

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA E DE UM SISTEMA FILTRO-
VALA-TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO NO TRATAMENTO DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL DIRETO PREDIAL EM ESCALA REAL EM SÃO CARLOS – SP**

LORENA AVELINA ROJAS GUTIERREZ

São Carlos

2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA E DE UM SISTEMA FILTRO-
VALA-TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO NO TRATAMENTO DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL DIRETO PREDIAL EM ESCALA REAL EM SÃO CARLOS – SP**

LORENA AVELINA ROJAS GUTIERREZ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Ademir Paceli Barbassa

São Carlos

2011

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

R741aq

Rojas Gutierrez, Lorena Avelina.

Avaliação da qualidade da água de chuva e de um sistema filtro-vala-trincheira de infiltração no tratamento do escoamento superficial direto predial em escala real em São Carlos – SP / Lorena Avelina Rojas Gutierrez. -- São Carlos : UFSCar, 2011.

198 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2011.

1. Drenagem urbana. 2. Análise multivariada. 3. Água - qualidade. 4. Remoção de poluentes. 5. Técnicas compensatórias. I. Título.

CDD: 628.21 (20^a)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
C. P. 676 – 13.560-970 – São Carlos – SP
Fone/FAX: (16) 3351-8295
e-mail: ppgeu@ufscar.br
home-page: www.ufscar.br/~ppgeu



FOLHA DE APROVAÇÃO

LORENA AVELINA ROJAS GUTIERREZ

Dissertação defendida e aprovada em 24/08/2011
pela Comissão Julgadora

Prof. Dr. Ademir Paceli Barbassa
Orientador (DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Márcio Benedito Baptista
(ERH/UFMG)

Prof. Dr. Edener Rodrigues Pereira Filho
(DQ/UFSCar)

Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva
Coordenador do CPGEU

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Mestres da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e aos meus mentores espirituais que me protegem e me iluminam em todos os momentos de reflexões, escolhas e desafios.

Agradeço à minha mãe Esperanza Rojas Orozco, ao meu pai Izidoro Antonio Viana Gutierrez, à minha irmã Adriana Idalina Rojas Gutierrez e aos meus irmãos Izidoro Antonio Viana Gutierrez Filho e Miguel Angelo Gutierrez Neto.

Agradeço, em especial, ao meu namorado Gustavo Ferreira de Souza que me deu suporte logístico e apoio em todas as etapas da pesquisa.

Agradeço ao orientador deste trabalho, Prof. Dr. Ademir Paceli Barbassa, pela confiança e conhecimentos compartilhados.

Agradeço à Universidade Federal de São Carlos e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa.

Agradeço à Fundação de Estudos e Projetos – FINEP pelo financiamento do projeto “Quantidade, Qualidade, Tratamento e Aproveitamento de Águas Pluviais – QTAP” e bolsa de Desenvolvimento Tecnológico Industrial, e ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo financiamento do projeto “Avaliação Qualitativa e Quantitativa de Vala Conjugada com Trincheira de Infiltração”.

Agradeço aos professores doutores Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira (DECiv-UFSCar), Rodrigo Braga Moruzzi (DECiv-UFSCar), Edenir Rodrigues Pereira Filho (DQ-UFSCar), Joaquim de Araújo Nóbrega (DQ-UFSCar), Pedro Silva Fadini (DQ-UFSCar), Aparecido Mozeto (DQ-UFSCar) e Maria Cristina Forti (INPE).

Agradeço aos colegas do Grupo de Pesquisa Estudo Integrado dos Recursos Hídricos (G-Hidro): Alessandro Hirata Lucas e Loide Angelini Sobrinho.

Agradeço aos pesquisadores do Grupo de Análise Instrumental Aplicada (GAIA) do Departamento de Química da UFSCar: doutorandos Marcelo Braga e Catarina Diniz e à técnica Dra. Lucimar Fialho. Agradeço também ao técnico de Vidraria do Departamento de Química da UFSCar Ademir.

Agradeço aos técnicos do Laboratório de Saneamento do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (SHS-EESC-USP): Paulo Fragiácomo, Júlio, Natália e Maria Aparecida.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	iii
LISTA DE SÍMBOLOS	iv
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS E QUADROS	xi
1. INTRODUÇÃO	20
2. OBJETIVOS	21
2.1. OBJETIVO GERAL	21
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. JUSTIFICATIVA	21
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
4.1. HIDROLOGIA URBANA E QUALIDADE DA ÁGUA.....	22
4.1.1. Limites permitidos para qualidade das águas em nível de Brasil	21
4.1.2. Composição da água de chuva e “Estado da Arte” em qualidade de água de chuva.....	25
4.1.3. Composição do escoamento superficial direto e “Estado da Arte” da qualidade água do escoamento superficial direto.....	37
4.1.3.1. Impactos da poluição das águas pluviais e poluentes associados.....	40
4.1.3.1.1. <i>Poluição por hidrogenados e fosforados..</i>	40
4.1.3.1.2. <i>Poluição orgânica.....</i>	40
4.1.3.1.3. <i>Poluição microbiológica.....</i>	41
4.1.3.1.4. <i>Poluição por sólidos.</i>	42
4.1.3.1.5. <i>Poluição tóxica por metais pesados e outros.</i>	42
4.2. TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS EM DRENAGEM URBANA: EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE METAIS, BACTÉRIAS E FINOS	46
4.2.1. Trincheira de infiltração.....	47
4.2.2. Vala de infiltração com filtro de grama... ..	49
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
5.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	47
5.2. ESQUEMA DE AMOSTRAGEM	53
5.3. PROGRAMA DE AMOSTRAGEM	66
5.3.1. Período de amostragem.....	66
5.3.2. Tipos de amostras e frequência de amostragem.....	66
5.3.3. Descontaminação dos materiais de coleta/amostragem.....	69
5.3.4. Amostragem propriamente dita.... ..	73
5.4. PROGRAMA DE ANÁLISE LABORATORIAL.....	74
5.4.1. Planejamento experimental e métodos analíticos.....	74

5.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	81
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	85
6.1. AMOSTRAGENS REALIZADAS	86
6.2. RESULTADOS E ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS	89
6.2.1. Qualidade da água de chuva: análise do efeito da lavagem da atmosfera (washout) e períodos sem chuva.....	89
6.2.2. Qualidade da água de chuva: comparação dos resultados com estudos precedentes e legislações e normas vigentes.....	496
6.2.3. Análise de Componentes Principais e Análise Hierárquica de Agrupamentos para o conjunto de amostras de água de chuva.....	103
6.2.4. Qualidade da água do escoamento superficial direto predial: efeito da lavagem da superfície (first flush) e diluição.....	114
6.2.5. Qualidade da água do escoamento superficial direto: comparação dos resultados com estudos precedentes e legislações e normas vigentes.....	120
6.2.6. Análise de Componentes Principais e Análise Hierárquica de Agrupamentos para o conjunto de amostras de escoamento superficial direto predial.....	124
6.2.7. Qualidade da água do escoamento superficial direto na trincheira de infiltração: análise da remoção de poluentes e melhoria da qualidade da água do ESD predial.....	138
6.2.8. Qualidade da água do escoamento superficial direto na trincheira de infiltração: comparação dos resultados com estudos precedentes e legislações e normas vigentes.....	135
6.2.9. Análise de Componentes Principais e Análise Hierárquica de Agrupamentos para o conjunto de amostras de água de escoamento superficial direto da trincheira de infiltração.....	138
7. CONCLUSÃO.....	159
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	161
APÊNDICE A	168
A.1. PROJETO DO SISTEMA F-V-T.....	169
A.1.1. Dimensionamento.....	169
A.1.1.1. Coeficiente de permeabilidade do solo	150
A.1.1.2. Intensidade e altura precipitada	151
A.1.1.3. Vazão de infiltração.....	151
A.1.1.4. Volumes a armazenar no sistema de infiltração.....	152
A.1.1.5. Tempo de esvaziamento da trincheira de infiltração	153
APÊNDICE B	173
B.1. CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO DO SISTEMA F-V-T	174
B.1.1. Instalação da canaleta que conecta o sistema de coleta predial do DMed ao sistema F-V-T....	174
B.1.2. Construção do abrigo dos equipamentos.....	175
B.1.3. Instalação do vertedor.....	175
B.1.4. Instalação da canaleta de distribuição de água pluvial.....	176

B.1.5. Escavação da vala e da trincheira de infiltração.....	178
B.1.6. Instalação da canaleta que conecta o sistema de coleta predial do DMed ao sistema F-V-T.....	174
B.1.7. Preenchimento da trincheira com brita.....	178
B.1.8. Instalação e adaptação dos poços de monitoramento qualitativo e quantitativo.....	179
B.1.9. Espalhamento manual da brita.....	185
B.1.10. Encapsulamento da trincheira com geotêxtil e colocação da lona.....	186
B.1.11. Plantio de grama.....	187
B.1.12. Preenchimento da camada de areia e seixo rolado na trincheira.....	188
B.1.13. Manutenção do corte e da irrigação da grama.....	190
APÊNDICE C	190
C.1. INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E MATERIAIS DE COLETA	191
C.1.1. Instalação do wet only (MTX, Italy).....	191
C.1.2. Conexão, programação, funcionamento e instalação do sampler 6712C (ISCO, EUA).....	192
C.1.3. Montagem e instalação do material de coleta na trincheira de infiltração.....	200
APÊNDICE D	201
D.1. PROCEDIMENTOS DAS ANÁLISES FÍSICAS	202
D.1.1. Sólidos Totais.....	202
D.1.2. Sólidos Totais Dissolvidos.....	203
D.2. PROCEDIMENTOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS	204
D.2.1. Condutividade Elétrica.....	204
D.2.2. Cloreto.....	205
D.2.3. Demanda Química de Oxigênio.....	206
D.2.4. Nitrato.....	207
D.2.5. Nitrito.....	208
D.2.6. Nitrogênio Amoniacal.....	209
D.2.7. Sulfato.....	210
D.2.8. Metais pesados.....	211
D.3. PROCEDIMENTOS DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	218
D.3.1. Coliformes Totais e Fecais (<i>E. coli</i>).....	218
APÊNDICE E	220

AValiação DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA E DE UM SISTEMA FILTRO-VALA-TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO NO TRATAMENTO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO PREDIAL EM ESCALA REAL EM SÃO CARLOS – SP

RESUMO

Diversos estudos citam a poluição das águas pluviais como equivalente e, às vezes, até superior às presentes nos esgotos. De acordo com tal premissa e pensando na problemática ambiental, especialmente na contaminação de águas subterrâneas e disseminação de doenças por veiculação hídrica, a qualidade da água pluvial tornou-se um foco importante de estudo. Este trabalho visa o monitoramento de um sistema de infiltração constituído de filtro de grama, vala e trincheira de infiltração, construído em escala real no campus da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, localizado na cidade de São Carlos – SP, a partir da avaliação da qualidade da água do escoamento superficial direto predial antes e após passar pelo sistema de infiltração proposto, paralelo ao monitoramento da qualidade da água de chuva, mediante análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos estabelecidos em legislação e em experiências nacionais e internacionais, comparadas às condições da área de estudo, e análise exploratória dos dados por duas técnicas quimiométricas: Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise Hierárquica de Agrupamentos (HCA). De acordo com a análise da variação dos resultados obtidos, sobretudo, da qualidade da água atmosférica e da qualidade da água do escoamento superficial direto, obtiveram-se como resultados concentrações sensivelmente menores dos parâmetros Turbidez, Cor, ST, STD, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amônico, Sulfato, Cloreto, Cádmio, Cobre, Chumbo e Zinco analisados nas amostras de água diretamente da chuva, comparando-se com estudos precedentes na literatura e normas e legislações de recursos hídricos vigentes. O sistema filtro-vala-trincheira de infiltração removeu os seguintes parâmetros analisados, comparando-se com a água do escoamento superficial direto predial no canal: Zinco (90,89%), Cobre (88,31%), Condutividade Elétrica (31,40%), Nitrogênio Amônico (24,32%) e Cloreto (5,88%). Com relação às análises por PCA, evidenciaram-se as características entre as amostras de acordo com as condições de amostragem (dia, mês, local e tempo) e variáveis analisadas, dividindo em grupos de amostras e contribuindo para a extração e interpretação das informações que dificilmente seriam visualizadas diretamente na matriz de dados. As análises por HCA complementaram as análises por PCA.

Palavras-chave: análise de componentes principais, drenagem urbana, qualidade, trincheira de infiltração.

EVALUATION OF RAINFALL WATER QUALITY AND A FILTER-SWALE-INFILTRATION TRENCHES SYSTEM IN THE TREATMENT OF THE BUILDING DIRECT RUNOFF IN REAL SCALE IN SÃO CARLOS – SP

ABSTRACT

Several studies cite the pollution of stormwater as equivalent and sometimes even superior to those found in the sewers. According to this premise and thinking about environmental issues, especially in the contamination of groundwater and the spread of waterborne diseases, the quality of rainwater has become an important focus of study. This work concerns the monitoring of an infiltration system consisting of grass filter, trench and infiltration trench, built in full scale on the campus of University Federal of São Carlos - UFSCar, located in São Carlos - SP, from the assessment water quality of runoff directly before and after passing through the proposed infiltration system, parallel to monitoring the quality of rain water, through analysis of the physico-chemical and bacteriological established in legislation and international experiences, compared the conditions of the study area, and exploratory data analysis by two chemometric techniques: Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Cluster Analysis (HCA). According to the analysis of the results variation, especially the quality of atmospheric water and quality of direct runoff results were obtained as concentrations low significantly to parameters Turbidity, Color, ST, STD, Nitrate, Nitrite, Ammonia nitrogen, Sulfate, Chloride, Cadmium, Copper, Lead and Zinc in the water samples analyzed directly from rain, compared with previous studies in the literature and standards and legislation existing about water resources, and the efficiency of the infiltration trench in the removal of Zinc (90,89%), Cooper (88,31%), Electrical Conductivity (31,40%), Ammonial nitrogen (24,32%) and Chloride (5,88%) compared with the predial direct runoff in the channel. With regard to PCA analysis, proves the characteristics between samples according to the conditions of sampling (day, month, place and time) and analysed variables, dividing into groups of samples and contributing to the extraction and interpretation of information unlikely to be viewed directly in the data matrix. The analysis complemented by HCA analysis by PCA.

