.

TOMAZ, Plínio. **Poluição difusa**. 1.ed. São Paulo: Navegar, 2006.

TSIHRINTZIS, Vassilios A.; HAMID, Rizwan. Modeling and Management of Urban Stormwater Runoff Quality: A Review. **Water Resources Management**, n.11, p. 137–164, 1997.

TST CONSULTING ENGINEERS INC. **Stormwater quality control**. In: Stormwater quality control design guidance manual. v. 3. City of Golden, Texas, 2005.

TUCCI, C. E. M (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2002. 943 p.

TUCCI, C. E. M . ; BERTONI, Juan Carlos (Org.). Águas urbanas. In: **Inundações urbanas na América do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2003. p. 11-44.

ZATMAN, R. E.; Ramsey III, R.H.; Huang, A. Variability of total and dissolved elements in stormwater runoff. **Journal of Soil and Water Conservation**. 56.3 (Summer 2001): 263(4). General OneFile. Gale. CAPES. 22 Oct.2007.

ZOPPOU, Christopher. Review of urban storm water models. **Environmental Modelling & Software**. 16, p. 195–231, 2001.