Key words: principal component analysis, urban drainage, quality, infiltration trench.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA	“American Public Health Association” Associação Americana de Saúde Pública
AWWA	“American Water Works Association” Associação Americana de Trabalhos com Água
BMP	“Best Management Practices” Boas Práticas de Gestão
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EDF	Escritório de Desenvolvimento Físico da Universidade Federal de São Carlos
FCTH	Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica
ICP-MS	“Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy” Espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LD	Limite de detecção
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards
NBR	Norma Brasileira
NIST	“National Institute of Standards and Technology” Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos Estados Unidos
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
PA	Pureza Analítica
PVC	Policloreto de Vinila
RBC	Rede Brasileira de Calibração
SciELO	“Scientific Electronic Library Online”
SCS	“Soil Conservation Service” Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos
TMP	Teor médio ponderado
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
UPM	“Urban Pollution Management”
USDA	“United State Department of Agriculture” Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
USEPA	“United States Environmental Protection Agency” Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
UV	Ultravioleta
USGS	“US Geological Survey”
VMP	Valor máximo permitido
WEF	“Water Environment Federation” Federação Ambiental da Água
WHO	“World Health Organization” Organização Mundial da Saúde

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius (unidade de temperatura)
Ca ²⁺	Íon (cátion) Cálcio
Cd	Cádmio
Cl ⁻	Íon (ânion) Cloreto
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
Cu	Cobre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO _{5,20°C}	Demanda Bioquímica de Oxigênio em 5 dias a 20°C
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DOC	Carbono orgânico dissolvido
COT	Carbono orgânico total
<i>E. coli</i>	Escherichia coli
ES	Condutividade elétrica
FeS	Sulfeto de ferro
K ⁺	Íon (cátion) Potássio
H ⁺	Hidrogênio livre
HCl	Ácido clorídrico
HNO ₃	Ácido nítrico
Mg ²⁺	Magnésio
Na ²⁺	Íon (cátion) Sódio
NCN	Núcleo de condensação de nuvens
NH ₄ ⁺	Amônio
NO ₃ ⁻	Nitrato
NO ₂ ⁻	Nitrito
OD	Oxigênio Dissolvido
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogênio
PHA	hidrocarboneto aromático policíclico
ppb	partes por bilhão
ppm	partes por milhão
q _{as}	Capacidade de absorção
SDF	Sólidos dissolvidos fixos
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SFT	Sólidos fixos totais
SO ₄ ²⁻	Sulfato
SS	Sólidos sedimentáveis
SST	Sólidos suspensos totais
ST	Sólidos totais
SVT	Sólidos voláteis totais
UFC	Unidade Formadora de Colônia
Tr	Tempo de retorno
uH	Unidade de escala Hazen
uT	Unidade de turbidez
Zn	Zinco

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1. Localização da área de estudo e pontos de referência importantes: (a) mancha urbanizada do Município de São Carlos – SP (destaque para o perímetro do campus da UFSCar); (b) campus da Universidade Federal de São Carlos (destaque para a área de estudo); (c) área de estudo.....	53
Figura 5.2. <i>Wet only</i> instalado no telhado da Casa de Força (a) e prédio do DMed ao fundo da Casa de Força (b).....	55
Figura 5.3. Canaleta que conecta o sistema de água pluvial do prédio do Departamento de Medicina ao sistema F-V-T.....	55
Figura 5.4. Sistema Filtro-Vala-Trincheira de infiltração.....	56
Figura 5.5. Planta do sistema filtro-vala-trincheira de infiltração.....	57
Figura 5.6. Corte típico do sistema filtro-vala-trincheira de infiltração.....	57
Figura 5.7. Corte típico da trincheira de infiltração (etapa 6).....	57
Figura 5.8. Esquema proposto para coleta no <i>wet only</i>	58
Figura 5.9. Equipamento instalado com o funil para amostragem.....	59
Figura 5.10. Posicionamento do frasco coletor no cilindro do <i>wet only</i>	59
Figura 5.11. Mangueira inserida internamente no funil de aço inox.....	59
Figura 5.12. Posicionamento da mangueira para encaixe no frasco de coleta.....	59
Figura 5.13. Encaixe da mangueira do funil no frasco dentro do <i>wet only</i>	59
Figura 5.14. Posicionamento final do funil.....	59
Figura 5.15. Esquema de coleta para o amostrador sequencial 6712C.....	60
Figura 5.16. <i>Sampler</i> 6712C (ISCO, EUA).....	61
Figura 5.17. Identificação dos componentes do amostrador 6712C (ISCO, USA) ...	62
Figura 5.18. Esquema de coleta dentro do poço de monitoramento na trincheira....	63
Figura 5.19. Conjunto de materiais.....	64
Figura 5.20. Dois béqueres de vidro e dois tubos de PVC perfurados, com cap.....	64
Figura 5.21. Detalhe da abertura inferior da “bolsa de geotêxtil”.....	64
Figura 5.22. Fechamento da bolsa com parafuso plástico e borracha.....	64
Figura 5.23. Posicionamento dos tubos e béqueres sobre um peso de 1 Kg, dentro da “bolsa de geotêxtil” costurada.....	64
Figura 5.24. Esquema montado com todos os materiais internos.....	64
Figura 5.25. Material de coleta ao lado do poço de monitoramento para demonstração de suas dimensões.....	65
Figura 5.26. Destaque para a fita do material de coleta disposta externamente no poço de monitoramento.....	65
Figura 5.27. Inserção do material de coleta dentro do poço de monitoramento, mantendo a posição do cabo do sensor de nível também instalado no poço.....	65
Figura 5.28. Interior do tubo perfurado na altura da trincheira de infiltração, com o material de coleta posicionado no fundo.....	65

Figura 5.29. Balão volumétrico de 1 L adaptado (e réplica) para o encaixe com o funil dentro do cilindro do <i>wet only</i>	69
Figura 5.30. Sacola de polietileno para revestimento do funil de aço inox	69
Figura 5.31. Balão volumétrico de 1 L adaptado (e réplica) para o encaixe com o funil dentro do cilindro do <i>wet only</i>	70
Figura 5.32. Mangueira de vinil com filtro de aço inoxidável	70
Figura 5.33. Dois béqueres de vidro de 500 mL.....	70
Figura 5.34. Armazenamento de frascos do Grupo 1 em estado de descontaminação com solução 10% (v/v) de HNO ₃	72
Figura 5.35. Armazenamento de frascos do Grupo 2 em estado de descontaminação com solução 5% (v/v) de HCl	72
Figura 6.2. Gráficos da variação das concentrações médias de Turbidez, Cor, Condutividade Elétrica, DQO, ST e STD na água de chuva em função da precipitação antecedente	93
Figura 6.3. Gráficos da variação das concentrações médias de NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ , SO ₄ ²⁻ e Cl ⁻ na água de chuva em função da precipitação antecedente.....	94
Figura 6.4. Gráficos da variação das concentrações médias de Cd, Cu, Pb e Zn na água de chuva em função da precipitação antecedente	95
Figura 6.5. Descrição dos componentes principais do conjunto 1a: (a) gráfico de seleção de PCs significativos; (b) valores correspondentes aos 8 PCs	105
Figura 6.6. Descrição dos componentes principais do conjunto 1b: (a) gráfico de seleção de PCs significativos; (b) valores correspondentes aos 4 PCs.....	106
Figura 6.9. Gráfico (PC1 x PC2) dos <i>scores</i> , classe “mês”, para os dados autoescalados do conjunto PCA1a	109
Figura 6.10. Gráfico (PC1 x PC2) dos <i>loadings</i> para os dados autoescalados do conjunto PCA1a	109
Figura 6.11. Gráfico (PC1 x PC2) dos <i>scores</i> , classe “mês”, para os dados autoescalados do conjunto PCA1b	111
Figura 6.12. Gráfico (PC1 x PC2) dos <i>loadings</i> para os dados autoescalados do conjunto PCA1b	111
Figura 6.13. Dendograma para o conjunto de dados HCA1a empregando a construção tipo incremental.....	113
Figura 6.14. Dendograma para o conjunto de dados HCA1b empregando a construção tipo incremental.....	113
Figura 6.15. Gráficos da variação das concentrações médias de Turbidez, Cor, Condutividade Elétrica, DQO, ST e STD na água do escoamento superficial direto predial em função do tempo de amostragem no canal.....	115
Figura 6.16. Gráficos da variação das concentrações médias de NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ , SO ₄ ²⁻ e Cl ⁻ na água do escoamento superficial direto predial em função do tempo de amostragem no canal.....	116
Figura 6.17. Gráficos da variação das concentrações médias de Cd, Cu, Pb e Zn na água do esd predial em função do tempo de amostragem no canal.....	118
Figura 6.18. Descrição dos componentes principais do conjunto 2: (a) gráfico de seleção de PCs significativos; (b) valores correspondentes aos 9 PCs	125

Figura 6.20. Gráfico (PC1 x PC2) dos <i>scores</i> , classe “mês”, para os dados autoescalados do conjunto PCA2	127
Figura 6.21. Gráfico (PC1 x PC2) dos <i>loadings</i> para os dados autoescalados do conjunto PCA2	127
Figura 6.22. Gráfico (PC1 x PC2) dos <i>scores</i> , classe “tempo”, para os dados autoescalados do conjunto PCA2	128
Figura 6.23. Dendograma para o conjunto de dados HCA2 empregando a construção tipo incremental.....	129
Figura 6.24. Gráficos da variação das concentrações médias de Turbidez, Cor, Condutividade, DQO, ST e STD nas amostras do três locais de amostragem	132
Figura 6.25. Gráficos da variação das concentrações médias de NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ , SO ₄ ²⁻ e Cl ⁻ nas amostras do três locais de amostragem	133
Figura 6.26. Gráficos da variação das concentrações médias de Cd, Cu, Pb e Zn nas amostras do três locais de amostragem.....	134
Figura 6.27. Descrição dos componentes principais do conjunto 3a: (a) gráfico de seleção de PCs significativos; (b) valores correspondentes aos 7 PCs	139
Figura 6.28. Descrição dos componentes principais do conjunto 3b: (a) gráfico de seleção de PCs significativos; (b) valores correspondentes aos 5 PCs	139
Figura 6.29. Descrição dos componentes principais do conjunto 3c: (a) gráfico de seleção de PCs significativos; (b) valores correspondentes aos 4 PCs	139
Figura 6.33. Gráfico (PC1 x PC2) dos <i>scores</i> , classe “local”, para os dados autoescalados do conjunto PCA3a	147
Figura 6.34. Gráfico (PC1 x PC2) dos <i>loadings</i> para os dados autoescalados do conjunto PCA3a	147
Figura 6.35. Dendograma para o conjunto de dados HCA3a empregando a construção tipo incremental.....	150
Figura 6.36. Gráfico (PC1 x PC2) dos <i>scores</i> , classe “local”, para os dados autoescalados do conjunto PCA3b	152
Figura 6.37. Gráfico (PC1 x PC2) dos <i>loadings</i> para os dados autoescalados do conjunto PCA3b	152
Figura 6.38. Gráfico (PC1 x PC2) dos <i>scores</i> , classe “mês”, para os dados autoescalados do conjunto PCA3b	153
Figura 6.39. Dendograma para o conjunto de dados HCA3b empregando a construção tipo incremental.....	154
Figura 6.40. Gráfico (PC1 x PC2) dos <i>scores</i> , classe “local”, para os dados autoescalados do conjunto PCA3c.....	156
Figura 6.41. Gráfico (PC1 x PC2) dos <i>loadings</i> para os dados autoescalados do conjunto PCA3c.....	156
Figura 6.42. Gráfico (PC1 x PC2) dos <i>scores</i> , classe “mês”, para os dados autoescalados do conjunto PCA3c.....	157
Figura 6.43. Gráfico (PC1 x PC2) dos <i>scores</i> , classe “tempo”, para os dados autoescalados do conjunto PCA3c.....	157
Figura 6.44. Dendograma para o conjunto de dados HCA3c empregando a construção tipo incremental.....	158

Figura A.1. Extração de amostra de solo (área da vala) para análises físicas laboratoriais durante a construção do sistema de infiltração.....	169
Figura A.2. Infiltrômetro de duplo-anel utilizado no ensaio de infiltração.....	169
Figura B.1. Canaletas com tampas de concreto instaladas no período de construção do sistema F-V-T..	174
Figura B.2. Canaleta com tampas de metal durante o período de funcionamento do sistema.....	174
Figura B.3. Abrigo durante evento intenso de chuva.....	175
Figura B.4. Extravasão do abrigo após evento intenso em 18/01/2011.....	175
Figura B.5. Vertedor triangular reinstalado no canal retangular	176
Figura B.6. Canal diafragma (manifold), com brita suja e acúmulo de sedimentos, logo após a construção do sistema	176
Figura B.7. Canal diafragma durante funcionamento do sistema em período chuvoso de 2010	176
Figura B.8. Resíduos encontrados dentro do tubo diafragma	177
Figura B.10. Abertura da área da trincheira	178
Figura B.11. Interior da trincheira escavada.....	178
Figura B.12. Detalhe da colocação do geotêxtil na extremidade da trincheira	178
Figura B.13. Colocação do geotêxtil na extremidade da trincheira	178
Figura B.14. Detalhe da colocação do geotêxtil na extensão da trincheira	179
Figura B.15. Colocação do geotêxtil na extensão da trincheira.....	179
Figura B.16. Colocação da brita por trator com retroescavadeira	179
Figura B.17. Interior da trincheira escavada.....	178
Figura B.18. Detalhe do poço de coleta projetado (sem escala).....	181
Figura B.19. Escavação de um quadrado (40 cm x 40 cm) 30 cm abaixo do nível da trincheira.....	181
Figura B.20. Início do preenchimento do quadrado com brita nº 3.....	181
Figura B.21. Perfurações manuais de Ø ½” nos 10 cm inferiores do tubo	182
Figura B.22. Posicionamento do tubo de PVC de Ø 200 mm e 225 cm de comprimento no quadrado delineado	182
Figura B.23. Término de preenchimento do quadrado com brita	182
Figura B.24. Início do fechamento do quadrado com geotêxtil.....	182
Figura B.25. Medição da extensão do geotêxtil (70 cm) do fundo da trincheira ao tubo de PVC.....	183
Figura B.26. Fixação do geotêxtil no tubo de PVC com fita adesiva plástica	183
Figura B.27. Detalhe da vedação com fita adesiva	183
Figura B.28. Retomada do preenchimento com brita na área da trincheira.....	183
Figura B.29. Detalhe do poço de inspeção projetado (sem escala)	184
Figura B.30. Instalação do poço de monitoramento quantitativo.....	185
Figura B.31. Poço monitoramento quali-quantitativo após adaptação da altura	185
Figura B.32. Espalhamento manual da brita	186
Figura B.33. Locação de madeira para proteção superficial	186

Figura B.34. Conferência do nível com estacas	187
Figura B.35. Escarificação do solo	187
Figura B.36. Início do plantio de grama em placas	187
Figura B.37. Término do plantio de grama em placas.....	187
Figura B.38. Preenchimento da trincheira com areia	188
Figura B.39. Preenchimento da trincheira com seixo rolado	188
Figura B.40. Vista do preenchimento finalizado da camada de seixo rolado	188
Figura B.41. Grama cortada e irrigada	189
Figura C.1. Instalação do tablado de madeira com furadeira	191
Figura C.2. Substituição da escada de madeira pela escada de alumínio	191
Figura C.3. Tablado instalado para apoiar o <i>wet only</i> na casa de força	192
Figura C.4. Conjunto do <i>wet only</i> instalado	192
Figura C.5. Conjunto do equipamento sem o posicionamento do funil.....	192
Figura C.6. Mangueira inserida no funil revestido por saco de polietileno.....	192
Figura C.7. Detalhes da instalação do amostrador dentro do tambor	193
Figura C.8. Detalhes da conexão do tambor com o canal para passagem dos cabos de conexão do amostrador através de eletrodutos	194
Figura C.9. Detalhes das conexões feitas no amostrador 6712C (ISCO, EUA).....	195
Figura C.10. Descrição dos comandos do display do amostrador 6712C	196
Figura C.11. Etapas da programação “Parte B: amostragem por tempo”	197
Figura C.12. Etapas da calibração do volume no amostrador 6712C	198
Figura C.13. Seringa de sucção de tubo de acrílico, transparente e graduada	200
Figura C.14. Rolo de fita plástica resistente e rolo de cordão preto	200
Figura D.1. Centrífuga utilizada na digestão das amostras	212
Figura D.2. Síntese das concentrações e volumes calculados para os elementos analisados	215
Figura D.3. ICP-MS, modelo 820-MS, procedência Varian (USA).....	216

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Associação das impurezas encontradas nas águas e sua origem.....	20
Tabela 4.5. Valores de pH encontrados em precipitações atmosféricas amostradas no Brasil	28
Tabela 4.6. Valores de pH encontrados em precipitações atmosféricas amostradas em outros países.....	29
Tabela 4.7. Concentrações médias e/u variações dos parâmetros condutividade elétrica, turbidez e cor analisados em água de chuva no Brasil.....	30
Tabela 4.8. Concentrações médias e/ou variações dos parâmetros condutividade elétrica (EC), H ⁺ , alcalinidade e turbidez analisados em água de chuva em outros países.....	30
Tabela 4.9. Concentrações médias de íons maiores analisados em água de chuva no Brasil	31
Tabela 4.10. Associação das impurezas encontradas nas águas e sua origem.....	31
Tabela 4.11. Concentrações médias e variações de íons menores analisados em água de chuva no Brasil.....	33
Tabela 4.12. Concentrações médias dos parâmetros de íons menores analisados em água de chuva em outros países	33
Tabela 4.13. Concentração média de Zn analisado em água de chuva no Brasil ...	34
Tabela 4.14. Concentrações médias e/ou variações dos metais pesados analisados em água de chuva em outros países	34
Tabela 4.15. Concentrações médias e variação dos sólidos analisados em água de chuva no Brasil.....	35
Tabela 4.16. Concentrações médias dos sólidos analisados em água de chuva em outros países.....	35
Tabela 4.17. Concentrações médias dos parâmetros microbiológicos analisados em água de chuva no Brasil.....	35
Tabela 4.18. Valores de OD (mg/L) encontrados em precipitações atmosféricas amostradas no Brasil.....	36
Tabela 4.19. Concentrações médias dos parâmetros microbiológicos analisados em água de chuva em outros países	36
Tabela 4.20. Concentrações médias dos parâmetros DQO e DBO analisados em água de chuva no Brasil.....	36
Tabela 4.21. Valores de Temperatura (°C) encontrados em precipitações atmosféricas amostradas no Brasil	36
Tabela 4.22. Comparação das cargas poluentes das águas pluviais e residuais.....	40
Tabela 4.23. Impactos da poluição por hidrogenados e fosforados.....	41
Tabela 4.24. Impactos da poluição orgânica	41
Tabela 4.25. Impactos da poluição microbiológica	42
Tabela 4.26. Impactos da poluição sólida.....	43
Tabela 4.27. Impactos da poluição tóxica.....	44
Tabela 5.1. Classes adotadas na matriz de dados para designar as variáveis.....	83
Tabela 5.2. Correção da legenda das classes das variáveis com as 52 amostras ..	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1. Caracterização dos locais de amostragem e equipamentos	54
Quadro 5.2. Possibilidades de amostragem nos três pontos de coleta	67
Quadro 5.3. Divisão dos materiais de amostragem na etapa de descontaminação em laboratório	71
Quadro 5.4. Parâmetros de análise propostos e ordem de análise.....	74
Quadro 5.5. Métodos analíticos de referência padronizados para análise de água .	76
Quadro 5.6. Limites de quantificação permitidos segundo padrões de potabilidade e normas técnicas em nível de Brasil.....	77
Quadro 5.7. Análises físicas e materiais de consumo utilizados	78
Quadro 5.8. Informações dos reagentes utilizados e da técnica analítica Espectrofotometria ou Espectroscopia de Absorção.....	78
Quadro 5.9. Análises químicas realizadas com a técnica analítica Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente.....	79
Quadro 5.10. Análises microbiológicas realizadas	79
Quadro 5.11. Variáveis correlacionadas nas 6 PCAs analisadas.....	82
Quadro 6.1. Amostragens realizadas nos três pontos de coleta	88
Quadro 6.2. Concentrações dos 13 parâmetros nas amostras de “água de chuva”.	91
Quadro 6.3. Concentrações de metais pesados (média \pm desvio padrão) nas amostras de “água de chuva”.....	92
Quadro 6.4. Concentrações de coliformes analisados em água de chuva.....	96
Quadro 6.5. Concentrações de DQO analisadas em água de chuva.....	96
Quadro 6.6. Concentrações dos parâmetros EC, Turbidez, Cor, ST e STD analisados em água de chuva.....	100
Quadro 6.7. Concentrações dos parâmetros NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} e Cl^- analisados em água de chuva.....	101
Quadro 6.8. Concentrações dos parâmetros Cd, Cu, Pb e Zn analisados em água de chuva.....	102
Quadro 6.9. Matriz de dados originais de amostras de água de chuva (#1a).....	104
Quadro 6.10. Matriz de dados originais de amostras de água de chuva (#1b).....	104
Quadro 6.11. Matriz de dados autoescalados obtida para as amostras de água de chuva (#1a).	105
Quadro 6.12. Matriz de dados autoescalados obtida para as amostras de água de chuva (#1b)	106
Quadro 6.13. Concentrações dos 13 parâmetros nas amostras de “água do ESD predial no canal”.....	117

1. INTRODUÇÃO

A composição química da água é essencialmente o resultado da interação entre a mesma e o solo ao longo do tempo. Águas pluviais urbanas frequentemente contêm altos níveis de elementos traço e partículas gerados pelo tráfego. Estes componentes são transportados pelo escoamento de águas pluviais em solos superficiais, sistemas de drenagem e águas receptoras.

Estudos de qualidade de água do escoamento superficial direto (esd) foram conduzidos em várias regiões do mundo, interessados em evidenciar o aporte de poluentes nas águas provenientes da poluição difusa por escoamento superficial (WEIBEL *et al.*, 1964; WINGINGTON *et al.*, 1983; SCHUELER, 1987; CHEBBO, 1992; SAGET, 1994; ELLIS e HVITED-JACOBSEN, 1996; GAUTIER, 1998; PAGOTTO, 1999; COOMBES *et al.*, 2000; DECHESENE, 2002; BOLLER e STEINER, 2002; BAPTISTA *et al.*, 2005; MITCHELL, 2005; UNESCO, 2005; LEE *et al.*, 2006; POSCH, 2007; VIEIRA, 2008).

O escoamento urbano é a principal fonte de problemas nos estuários, com nutrientes e bactérias que causam a eutrofização de rios e lagos. Os impactos das vazões de águas pluviais não estão limitados à duração relativamente curta de eventos de escoamento superficial. Sedimentos contaminados pelos poluentes da água da chuva têm um efeito negativo sobre a comunidade biológica na água receptora (EPA, 1996).

Há poucos trabalhos nacionais publicados abordando o monitoramento da qualidade das águas pluviais urbanas, não havendo ainda uma legislação que regulamente as descargas pluviais ou que estabeleça padrões de potabilidade dos contaminantes associados.

O sistema Filtro-Vala-Trincheira de infiltração (F-V-T), construído em escala real no campus da UFSCar, visa coletar as águas pluviais escoadas na calha do prédio do Departamento de Medicina e monitorar a quantidade e a qualidade da água do escoamento superficial direto (esd), antes e após passar pelo sistema de infiltração. Estas amostragens visam conhecer as concentrações das cargas poluidoras difusas do esd e o efeito do sistema F-V-T. Sabe-se que a poluição do esd representa de 75 a 85% da poluição total (SCHUELER, 1989) e que a qualidade da água, neste caso, varia muito com o tempo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade da água atmosférica da chuva e o efeito de um sistema constituído de filtro de grama, vala e trincheira de infiltração, construído em escala real, na melhoria da qualidade do escoamento superficial direto, em relação aos seguintes parâmetros: Turbidez, Cor Aparente, Condutividade Elétrica, DQO, Coliformes Totais, Coliformes Fecias, Sólidos Totais, Sólidos Totais Dissolvidos, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, Cloreto, Sulfato, Cádmio, Cobre, Chumbo e Zinco.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a eficiência do sistema filtro-vala-trincheira de infiltração na remoção dos poluentes provindos da água do escoamento superficial direto predial, a partir da análise da variação das concentrações dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos analisados em laboratório e da análise exploratória dos dados;
- Avaliar a qualidade da água do escoamento superficial direto na entrada (canal) e na saída (trincheira de infiltração), a partir da análise da variação das concentrações dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos analisados em laboratório e da análise exploratória dos dados;
- Avaliar a qualidade da água atmosférica da chuva, a partir da análise da variação das concentrações dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos analisados em laboratório e da análise exploratória dos dados;

3. JUSTIFICATIVA

O presente trabalho torna-se importante por apresentar um estudo da análise espaço-temporal da qualidade da água de chuva (amostras discretas) e da água do escoamento superficial direto (amostras compostas) pela amostragem de eventos de precipitação em São Carlos, Estado de São Paulo. Pretende-se determinar as correlações entre as variáveis analisadas e as amostras, a partir da análise multivariada pelas técnicas estatísticas PCA e HCA, assim como destacar as vantagens da utilização de técnicas compensatórias na área urbana na melhoria

da qualidade das águas pluviais, através da eficiência do sistema filtro-vala-trincheira de infiltração na remoção de poluentes.

Esta pesquisa está vinculada a dois projetos, financiados pela Fundação de Estudos e Projetos – FINEP e Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Tecnológica – CNPq:

- “Quantidade, Qualidade, Tratamento e Aproveitamento de Águas Pluviais (QTAP)”, Carta-Convite MCT/FINEP/CT-HIDRO Processos Hidráulicos 02/2007, Convênio n° 01.08.0485.00, coordenado pelo Prof. Dr. Ademir Paceli Barbassa.
- “Avaliação Qualitativa e Quantitativa de Vala Conjugada com Trincheira de Infiltração”, Edital Universal MCT/CNPq 15/2007, Processo n° 483.472/2007-7, coordenado pelo Prof. Dr. Ademir Paceli Barbassa.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para facilitar a busca da atualidade do tema de pesquisa nos diretórios de pesquisa SciELO (Scientific Electronic Library Online), Science Direct, SCIRUS (For Scientific Information Only), SCOPUS (Elsevier), Springer Link, Google Scholar e Banco de teses e dissertações de universidades brasileiras, o levantamento da literatura específica foi dividido em 3 sub-temas:

- (1) qualidade da água atmosférica (composição, fontes de poluição atmosférica e “Estado da Arte”);
- (2) qualidade da água do escoamento superficial direto (composição, fontes de poluição difusa e “Estado da Arte”);
- (3) estudos precedentes sobre eficiência de trincheira de infiltração na remoção de poluentes.

4.1. HIDROLOGIA URBANA E QUALIDADE DA ÁGUA

Várias pesquisas multidisciplinares (hidrologia, geologia, geografia, meteorologia, química ambiental) comprovaram que as causas da alteração do equilíbrio do microambiente estão relacionadas à substituição da cobertura vegetal por construções e ruas pavimentadas, interferindo no processo de infiltração do solo

e, conseqüentemente, no sistema de drenagem de águas pluviais urbanas, e no ciclo térmico com o aumento da radiação nas superfícies.

Os programas de avaliação da qualidade da água podem ser divididos em três categorias, segundo Mierzwa (2008): Monitoramento, Avaliação e Controle. Segundo o autor, independente das categorias existentes, qualquer atividade relacionada a avaliação da qualidade da água é designada como monitoramento.

Monitoramento é um programa de longo prazo para determinar condições e tendências relativas à qualidade do corpo hídrico. Sua execução envolve: realização de coletas e análise de amostras por métodos padronizados; observações de campo; avaliação crítica dos dados; elaboração de relatórios (MIERZWA, 2008).

Avaliação é um programa intensivo e temporário, que tem o objetivo de avaliar a qualidade da água para um uso específico. Sua execução também envolve as mesmas atividades que o monitoramento. Neste tipo de programa a quantidade de amostras e o número de variáveis a serem analisadas pode ser significativamente maior. O prazo de duração deve ser suficiente para obter informações sobre a variação sazonal de qualidade da água (MIERZWA, 2008).

Controle é um programa contínuo que tem por objetivos gerenciar a qualidade da água e a realização de atividades operacionais. Envolve a avaliação de variáveis específicas e realização de outras observações. O desenvolvimento deste programa pode ser simultâneo ao de monitoramento. Pode ser necessário fazer adaptações ao programa de monitoramento (MIERZWA, 2008).

O grau de pureza da água pode ser retratado segundo suas características físicas, químicas e biológicas, que indicam a origem das suas impurezas (ver tabela 4.1), seja por esgotos domésticos, efluentes industriais, drenagem urbana e rural e/ou despejos de resíduos sólidos, como por exemplo, diversos íons, em pequenas concentrações, podem ser altamente prejudiciais para atividades biológicas, prejudicando sistemas de tratamento e corpos receptores.

Tabela 4.1. Associação das impurezas encontradas nas águas e sua origem.

Origem	Impurezas
Contato da água com os minerais do solo e rochas	Cálcio Ferro Fosfatos Sódio Zinco Manganês Bicarbonatos Carbonatos Nitratos Silicatos Sulfatos Magnésio
Atmosfera	Hidrogênio livre (H+) Bicarbonatos Cloretos Sulfatos
Decomposição de matéria orgânica	Amônia Cloretos Nitratos Sulfitos Hidrogênio Sódio Nitritos Radicais Orgânicos
Organismos vivos	Bactérias Vírus Algas
Fontes antropogênicas	Íons inorgânicos Metais pesados Moléculas orgânicas

Fonte: FCTH (2002)

4.1.1. Limites permitidos para qualidade das águas no Brasil

Como não existe uma legislação ambiental brasileira específica para qualidade da água de chuva, utiliza-se os limites permitidos pela legislação de potabilidade de água para consumo humano – Portaria n. 518, do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004). No caso de qualidade de água da chuva para fins não potáveis, a Norma Brasileira NBR 15527/2007, ABNT (2007), define os parâmetros exigidos para as análises.

4.1.2. Composição da água de chuva e “Estado da Arte” em qualidade de água de chuva

Atualmente, são encontrados na bibliografia estudos sobre a composição da precipitação atmosférica em todos os continentes, tanto em áreas marinhas, como costeiras e continentais. A maioria dos trabalhos mais recentes está concentrada em áreas densamente habitadas (grandes centros urbanos) e/ou sob influência de atividades humanas que podem comprometer a qualidade atmosférica, principalmente próximo a zonas industriais.

Muitas pesquisas referentes à qualidade da atmosfera já se realizaram em diversas partes do mundo, com diferentes objetivos, tanto para avaliar a acidez das chuvas como para determinar poluentes diversos na mesma. Entretanto, um dos processos que tem concentrado atenção dos pesquisadores, é o transporte atmosférico dos poluentes para longas distâncias, vários exemplos mostram o quanto um poluente pode ser arrastado até centenas ou milhares de quilômetros a partir do local de origem (SÁ, 2005).

A carga de contaminantes atmosféricos em países altamente industrializados como, Alemanha, França e Inglaterra é disseminada para outras regiões através dos ventos. Esse processo causa, por exemplo, na Noruega, um fenômeno conhecido como “morte das florestas”, pelo qual as árvores mais altas começam a ser atingidas pelas **ponteiras**. Concomitantemente, os lagos tornaram-se acidificados, provocando a toxidez da água e a conseqüente morte dos peixes (SÁ, 2005).

Os núcleos de condensação de nuvens (NCN) são partículas microscópicas que possibilitam a condensação do vapor d'água. Na Amazônia as concentrações de partículas na atmosfera são provenientes dos ciclos biogeoquímicos naturais e das emissões antropogênicas (GUEDES, 2007).

Considera-se como sendo qualquer substância, à exceção da água pura, que existe como líquido ou sólido na atmosfera e tem dimensões microscópicas ou submicroscópicas, porém maiores que as dimensões moleculares. Assim, os particulados presentes na atmosfera classificam-se em: finos, com diâmetro $< 2,5 \mu\text{m}$ e, grosso, com diâmetro $> 2,5 \mu\text{m}$ (LORA, ANO).

O tempo de residência dos particulados na atmosfera inferior é de alguns dias a uma semana. Os mecanismos de remoção dos mesmos são: sedimentação e impacto em superfícies e deposição úmida (LORA, ANO).

São altas as concentrações dessas partículas, embora as de origem antropogênica superem em cem vezes as que se originam da fisiologia da vegetação. A concentração de NCN, da estação chuvosa para a estação seca, varia entre 200 e 20.000 partículas por centímetro cúbico (SILVA *et al.*, 2002; FREITAS *et al.*, 2005 *apud* GUEDES, 2007).

As medidas tomadas para controle da poluição atmosférica são extremamente importantes para mitigar o problema. No entanto, alguns pesquisadores alertam para o fato de que o controle tecnológico para reduzir a poluição atmosférica nas vizinhanças das fontes poluidoras tem gerado outras conseqüências. Os poluentes, quando lançados por altas chaminés, ocupam uma faixa entre 150 e 600 metros do solo, sendo assim são mais facilmente transportados pelos ventos, atingindo maiores distâncias (STERN *et al.*, 1984; SILVA FILHO *et al.*, 1993 *apud* SÁ, 2005).

A água de chuva contém impurezas mesmo na ausência da influência humana, sendo que o equilíbrio com o CO₂ (330 ppm) atmosférico causa uma fraca acidez (pH = 5,7), considerado “fronteira natural” na caracterização da acidez de águas de chuva (JACOB, 1999 *apud* SILVA *et al.*, s/d).

O potencial hidrogeniônico (pH) é utilizado para exprimir a intensidade com que determinada solução é ácida ou alcalina. Chuva em equilíbrio com o CO₂ tem pH igual 5,7, abaixo deste é considerado chuva ácida. Água potável tem pH entre 6,5 e 8,5.

A chuva ácida existe desde antes da Revolução Industrial. A primeira vez que o termo chuva ácida apareceu na literatura climatológica data do século XIX, precisamente no ano de 1872, na obra elaborada por Robert Argus Smith intitulada: “*Air and rain: the beginnings of a Chemical Climatology*”. O trabalho de Smith obteve grande êxito, uma vez que o autor foi o primeiro a estabelecer uma relação entre o pH da chuva e a combustão do carvão numa determinada área industrial (REIS DE JESUS, 1996).

Os primeiros estudos sobre chuva ácida foram publicados no fim da década de 50 e início da década de 60, realizados na Europa e Estados Unidos, com

determinação das concentrações de 7 íons principais: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- e alguns deles incluem dados de Mg^{2+} (BERNER e BERNER, 1996).

O pH pode apresentar valores menores, mesmo em regiões consideradas não poluídas, variando consideravelmente em função da eficiência de “limpeza” pela deposição úmida, bem como condições geográficas dos ciclos de enxofre, nitrogênio e água e até mesmo emissões naturais de ácidos carboxílicos (GAFFNEY *et al.*, 1987; GODISH, 1997).

Os processos que controlam a composição química das águas de chuva são complexos e influenciados tanto pelos tipos de fontes, quanto por variações meteorológicas e climatológicas naturais. Em geral, as relações entre composição química de águas de chuva e condições meteorológicas são realizadas através do acompanhamento de deslocamento de massas de ar (SAMARA *et al.*, 1992; AVILA e ALARCÓN, 1998, BEVERLAND *et al.*, 1998, DAYAN e LAMB, 2003 *apud* SILVA *et al.*, s/d).

Por outro lado, o estudo do material sólido e líquido em suspensão no ar denominado aerossol complementa a caracterização do ponto de vista geoquímico e ambiental da atmosfera de um determinado local: é possível obter através da "assinatura das fontes" se as emissões são de origem natural ou antropogênica, assim como estudar interações do tipo oceano-atmosfera-continente. No Brasil, tais estudos ainda são bastante recentes e raros, o mesmo acontecendo com outras regiões em desenvolvimento; apenas na Europa Ocidental e nos Estados Unidos da América do Norte, dispõe-se de um volume maior de informações (MOREIRA-NORDEMANN *et al.*, 1997).

O estudo da composição química das águas de chuva numa dada região permite diagnosticar a composição da atmosfera nesta mesma região, pois a chuva precipita o material sólido, líquido e gasoso presente na atmosfera, através principalmente de dois mecanismos, segundo (BERNER e BERNER, 1996):

- **Rainout:** processo de condensação que ocorre dentro da nuvem, antes de atingir o solo como água de chuva, sendo determinado por pequenas partículas sólidas materiais (partículas de Aitken), que servem como núcleo de condensação das nuvens, e pelos gases solúveis que reagem com a água tanto durante a condensação quanto na precipitação.
- **Washout:** lavagem da atmosfera, quando da precipitação da chuva.

Os valores dos parâmetros analisados em água de chuva, encontrados em literatura científica nacional e internacional, estão descritos nas tabelas 4.5 a 4.21, respectivamente.

Tabela 4.5. Valores de pH encontrados em precipitações atmosféricas amostradas no Brasil.

Local	Média	Varição
Rio Grande (RS) ¹	5,73	4,24 – 8,61
Curitiba (PR) ²	-	-
Campo Mourão (PR) ³	5,5	4,6 – 6,5
Região central de São Paulo (SP) ⁴	4,99	-
Região do Rio Piracicaba (SP) ⁵	-	4,4 – 4,5
Campinas (SP) ⁶	4,50	-
Região do Parq. Nac. do Itatiaia (entre RJ e MG) ⁷	4,90	-
Rio de Janeiro (RJ) ⁸	4,77	-
Cuiabá (MT) ⁹	i = 6,85 f = 6,79	i = 5,23 – 7,55 f = 5,90 – 7,45
Porto Alegre (RS) ¹⁰	-	< 4,0
Porto Alegre (RS) ¹¹	6,28 6,85	5,99 – 6,57 6,70 – 7,00
Florianópolis (SC) ¹²	5,46	4,92 – 5,80
Campinas (SP) - campus UNICAMP ¹³	4,63	chuvoso = 4,64 seca = 4,54
Bairro João Aranha em Paulínia (SP) ¹⁴	4,82	chuvoso = 4,83 seca = 4,74
CPQBA em Paulínia (SP) ¹⁴	chuvoso = 4,78	-
Parque Brasil 500 em Paulínia (SP) ¹⁴	chuvoso = 4,81 seca = 4,81	-
Amazônia Central ¹⁵	4,70	-
Região oeste de São Paulo (SP) - campus USP ¹⁶	4,5 5,0	-
Região oeste de São Paulo (SP) – campus USP ¹⁶	5,3 MPV = 5,1	-
Belo Horizonte (MG) ¹⁷	chuvoso = 7,55 seca = 7,41	chuvoso = 6,94 – 8,63 seca = 7,03 – 7,89

Fonte: ¹Sá (2005); ²Ribeiro (2001); ³Lima *et al.* (2009); ⁴Leal *et al.* (2004); ⁵Lara *et al.* (2001); ⁶Lara *et al.* (2000); ⁷Mello e Almeida (2004); ⁷Mello (2001); ⁸Milano *et al.* (1989) *apud* Santos (2007); ⁹Oliveira e Silva *et al.* (2009); ¹¹Deus *et al.* (2002); ¹²Jaques (2005); ¹³Tresmondi *et al.* (2005); ¹⁴Williams *et al.* (1997); ¹⁵Iwashita *et al.* (s/d);

Notas: Média = média aritmética (\pm desvio padrão); CPQBA = Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas; i = início da chuva; f = fim da chuva.

Tabela 4.7. Concentrações médias e/u variações dos parâmetros condutividade elétrica, turbidez e cor analisados em água de chuva no Brasil.

Local	EC ($\mu\text{S/cm}$)		Turbidez (UNT)		Cor (mg PtCo/L)	
	Média	Varição	Média	Varição	Média	Varição
Rio Grande (RS) ¹	-	-	-	-	-	-
Cuiabá (MT) ²	i = 8,81 f = 11,71	2,636 – 46,56 3,086 – 38,45	i = 8,00 f = 5,00	1,00 – 28,00 1,00 – 24,00	i = 18,00 f = 12,00	4,00 – 55,00 3,00 – 41,00
Campo Mourão (PR) ³	16,3	11,7 – 19,6	18	3,9 – 8,1	-	-
Florianópolis (SC) ⁴	-	-	-	-	-	-
Porto Alegre (RS) ⁵	-	-	-	-	-	-

Fonte: ¹ Sá (2005); ² Oliveira e Silva *et al.* (2009); ³ Lima *et al.* (2009); ⁴ Jaques (2005); ⁵ Deus *et al.* (2002).

Notas: NTU = número de turbidez; i = início da chuva; f = fim da chuva.

Tabela 4.8. Concentrações médias e/ou variações dos parâmetros condutividade elétrica (EC), H⁺, alcalinidade e turbidez analisados em água de chuva em outros países.

Local	EC ($\mu\text{S/cm}$)		Turbidez (NTU)	
	Média	Varição	Média	Varição
Galicia (Spain) ¹	68,4	25,6 – 163,7	-	-
Kefalonia Island (Greece) ²	103	56 – 220	-	-
Western site of Jordan ³	-	95,00±97,11	-	-
Lusaka City (Zambia) ⁷	-	-	10,3 4,95	0,14 – 1,64
University Chazanga Linda				
Figueira-PR (Brasil) ⁸	22,5	-	-	-

Fonte: ¹ Vázquez *et al.* (2003); ² Sakakli *et al.* (2007); ³ Al-Khashman (2009); ⁴ Handia (2005); ⁵ Flues *et al.* (2002).

Nota: NTU = número de turbidez.

Tabela 4.9. Concentrações médias de íons maiores analisados em água de chuva no Brasil.

Local	NO ₃ ⁻ (µEq L-1)	Cl ⁻ (µEq L-1)	SO ₄ ⁻² (µEq L-1)	NH ₄ ⁺ (µEq L-1)	PO ₄ ⁻³ (µEq L-1)
Rio Grande (RS) ¹	17,574	49,205	5,746	13,465	0,086
Belo Horizonte (MG) ²	-	-	-	T _c = 3,6 mg/L T _s = 20 mg/L	-

Fonte: ¹ Sá (2005); ² Vieira *et al.* (2009).

Notas: “Tc” significa tempo chuvoso; “Ts” significa tempo seco.

Tabela 4.10. Concentrações médias e/ou variações de íons maiores analisados em água de chuva em outros países.

Local	Período	N Total	NO ₃ ⁻ (µEq L-1)	NO ₂ ⁻ (µEq L-1)	Cl ⁻ (µEq L-1)	SO ₄ ⁻² (µEq L-1)	NH ₄ ⁺ (µEq L-1)	PO ₄ ⁻³ (µEq L-1)
Galicia (Espanha) ¹		-	25	-	172	99	252 42 – 669	-
Kefalonia Island (Greece) ²	summer/2002 – spring/2005	-	7,04 mg/L	0,013 mg/L 0,003 – 0,043	7 mg/L	8 mg/L	0,01 mg/L 0,01 – 0,05	0,09 mg/L 0,01 – 0,62
Southern France ³	set/96-ago/98 set/98-dez/03	14,2 – 136,3	19,9 – 42,8 31,1 – 242,4	-	43,7 – 572,8 26,0 – 86,4	40,0 – 99,5 45,5 – 267,3	13,2 – 234,7 5,6 – 228,3	-
South-central India ⁴	1999 2000 2001	-	20,6 27,9 10,3	-	36,2 75,9 46,8	31,1 16,4 32,4	24,0 29,0 12,8	-
Western site of Jordan ⁵		-	67,31±0,63	-	142,36±0,24	112,36±0,58	75,36±0,82	-
Northeastern Romania ⁶	2003-2006	-	48,49	-	37,42	75,46	52,31	-
Mexico City ⁷	1994-1999	-	42,857	-	9,296	76,667	95,000	-
Rancho Viejo (Mexico) ⁷	1994-1999	-	20,633	-	4,198	44,144	38,106	-
Mexico City	2001-2002	-	42,62	-	9,56	61,94	92,35	-

(Mexico) ⁸			5,71 – 202,86		2,25 – 136,62	10,63 – 311,88	28,57 – 413,57	
Shangai (China) ⁹	2005	-	49,80	-	58,34	199,59	80,68	-
Venice (Italy) ¹⁰		-	78,37	-	-	148,19	114,69	-
Lusaka Univ. Chazanga Linda (Zambia) ¹¹		-	< 0,01 mg/L 2,9 < 0,01	-	1,0 – 3,0 3,0 3,0	< 0,01 – 2,0 22 19,1		-
Kavala (Northern Greece) ¹²	mar/99 – dez/00	-	55,35	-	49,52	203,26	76,49	-
North of Amman (Jordan) ¹³	dez/98 – abr/00	-	75,5	-	37,00	62,1	14,8	-
Metropolitan Network, New Jersey (EUA) ¹⁴	set/06 – out/07	-	1,38 0,32 – 4,23	-	1,08 0,07 – 3,35	2,64 0,37 – 8,92	0,64 0,02 – 1,73	-
Metropolitan Newark, US East Coast (EUA) ¹⁵	set/06- out/09	1,04	0,69	-	0,85	2,89	0,16	0,005
Figueira-PR (Brasil) ¹⁶	jun/99 – jun/00	-	11	-	13	49	13	-
Guiyang, Guizhou Province (China) ¹⁷	jan-jun- jul-out- dez/1999 jun-jul- ago/2000 abr-jul- out/2001	-	8,23 – 184,1 2,06 – 22,3 7,19 – 251,8	-	0,85 – 128,1 2,00 – 5,92 4,15 – 13,9	33,5 – 279,4 36,5 – 107,5 52,2 – 128,6	-	-

Fonte: ¹ Vázquez *et al.* (2003); ² Sakakli *et al.* (2007); ³ Ladouche *et al.* (2009); ⁴ Kulshrestha *et al.* (2003); ⁵ Al-Khashman (2009); ⁶ Arsene *et al.* (2007); ⁷ Báez *et al.* (2006); ⁸ Spanos *et al.* (2002); ⁹ Huang *et al.* (2008); ¹⁰ Mantovani *et al.* (1995); ¹¹ Handia (2005); ¹² Shimamura *et al.* (2007); ¹³ Báez *et al.* (2007); ¹⁴ Al-Momani *et al.* (2003); ¹⁵ Song e Gao (2009); ¹⁶ Karthikeyan *et al.* (2009); ¹⁷ Han e Liu (2006).

Tabela 4.11. Concentrações médias e variações de íons menores analisados em água de chuva no Brasil.

Local	Ca ⁺² (µEq L-1)	Na ⁺ (µEq L-1)	Mg ⁺² (µEq L-1)	K ⁺ (µEq L-1)
Rio Grande (RS) ¹	43,04 (0,23 – 328,48)	112,25 (5,52 – 2730,06)	25,32 (0,04 – 326,00)	21,61 (0,15 – 344,56)

Fonte: ¹ Sá (2005).

Tabela 4.12. Concentrações médias dos parâmetros de íons menores analisados em água de chuva em outros países.

Local	Período	Ca ⁺² (µEq L-1)	Na ⁺ (µEq L-1)	Mg ⁺² (µEq L-1)	K ⁺ (µEq L-1)
Galicia (Espanha) ¹	2002	85	146	44	41
		18 – 339	36 – 494	12 – 136	14 – 98
South-central India ²	1999	40,1	18,2	8,7	13,6
	2000	67,8	23,1	12,2	9,5
	2001	119,2	40,2	20,4	35,9
Western site of Jordan ³		165,32±0,79	130,56±0,31	93,12±0,51	85,21±0,28
Iasi region (Northeastern Romania) ⁴	2003-2006	107,46	38,08	16,74	15,31
Mexico City ⁵	1994-1999	34,600	4,522	3,689	2,046
Rancho Viejo (Mexico) ⁵	1994-1999	7,743	1,022	1,885	3,033
Venice (Italy) ⁶	-	92,94	-	-	-
Kavala (Northern Greece) ⁷	mar/99 – dez/00	260,18	35,70	23,37	12,48
Shanghai (China) ⁸	2005	203,98	50,11	29,64	14,89
Mexico City (Mexico) ⁹	2001 – 2002	26,44	7,00	2,46	2,16
		0,25 – 437,90	0,03 – 73,74	0,07 – 23,69	0,08 – 16,83
North of Amman (Jordan) ¹⁰	dez/98 – abr/00	108,1	50,0	30,7	11,1
Metropolitan Network, New Jersey (EUA) ¹¹	set/06 – out/07	0,21	0,60	0,05	0,06
		0,04 – 1,67	0,03 – 2,04	< 0,00 – 0,28	< 0,04 – 0,18
Figueira-PR (Brasil) ¹²	jun/99 – jun/00	15	20	5	8
Guiyang, Guizhou Province (China) ¹³	jan-jun-jul-out-dez/99	18,8 – 163,8	0,87 – 7,83	4,53 – 37,0	1,54 – 44,1
	jun-jul-ago/00	25,0 – 95,3	0,87 – 4,78	7,00 – 11,1	2,31 – 13,3
	abr-jul-out/01	12,5 – 118,0	2,61 – 6,52	4,53 – 10,07	3,85 – 21,8

Fonte: ¹ Vásquez *et al.* (2003); ² Kulshrestha *et al.* (2003); ³ Al-Khashman (2009); ⁴ Arsene *et al.* (2007); ⁵ Báez *et al.* (2006); ⁶ Mantovani *et al.* (1995); ⁷ Spanos *et al.* (2002); ⁸ Huang *et al.* (2008);

Tabela 4.13. Concentração média de zinco analisado em água de chuva no Brasil.

Local	Período	Zn
Belo Horizonte (MG) ¹	Tempo seco	62 mg/L
	Tempo chuvoso	47 mg/L

Fonte: ¹ Vieira *et al.* (2009).

Nota: “Tc” significa tempo chuvoso; “Ts” significa tempo seco.

Tabela 4.14. Concentrações médias e/ou variações dos metais pesados analisados em água de chuva em outros países.

Local	Período	Cu	Cd	Pb	Zn
Kefalonia Island (Greece) ¹	summer/2002	< 2,5 mg/L	0,05 mg/L	< 2,0 mg/L	10,0 mg/L
	– spring/2005	< 2,5 – 13	< 0,10 – 0,19	< 2,0 – 6,9	< 10,0 – 77,0
Western site of Jordan ²		73 ppb	52 ppb	66 ppb	210 ppb
		S.D = 23,10 ppb	S.D = 19,13 ppb	S.D = 33,25 ppb	S.D = 44,21 ppb
Lusaka City (Zambia) ³		-	-	< 0,01 mg/L	< 0,001 mg/L
Suburban Tokyo (Japan) ⁴		520±20	2,1±0,1	4,4±0,1	220±20
	This work JSAC 0301	570±70	2,3±0,7	(5)	190±30
	Certified JSAC 0301	1810±120	13±2	89±37	1170±430
	This work SLRS-4	1810±80	12±2	86±7	930±100
Certified SLRS-4					
Mexico City (Mexico) ⁵	2001 – 2002	-	Soluble = 0,37 mg/L	Soluble = 1,58 mg/L	-
			Insoluble = 0,04 mg/L	Insoluble = 0,90 mg/L	
North of Amman (Jordan) ⁶	dez/98 –	3,08 mg/L	0,42 mg/L	2,57 mg/L	6,52 mg/L
	abr/00	S.D = 1,61	S.D = 0,63	S.D = 2,33	S.D = 7,84
Metropolitan Network, New Jersey (EUA) ⁷	set/06 –	2,82 ppb	0,03	0,47 ppb	6,60 ppb
	out/07	0,05 – 64,3	< 0,01 – 0,21	0,03 – 1,97	1,22 – 16,90
Tokyo (Japan) ⁸	19/mai/04	0,5 – 7,1 ng/L	14 – 232	0,9 – 17	10 – 143
	09/jul/05	0,6 – 9,2 ng/L	24 – 170	0,8 – 10	8 – 50

Fonte: ¹ Sakakli *et al.* (2007); ² Al-Khashman (2009); ³ Handia (2005); ⁴ Shimamura *et al.* (2007); ⁵ Báez *et al.* (2007); ⁶ Al-Momani *et al.* (2003); ⁷ Song e Gao (2009); ⁸ Shimamura *et al.* (2007).

Tabela 4.15. Concentrações médias e variação dos sólidos analisados em água de chuva no Brasil.

Local	ST (mg/L)	STV (mg/L)	STF (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SSF (mg/L)
Cuiabá (MT) ¹	i = 65,0 (13,0 – 156) f = 37,0 (6,0 – 76,0)	i = 30,0 (3,0 – 85,0) f = 14,0 (3,0 – 46,0)	i = 35,0 (9,0 – 99,0) f = 23,0 (3,0 – 56,0)	i = 11,0 (4,0 – 30,0) f = 6,0 (1,0 – 15,0)	i = 5,0 (1,0 – 14,0) f = 3,0 (1,0 – 8,0)	i = 6,0 (2,0 – 18,0) f = 3,0 (1,0 – 10,0)
Campo Mourão (PR) ²	45,0 (8,0 – 74,0)	17,7 (4,0 – 32,0)	27,3 (4,0 – 54,0)	3,5 (3,0 – 6,0)	1,0 (0,2 – 1,5)	2,5 (2,0 – 3,2)
Belo Horizonte (MG) ³	-	-	-	T _c = 582 T _s = 235	-	-

Fonte: ¹ Oliveira e Silva *et al.* (2009); ² Lima *et al.* (2009); ³ Vieira *et al.* (2009). Nota: “T_c” significa tempo chuvoso; “T_s” significa tempo seco.

Tabela 4.16. Concentrações médias dos sólidos analisados em água de chuva em outros países.

Local	SDT (mg/L)	SST (mg/L)
Lusaka City (Zambia) ¹	4,2 – 12	< 2,0
University Chazanga	2,8	< 2,0
Linda	13,5	< 2,0

Fonte: ¹ Handia (2005).

Tabela 4.17. Concentrações médias dos parâmetros microbiológicos analisados em água de chuva no Brasil.

Local	Coliformes Totais	<i>E. coli</i>
Cuiabá (MT) ¹	Presença em 67% das 18 amostras analisadas	Presença em 17% das 18 amostras analisadas
Belo Horizonte (MG) ²		T _s = 8,1x10 ⁸ NMP/100 mL T _c = 8x10 ⁷ NMP/100 mL

Fonte: ¹ Oliveira e Silva *et al.* (2009); ² Vieira *et al.* (2009). Notas: T_s = tempo seco; T_c = tempo chuvoso.

4.1.3. Composição do escoamento superficial direto e “Estado da Arte” da qualidade água do escoamento superficial direto

Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, segundo Art. 3, inciso I, d, da Lei Federal nº 11.445 (BRASIL, 2007), é: “o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.”

A qualidade da água pluvial é um atributo particular em cada região, pois está relacionada com a área ocupada e com o tipo de ocupação da bacia, e apresenta variações na sequência de eventos chuvosos (PROSAB, 2009). As fontes difusas são de difícil identificação e podem ser percebidas usualmente nos períodos chuvosos, sendo que os poluentes alcançam o corpo aquático por meio da deposição atmosférica total e do escoamento superficial agrícola e urbano. O simples monitoramento ambiental é importante e fornece informação sobre a qualidade das águas no tocante à legislação vigente de enquadramento dos recursos hídricos – Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005).

Águas pluviais urbanas frequentemente contêm altas concentrações de elementos traço e partículas. Estes componentes foram transportados pelo escoamento de águas pluviais em solos superficiais, sistemas de drenagem e águas receptoras. Um estudo de Phuong *et al.* (1998) concluiu que o ecossistema aquático urbano é fortemente influenciado a longo prazo pela alta de efluentes domésticos não tratados e industrial, escoamento de águas pluviais, derramamentos acidentais de resíduos sólidos e descargas diretas.

O escoamento superficial das águas, por gravidade na superfície terrestre (m^3/s ou L/s), pode ocorrer pelo excesso de precipitação ou pela influência das águas subterrâneas. Exemplos de fatores que influenciam no escoamento superficial, podem-se citar: (1) climatológicos: intensidade da chuva, duração da chuva e chuvas antecedentes; (2) fisiográficos: área e forma da bacia, permeabilidade, capacidade de infiltração e topografia; (3) obras hidráulicas: barragem e retificação.

As cargas provenientes das águas do escoamento superficial de drenagem urbana, consideradas como não pontuais ou difusas, são constituídas por poluentes presentes na superfície e atmosfera da bacia de forma dispersa e são lavados e carreados pelas chuvas para os corpos hídricos receptores da bacia (BURTON e PITT, 2002). O problema da poluição difusa é um processo composto de três estágios: acumulação de poluentes, lavagem da bacia e transporte pelo sistema de drenagem. A acumulação é o aumento de poluentes na superfície da bacia de captação durante períodos secos e a lavagem é a remoção dos poluentes pela chuva e escoamento superficial (PRODANOFF, 2005).

É importante compreender que na modelagem de fontes difusas, neste caso promovidas pelo escoamento superficial das águas pluviais, existem diferentes fases de fluxo. O escoamento superficial nos cursos de água é usualmente subdividido em escoamento direto (Q_d) e escoamento de base (Q_b). O escoamento direto (Q_d) corresponde ao deflúvio que é gerado pela bacia durante e imediatamente após a ocorrência de uma chuva. O escoamento de base (Q_b) é a contribuição que deriva das águas subterrâneas do subsolo e aquíferos existentes na bacia hidrográfica.

Em cursos perenes, o escoamento de base, Q_b , é garantido pelas águas subterrâneas, enquanto que o escoamento direto, Q_d , é de caráter intermitente, ocorrendo apenas como resposta da bacia aos eventos chuvosos. O hidrograma resultante, $Q(t)$, pode ser expresso por: $Q_t = Q_d + Q_b$.

Lee e Bang (2000) associaram a ocorrência de picos de contribuições dos poluentes durante os eventos chuvosos, principalmente, ao tamanho das áreas de drenagem da bacia e aos percentuais de área impermeabilizada. Os autores observaram picos de concentrações dos poluentes antecipados aos picos de vazões nas bacias com alto grau de densidade habitacional (103-142 hab./ha), durante os eventos chuvosos com área de drenagem de até 100 ha e índice de impermeabilidade acima de 80%, também observado em bacias com áreas acima de 100 ha e índice de impermeabilidade menor que 50%, picos conjuntos de concentrações e vazões.

Segundo Tucci (2005), a qualidade da água da rede pluvial depende de vários fatores: da limpeza urbana e sua frequência, da intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso da área urbana.

Schueller (1987) cita que a concentração média dos eventos não se altera em função do volume do evento, sendo característico de cada área drenada.

Os primeiros 25 mm de escoamento superficial geralmente transportam grande parte da carga poluente de origem pluvial (SCHUELER, 1987). Observa-se, ainda, que as concentrações de espécies metálicas presentes nestas águas variam entre bacias hidrográficas e estão relacionadas a fatores topográficos, hidrológicos e meteorológicos (BOLLER, 2003).

De acordo com Chebbo (1992) e Gautier (1998) *apud* Souza e Goldenfum (2002), os parâmetros que caracterizam a qualidade das águas pluviais são numerosos, visto serem os mesmos que classificam as águas superficiais, entretanto, costuma-se estudar os mais representativos, como mostram as tabelas 4.22 a 4.25. Segundo os autores, os principais indicadores de qualidade das águas pluviais são os parâmetros que representam a carga poluidora orgânica e os metais pesados.

A quantificação dos poluentes na água é expressa usualmente em termos de massa por unidade de tempo (kg/dia), geralmente para indicação de fontes pontuais, e massa por unidade de tempo e área (kg/km².ano), em casos de drenagem superficial (USEPA, 1999). Estas cargas poderão ser potencialmente mais tóxicas e impactantes sobre os corpos hídricos devido ao seu caráter agudo, proporcionado pela concentração das substâncias poluentes na superfície da bacia, após um período sem precipitação e quando as primeiras formações de escoamento superficial promovem o carreamento e a lixiviação para o sistema de drenagem (CAMPBELL et al., 2004).

Stieber *et al.* (1999) relacionaram estatisticamente a carga de poluentes no escoamento urbano para eventos no período de seca e intensidade de chuva com o objetivo final de desenvolver uma relação simples entre as variáveis de chuva e as cargas poluentes.

Gupta *et al.* (1999) investigaram as fontes de poluentes para o Lago Talkatora em Jaipur, na Índia. Eles descobriram que a principal causa de poluição do lago foi o primeiro fluxo de escoamento de águas pluviais de áreas residenciais e comerciais adjacentes.

Seguindo uma abordagem de caráter sanitário, as águas de origem pluvial possuem carga poluente equivalente e, às vezes, até mesmo superior à carga

poluente presente nos esgotos sanitários, com riscos à contaminação do lençol freático e corpos receptores, e à disseminação de doenças de veiculação hídrica (ELLIS e HVITED-JACOBSEN, 1996), conforme apresenta a tabela 4.22.

Tabela 4.22. Comparação das cargas poluentes das águas pluviais e residuais.

Intervalo de tempo	Relação carga poluente das águas pluviais e esgotamento sanitário		
	Ano	Dia	Hora
SST	1/2	1/2	50
DBO5	1/27	1/6	4
DQO	1/9	1/2	12
NTK	1/27	1/7	3,5
Pb	27	80	2000
Zn	1/1	4	100
Cd	1/1	5	-

Fonte: Nascimento *et al.* (2000) citado por Baptista, Nascimento e Barraud (2005, p.20)

4.1.3.1 Impactos da poluição das águas pluviais e poluentes associados

4.1.3.1.1. Poluição por hidrogenados e fosforados

Os íons sulfato e nitrato, que têm caráter ácido, são principalmente derivados da queima de combustíveis fósseis.

Bendoricchio *et al.* (1999) demonstraram que as concentrações de nutrientes no escoamento superficial variou durante eventos de chuva e que a deterioração da qualidade da água na Lagoa de Venezia, Itália, estava relacionada com as fontes de poluição difusa na bacia. Como as fontes pontuais de poluição foram controladas, a eficácia da restauração da Lagoa dependeria do controle das fontes difusas de nutrientes.

Tabela 4.23. Impactos da poluição por hidrogenados e fosforados.

Parâmetros	Impactos da poluição por substâncias químicas inorgânicas no meio
NTK	- Perturba a produção de água potável
Nitratos NO ₃	- Colmatação de obras por proliferação de algas
Nitritos NO ₂	
NH ₄ , NH ₃	
Fósforo total	

Fonte: Chebbo (1992) e Gautier (1998), obtido de Souza e Goldenfum (2002).

4.1.3.1.2. Poluição orgânica

Zhao *et al.* (1999) demonstraram que o escoamento de águas pluviais de uma via urbana em Xi'an, na China, continham concentrações de DBO, DQO e sólidos suspensos tão altas quanto os típicos efluentes domésticos. No entanto, a biodegradabilidade (DBO: DQO = 0,167) foi baixa.

Tabela 4.24. Impactos da poluição orgânica.

Parâmetros	Impactos da poluição orgânica sobre o meio
DBO ₅	- Moléculas orgânicas naturais = vetores de poluição
DQO	metálica
COT	- Aporte de matéria biodegradável - Proliferação de bactérias
	- Colmatação

Fonte: Chebbo (1992) e Gautier (1998), obtido de Souza e Goldenfum (2002).

4.1.3.1.3. Poluição microbiológica

Bactérias são organismos monera unicelulares, apresentam-se em várias formas e tamanhos, são os principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, podendo algumas ser patogênicas, causando principalmente doenças intestinais.

Coliformes são definidos como bastonetes gram-negativos aeróbicos ou anaeróbicos facultativos, não formadores de endósporos, fermentam lactose com produção de gás em 48 horas de incubação em caldo lactosado a 35°C. Como alguns coliformes não são enterobactérias, mas sim bactérias comumente encontradas em amostras de plantas e solo, muitos padrões para alimentos e água especificam a identificação de coliformes fecais.

Tabela 4.25. Impactos da poluição microbiológica.

Parâmetros	Impactos da poluição microbiológica sobre o meio
Coliformes totais	- Necessidade de esterilização para água potável
Coliformes fecais (bactérias)	- Vetor de poluição metálica por adsorção (risco de desprendimento dos metais no caso de morte dos microrganismos)
<i>Streptococos</i> fecais	- Colmatação por proliferação de microrganismos

Fonte: Chebbo (1992) e Gautier (1998), obtido de Souza e Goldenfum (2002).

Ibekwe *et al.* (2002) quantificaram rápida e especificamente *E. coli* pelo método Colitag™ em apenas 24 horas, em comparação com os métodos padrões que podem levar até 96 horas. Com uma economia de três dias, os autores concluíram que as agências de vigilância poderiam responder mais rapidamente os súbitos aumentos de *E. coli* e poderiam, portanto, tomar medidas corretivas imediatas para garantir a segurança pública.

Um monitoramento de longo prazo dos fluxos de águas pluviais em duas bacias hidrográficas (na cidade de San Antonio, Texas, e do rio Jordão, Utah) indicou que as descargas de chuva eram a fonte predominante de contaminação difusa e generalizada de bactérias, incluindo os efeitos diretos e indiretos de alterações no fluxo de peixes e invertebrados aquáticos (MURRAY *et al.*, 2001).

4.1.3.1.4. Poluição por sólidos

Todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos. Marcos *et al.* (2002) realizaram um estudo de migração de zinco e chumbo em solos arenosos, por infiltração de águas pluviais de escoamento de superfícies rodoviárias para as águas subterrâneas.

Tabela 4.26. Impactos da poluição sólida.

Parâmetros	Impactos da poluição sólida sobre o meio
Material em suspensão	- Colmatação mecânica das obras - Vetor de outras formas de poluição (metais pesados, matéria orgânica)

Fonte: Chebbo (1992) e Gautier (1998), obtido de Souza e Goldenfum (2002).

4.1.3.1.5. Poluição tóxica por metais pesados e outros

Os poluentes químicos mais importantes dissolvidos em água são em geral compostos organoclorados, fenóis, cianetos e metais pesados (BAIRD, 2002).

De acordo com Mitchell (2005), a drenagem urbana é considerada como uma fonte substancial de metais pesados, entre os quais, os mais comumente encontrados são: zinco, chumbo, cobre, cádmio, cromo e níquel, que, em altas concentrações em corpos aquáticos podem trazer impactos de ordem complexa,

sendo os efeitos nos níveis de toxicidade altamente variáveis e dependente de interações dos tóxicos com outras características das águas superficiais.

Conforme Davis *et al.* (2001), os metais presentes nas águas de escoamento urbano, devido a sua toxicidade, podem exercer um impacto, em curto prazo, caracterizado pela concentração ou atividade no ambiente e, em longo prazo, devido à bioacumulação e ao fato dos metais não poderem ser degradados.

Entre as diversas fontes que contribuem com o aporte de metais nas águas de escoamento estão os telhados, que liberam metais, tanto pelo processo de lixiviação das telhas, como também a partir da lavagem de material depositado nos telhados, provindos da deposição atmosférica (BOLLER e STEINER, 2002; BOLLER, 2003).

Os metais comumente encontrados nas águas de escoamento são cádmio, cobre, cromo, chumbo, níquel e zinco, sendo que os efeitos tóxicos nos corpos aquáticos são altamente variáveis. A toxicidade depende, ainda, de complexas interações dos tóxicos com outras características das águas superficiais, como dureza, alcalinidade, pH e concentração de oxigênio dissolvido, bem como da disponibilidade dos metais (WONG *et al.*, 2000 *apud* POSCH, 2007).

Geralmente as concentrações de metais encontradas em águas de escoamento são superiores para o zinco, com valores da ordem de 20 a 5000 µg/L, seguido do chumbo e do cobre, com valores de 5 a 200 µg/L e do cádmio, normalmente inferiores a 12 µg/L (WU *et al.*, 1998; BARRET *et al.*, 1998 *apud* POSCH, 2007).

Na região de Blumenau (SC), Tordo (2004) analisou a qualidade da água do escoamento superficial direto em diferentes coberturas, de fibrocimento, cerâmica e metálica, cujos resultados demonstraram que o telhado de fibrocimento apresenta maior capacidade de neutralizar ácidos do que os outros tipos de cobertura. Em algumas amostras os parâmetros turbidez e cor aparente não alcançaram o padrão de potabilidade, e quanto ao aspecto bacteriológico, apresentaram elevada quantidade de organismos patogênicos.

Morrisey *et al.* (2000) descreveu o programa de amostragem utilizado para confirmar um modelo preditivo de contaminantes metálicos *build-up* (Cu, Pb e Zn) nos sedimentos de estuários abrigados na área urbana de Auckland, Nova Zelândia, que foram submetidos a vazões de escoamento superficial urbano. Os resultados de

seus testes mostraram concordância geral entre as previsões do modelo e as concentrações de metais nos sedimentos.

Tabela 4.27. Impactos da poluição tóxica.

Parâmetros	Impactos da poluição tóxica sobre o meio
Pb, Zn, Cu Cd, Cr, Hg	- Toxicidade segundo o metal, forma e concentração - Adsorção pelas partículas do solo, microrganismos, material em suspensão – risco de desprendimento e de contaminação do freático em função de modificações das condições biológicas e físico-químicas do meio.
Fenóis	- Gosto ruim
Hidrocarbonetos totais	- Toxicidade, remanescente segundo a forma das moléculas (as cadeias curtas são mais biodegradáveis) - Diminuição da biodegradação - Influencia as trocas com a atmosfera.
HAP (6 substâncias) (benzo3; 4pyrène)	- Muito tóxico
Pesticidas: Organo-clorados Organo-fosforados Organo-metálico	- Toxicidade aguda, apresentando riscos de acumulação na cadeia trófica em função de sua grande estabilidade

Fonte: Chebbo (1992) e Gautier (1998), obtido de Souza e Goldenfum (2002).

Rate *et al.* (2000) investigaram a concentração de metais pesados nos sedimentos do estuário do Rio Swan, em Perth na Austrália. Eles descobriram que a concentração de chumbo perto de emissários de drenagem de águas pluviais era elevada, quando comparada às áreas longe dos emissários, provavelmente devido ao material veicular. Nenhum efeito similar foi observado para o cobre ou cádmio. Eles também notaram que, dado que a grande maioria de todos os metais pesados foram vinculados aos óxidos de ferro ou de sedimentos orgânicos, a maioria dos metais não são biodisponíveis.

Rhoads e Cahill (1999) estudaram as elevadas concentrações de cromo, cobre, chumbo, níquel e zinco, encontrados em sedimentos perto de emissários de esgoto. Eles observaram que o cobre e zinco foram maiores na comparação com o material do leito e, portanto, eram mais susceptíveis de serem mobilizados durante eventos de escoamento superficial.

A comparação da toxicidade de escoamento de rodovia com a toxicidade do escoamento urbano típico foi realizada por Marsalek *et al.* (1999). O estudo constatou que cerca de 20% das amostras coletadas na borda de uma rodovia (>

100.000 veículos/dia) foram gravemente tóxicas, enquanto apenas 1% do escoamento urbano típico foi severamente tóxico.

Shafer *et al.* (1999) constataram que a variação dos coeficientes de partição de cada metal (Al, Cd, Cu, Pb e Zn) entre locais de amostragem pode ser explicada pela quantidade de perturbações antrópicas na bacia e pela concentração de carbono orgânico dissolvido (COD) na água.

Em um estudo para investigar o destino da infiltração do escoamento de águas pluviais, a matéria orgânica natural facilitou o transporte de metal na superfície perto do solo (IGLORIA *et al.*, 1997). O transporte de metais era uma função do volume e profundidade das águas pluviais e aumentou as concentrações de matéria orgânica natural, o que permitiu a atenuação maior do metal.

4.2. TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS EM DRENAGEM URBANA: EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE METAIS, BACTÉRIAS E FINOS

As técnicas compensatórias baseiam-se na retenção e na infiltração das águas precipitadas, visando o rearranjo temporal das vazões e a diminuição do volume escoado, reduzindo a probabilidade de inundações e possibilitando ganhos na qualidade das águas pluviais (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005). Os mesmos autores classificam as técnicas compensatórias em: não estruturais, que atuam no retardamento do escoamento (revestimento de canais e pavimentos rugosos, controle na fonte, etc.) e, estruturais, que permeiam as técnicas de retenção e infiltração (trincheiras, valetas, valas, poços de infiltração, etc.).

As principais características do controle local do escoamento, segundo Urbonas e Stahre (1993), são: o aumento da eficiência do sistema de drenagem à jusante dos locais controlados; o aumento da capacidade de controle de enchentes dos sistemas; a dificuldade de controlar, projetar e fazer manutenção de um grande número de sistemas; e a possibilidade dos custos de operação e manutenção serem altos.

A infiltração de águas pluviais na fonte, ao invés da descarga destas no esgoto convencional tem sido cada vez mais utilizada para controlar o escoamento de águas pluviais urbanas, no entanto, muita pesquisa ainda é necessária, incluindo o desenvolvimento de metodologias para a determinação dos parâmetros de projeto

baseado nas condições locais, tecnologias de prevenção do entupimento do solo e um modelo para avaliar o impacto sobre o solo e as águas subterrâneas em áreas locais (MIKKELSEN *et al.*, 1997).

4.2.1. Trincheira de infiltração

As trincheiras de infiltração podem ser utilizadas como elemento isolado em lotes residenciais ou como parte de um sistema que integre toda a bacia (GRACIOSA, 2004). Normalmente são utilizadas para pequenas áreas, com menos de 2 ha, em conjunto com outros tipos de dispositivos, como os reservatórios de retenção, para controle da vazão de pico (URBONAS, 1999).

As trincheiras de infiltração são tipicamente de formato alongado e estreito, geometria adequada à otimização da área ocupada pelas mesmas nos lotes urbanos, mas que requerem um pré-tratamento da água, que é supostamente obstruída pelo influxo de sólidos finos e a colmatação após algum tempo de operação do sistema, aumentando, ao mesmo tempo, a relação entre a área efetiva de infiltração, composta pelas paredes laterais, e o volume de armazenamento, o que pode ser feito por uma manta geotêxtil removível e lavável (MIKKELSEN *et al.*, 1996; LAWRENCE *et al.*, 1996).

Dentre as vantagens da utilização de trincheiras de infiltração, Nascimento (1996) destaca: diminuição ou mesmo eliminação da rede de microdrenagem local; evita a reconstrução da rede a jusante em caso de saturação; redução do risco de inundação; redução da poluição das águas superficiais; recarga das águas subterrâneas; boa integração com o espaço urbano.

A escolha do local de implantação de trincheiras de infiltração depende de alguns critérios, conforme Urbonas e Stahre (1993): a profundidade mínima sazonal do lençol freático e da camada impermeável deve estar a no mínimo 1,20 m de profundidade; o solo deve estar classificado como sendo do tipo A ou B, segundo o SCS (*Soil Conservation Service*), ou a taxa de infiltração do solo saturado deve ser superior a 8 mm/h; não devem ser instaladas em aterros ou terrenos com grande declividade; são indicadas para pequenas áreas de drenagem em lotes ou quarteirões.

Segundo Schaffner e Ostrowski (2002), as áreas aplicáveis para conectar uma calha superficial coletora a uma trincheira de infiltração subsuperficial incluem: casas geminadas, escoamento superficial de telhado, drenagem de calçadas e cicloviárias, pátios de escolas e outros espaços públicos menos poluídos, zonas pedonais, e áreas de estacionamento com frequências de tráfego baixo ou médio, áreas domésticas ou industriais de tamanho pequeno a médio.

No Japão, Fujita (1997) relata que foram instaladas 285 km de trincheiras de infiltração em áreas públicas e privadas de Tóquio, esclarecendo que essa prática tem sido sistematicamente adotada em outras cidades japonesas não só para o controle do escoamento superficial, como também para evitar a intrusão marinha, problema comum no país.

No Brasil, Baptista *et al.* (1998) avaliaram um projeto de drenagem utilizando trincheiras de infiltração para a região metropolitana de Belo Horizonte – MG, o qual obteve uma redução de custos de 35% em relação a um projeto convencional. Foi observado que a utilização deste tipo de dispositivo é recente e ainda faltam elementos que possibilitem a avaliação de custos de instalação, operação e manutenção.

Também no Brasil, Souza e Goldenfum (1999) apresentaram um estudo experimental da implantação de uma trincheira de infiltração com área de 10,00 x 0,80 m², profundidade de 1,00 m e porosidade de enchimento de 50%, em solo com capacidade de infiltração de 9 mm/h, em Porto Alegre – RS. Os autores verificaram resposta bastante rápida da trincheira, considerando eficiente o sistema. O custo de todo o sistema, considerando materiais e serviços, foi de trezentos e oitenta e três reais. Relacionando o custo à eficiência das trincheiras de infiltração, a implantação do sistema torna-se interessante.

Na Dinamarca, duas trincheiras de infiltração foram construídas em uma densa área urbana na região central de Copenhague, e equipadas com sensores de medição da chuva e do fluxo de escoamento superficial (SANSALONE, 1999).

4.2.2. Vala de infiltração com filtro de grama

Fletcher *et al.* (2002) realizaram experimentos controlados em valas de infiltração com vegetação, em área urbana. A redução na concentração de sólidos

suspensos totais (SST) variou de 73% a 94%, houve redução de nitrogênio total na faixa de 44-57% e redução de 58 a 72% para fósforo total. Reduções de carga variaram de 57 - 88% de SST, 40 - 72% para nitrogênio total (NT) e 12 - 67% para fósforo total (PT). Enfim, houve diminuição na eficácia do tratamento, especialmente para a SST, com o aumento das taxas de vazão do escoamento superficial.

Backstrom (2002) mediu a captura de partículas em nove diferentes valas de infiltração gramadas, usando um procedimento padronizado de simulação de eventos de escoamento e encontrou que a porcentagem de remoção para sólidos suspensos totais variou entre 79 e 98%. O tempo médio de residência de água na vala foi sugerido como um parâmetro de projeto para valas gramadas.

4.2.3. Outras técnicas

Hsieh e Davis (2002) utilizaram biorretenção para o tratamento do escoamento de águas pluviais urbanas. Os resultados mostraram que todos os meios de comunicação tiveram excelente eficiência de remoção de sólidos em suspensão e chumbo (> 98%). Remoções de fósforo total variaram de 47 a 85%, com o aumento da proporção de areia. Remoções de amônia e nitrato variaram de 2 a 26% e de 1 a 27%, respectivamente.

Pavimentos permeáveis para estradas e caminhos têm sido usados como um meio de escoamento das águas pluviais nas áreas urbanas de países desenvolvidos. Tais dispositivos fornecem uma alternativa concreta para superfícies impermeáveis ou, sob pena do rápido escoamento de águas pluviais, podem levar a possíveis inundações e degeneração da qualidade da água de corpos receptores através da descarga incontrolada de águas urbanas poluídas (PRATT, 1999).

4.3. ANÁLISE MULTIVARIADA DE DADOS

Vários pesquisadores aplicaram técnicas quimiométricas de análise multivariada para representar dados de qualidade de água (LIBRANDO *et al.*, 1995; GOTZ *et al.*, 1998; BERZAS *et al.*, 2000; DA SILVA; SACOMANI, 2001; SIMEONOVA *et al.*, 2003; SINGH *et al.*, 2004; PARINET *et al.*, 2004; OUGANG, 2005; FORTI *et al.*, 2005; LOURENÇO *et al.*, 2006; SOTELO *et al.*, 2007; WU;

WANG, 2007; ANDRADE *et al.*, 2008; ZIMMERMANN; GUIMARÃES; PERALTA-ZAMORA, 2008); NAKANO *et al.*, 2008; HOMA RAZMKHAH; AHMAD ABRISHAMCHI; AYOOD TORKIAN, 2010).

Quimiometria é uma disciplina que usa métodos matemáticos e estatísticos para planejar ou selecionar procedimentos ótimos e medidas e experimentos. Busca extrair o máximo de informação de um conjunto de dados químicos (PEREIRA FILHO, 2010). É todo o processo onde os dados são transformados em informações que são utilizadas para a tomada de decisões (BEEBE, 1998).

A Análise de Componentes Principais é uma ferramenta que reduz as dimensões originais de um determinado conjunto de dados numéricos, agrupando as amostras que têm resultados semelhantes (PEREIRA FILHO, 2010).

Estatisticamente, a PCA é uma técnica de análise multivariada relacionada com: (i) cálculo e análise de autovetores/autovalores de uma matriz de variância-covariância; (ii) decomposição em valores singulares (SVD). Matricialmente, a PCA é um método para decompor X em duas matrizes menores (T e P) mais uma matriz de resíduos (E): $X = TP^T + E$. Geometricamente, a PCA é uma técnica de projeção, na qual, a matriz X é projetada num sub-espço de dimensões reduzidas (SENA e POPI, 2010).

Autovalores e autovetores, conforme equação 4.1, são cálculos de sub-sistemas muito menores para dados que apresentam muitas variáveis ou dimensões (PEREIRA FILHO, 2010).

$$\mathbf{A} = \lambda \mathbf{x}$$

└─ Autovetor

└─ Autovalor

Equação 4.1

Variância (s^2) é o espalhamento dos dados ao redor do seu valor médio para uma única variável. Desta forma, variância é calculada pela equação 4.2, segundo Pereira Filho (2010).

$$s^2 = \frac{\sum xd^2}{n - 1} \text{ onde } xd = (x_i - \bar{x})$$

Equação 4.2

Por sua vez, Variância da variável (s_j^2), correspondente à coluna da matriz (" j "), é representada pela equação 4.3, segundo Pereira Filho (2010).

$$s_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \quad \text{Equação 4.3}$$

Onde:

S_j^2 = variância da variável (coluna da matriz)

X_{ij} = matriz de dados original

\bar{x}_j = média das colunas da matriz (variáveis)

Covariância (Cov) é a distribuição dos dados multivariados e suas relações. Desta forma, Co-variância é calculada pela equação 4.4

$$COV = \frac{\sum (x_i - \bar{x}_{AF})(x_i - \bar{x}_{Fe})}{n-1} \quad \text{Equação 4.4}$$

Desta forma, a PCA resulta em dois gráficos diferentes calculados por Decomposição de valores singulares (SVD, *Singular Value Decomposition*): "Scores" representam as amostras e "Loadings" (pesos) representam as variáveis, conforme equação 4.5.

$$[x] = [U] \times [S] \times [V^T] \quad \text{Equação 4.5}$$

Onde:

V = Loadings

U x S = Scores

V^T = matriz transposta de Loadings

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O sistema filtro-vala-trincheira de infiltração (F-V-T), projetado e construído, constitui-se por filtro de grama, vala e trincheira de infiltração. Foi instalado na área defronte ao prédio do Departamento de Medicina – DMed do campus da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Município de São Carlos – SP, conforme figura 5.1.

A localização da instalação do sistema na área em expansão do campus, onde novos edifícios estão sendo construídos, foi motivada por razões político-administrativas do Escritório de Desenvolvimento Físico – EDF, órgão institucional da prefeitura do campus que supervisiona a produção e gerenciamento das obras. Os recursos financeiros para a construção do sistema foram institucionais da própria universidade.

A área, anteriormente originária de Cerrado e, até recentemente, reflorestada com eucaliptos, foi apropriada para a instalação da estrutura devido aos seguintes aspectos físicos da área: disponibilidade de espaço, profundidade do lençol freático estimada de alguns metros, predominância de solo areno-siltoso com permeabilidade próxima de 10^{-6} m/s, o qual admite o uso de técnicas de infiltração, declividade suave e nível relativamente baixo de uso e ocupação do solo.

A área experimental está localizada a 200 metros do Departamento de Engenharia Civil, onde se encontram os laboratórios de Hidrologia, Hidráulica, Saneamento e Mecânica dos Solos, que subsidiaram o suporte nas etapas de manutenção e operação das estruturas instaladas, preparação da amostragem, armazenamento e análise de dados. Os computadores e equipamentos foram adquiridos pelos dois projetos que esta pesquisa este vinculada.



0 30 60 120 180 240 Km
 Legenda:
 Imagem do satélite Landsat 5, sensor TM, composição 4R5G3B,
 adquirida pelo site do INPE, sem georreferenciamento.

(a)



0 45 90 180 270 360 m
 Legenda:
 Imagem do satélite GeoEye adquirida pelo Google Earth
 (acesso em 15/05/2011) sem georreferenciamento

(b)



0 5 10 20 30 40 metros
 Legenda:
 Imagem do satélite GeoEye adquirida pelo Google Earth (acesso em 15/05/2011) sem georreferenciamento

(c)



Figura 5.1. Localização da área de estudo e pontos de referência importantes: (a) mancha urbanizada do Município de São Carlos – SP (destaque para o perímetro do campus da UFSCar); (b) campus da Universidade Federal de São Carlos (destaque para a área de estudo); (c) área de estudo.

Legenda:

Imagem de satélite captada pelo Google Earth (acesso em 12/05/2011) sem georreferenciamento

-  Sistema Filtro-Vala-Trincheira de Infiltração
-  Canal que conecta a rede pluvial do prédio do DMed ao sistema de infiltração
-  Ponto 1 de amostragem (localização do wet only no telhado da casa de força)
-  Ponto 2 de amostragem (localização do sampler 6712C no canal)
-  Ponto 3 de amostragem (localização do poço de monitoramento na trincheira de infiltração)

Para caracterizar a qualidade da água de chuva, houve uma amostragem úmida dos primeiros milímetros de água precipitada, antes de atingir o telhado. Usou-se um amostrador tipo *Wet only* (coletor de chuva automático com sensor que permanece fechado e abre ao início da chuva), instalado no telhado da casa de força, em frente ao prédio do DMed da UFSCar (ponto 1 da figura 5.1 e quadro 5.1).

A água do escoamento superficial direto (esd) foi coletada em dois pontos: na entrada (ponto 2 da figura 5.1 e quadro 5.1) com amostrador seqüencial; na saída da trincheira de infiltração, especificamente em um poço de monitoramento por desempenho, de tubo PVC (ponto 3 da figura 5.1 e quadro 5.1) a partir de amostrador com único volume.

Quadro 5.1. Caracterização dos locais de amostragem e equipamentos.

Ponto	Local	Finalidade das amostras	Amostrador
1	Telhado da Casa de Força	Determinação da carga poluidora atmosférica	<i>Wet only</i> (MTX, Italy)
2	No canal retangular que conecta o prédio do DMed ao sistema de infiltração	Determinação da carga difusa poluidora do escoamento superficial direto	<i>Sampler 6712C</i> (ISCO, EUA)
3	Dentro da trincheira de infiltração em um poço de monitoramento de PVC	Determinação da eficiência da trincheira de infiltração na remoção de poluentes	Recipiente simples (confecção G-Hidro)

- **Ponto 1 de amostragem**

O equipamento *Wet only* (MTX, Italy) foi instalado no telhado de uma casa de força (8,80 m x 6,00 m), localizada em frente ao prédio do DMed e ao sistema de infiltração, conforme figura 5.2.



Figura 5.2. *Wet only* instalado no telhado da Casa de Força (a) e prédio do DMed ao fundo da Casa de Força (b).

- **Ponto 2 amostragem**

O equipamento *Sampler 6712C* (ISCO, EUA) foi instalado no abrigo de equipamentos, paralelo à canaleta de concreto que conecta o sistema de água pluvial do prédio do Departamento de Medicina ao sistema filtro-vala-trincheira de infiltração, conforme figura 5.3.



Figura 5.3. Canaleta que conecta o sistema de água pluvial do prédio do Departamento de Medicina ao sistema F-V-T.

- **Pontos 3 de amostragem**

O material de coleta do ponto 3 foi instalado no poço de monitoramento dentro da trincheira de infiltração (figura 5.4).



Figura 5.4. Sistema Filtro-Vala-Trincheira de infiltração

A área contribuinte do sistema de infiltração é o telhado do prédio do Departamento de Medicina. O trajeto da água do escoamento superficial direto (esd) é constituído de 7 (sete) etapas, conforme figuras 5.5 e 5.6: a água pluvial escoada na cobertura do prédio foi conduzida pela rede predial, conforme etapa 1, e por uma canaleta de 0,60 m de largura e 7 m de extensão para medição de vazão em um vertedor triangular, conforme etapa 2; o escoamento foi, então, distribuído por meio de um *manifold*, conforme etapa 3, a um filtro de grama, conforme etapa 4, com plano de inclinação de 2%, e, só então, atingiu a vala-trincheira de infiltração, conforme etapa 5, e a trincheira de infiltração, conforme etapa 6 e figura 5.7. Previu-se uma tubulação de 200 mm de PVC para descarregamento, bem como a possibilidade de instalação de outro vertedor para medição da vazão de saída, conforme etapa 7.

Detalhes do dimensionamento do sistema F-V-T podem ser encontradas no Apêndice A deste trabalho.

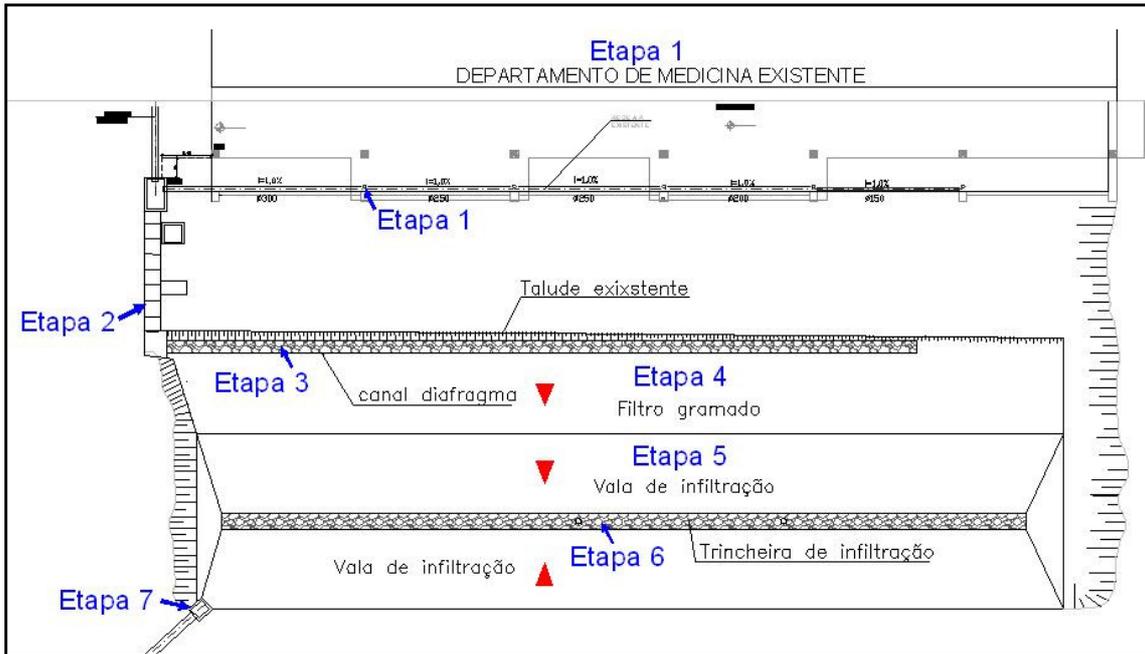


Figura 5.5. Planta do sistema filtro-valeta-trincheira de infiltração.

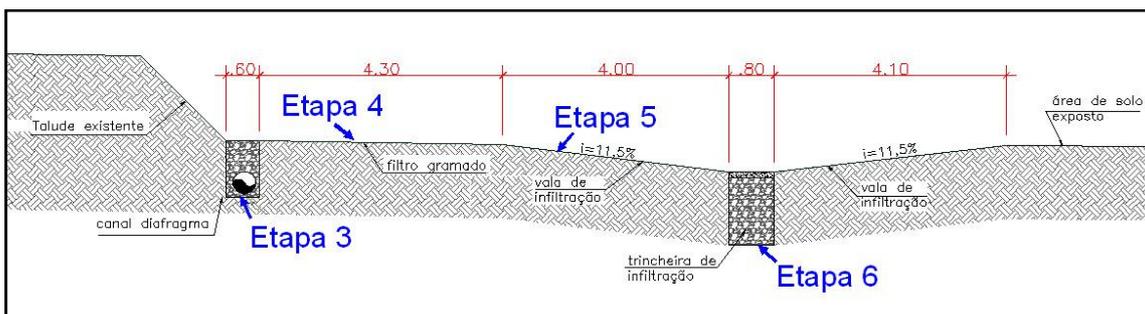


Figura 5.6. Corte típico do sistema filtro-valeta-trincheira de infiltração.

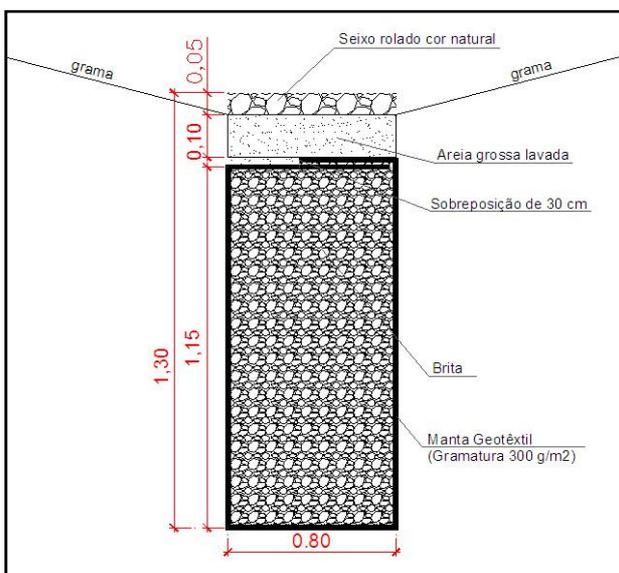


Figura 5.7. Corte típico da trincheira de infiltração (etapa 6).

5.2 ESQUEMA DE AMOSTRAGEM

- **Ponto 1 de amostragem**

No ponto 1 foi proposto coletar uma única amostra, por evento de chuva, representativa dos instantes iniciais do evento chuvoso (*wash off* ou lavagem da atmosfera), coletada em um balão volumétrico de vidro de capacidade 1 L adaptado, por meio de um funil de aço inox (revestido de sacola de polyetileno), encaixado no cilindro de coleta do *Wet only*, conforme esquema da figura 5.8.



Figura 5.8. Esquema proposto para coleta no *wet only*.

Desta forma, considerou-se que o diâmetro do funil tem a área máxima de coleta, ou seja, mesmo diâmetro do cilindro de coleta do *wet only* (0,291 m), para assegurar a amostragem significativa dos instantes iniciais do *washout*. Apresentam-se na figuras 5.9 a 5.14 detalhes da instalação dos materiais de coleta em campo. Outras informações podem ser encontradas no Apêndice C deste trabalho.



Figura 5.9. Equipamento instalado com o funil para amostragem.



Figura 5.10. Posicionamento do frasco coletor no cilindro do *wet only*.



Figura 5.11. Mangueira inserida internamente no funil de aço inox, revestido por saco de polietileno.



Figura 5.12. Posicionamento da mangueira para encaixe na abertura do frasco de coleta.



Figura 5.13. Encaixe da mangueira do funil no frasco de coleta dentro do cilindro do *wet only*.



Figura 5.14. Posicionamento final do funil.

▪ **Ponto 2 de amostragem**

O ponto 2 teve a capacidade de amostragem de no máximo 12 amostras de 1 L, por evento de chuva, conforme esquema da figura 5.15. Cada amostra é depositada em dois frascos, pois o volume a ser coletado (1 L) é maior do que o volume que o frasco contém (500 mL).

Neste ponto de amostragem, o procedimento possibilita um tempo de amostragem total de até 60 minutos, dependendo do tempo de ocorrência do evento chuvoso. Desta forma, foi proposta a amostragem após 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 e 55 minutos, razão pela qual a primeira hora de precipitação ou a primeira polegada de altura precipitada “lavam” a superfície e carregam a maior quantidade de poluentes, devendo neste período concentrar-se o maior número de amostragens.

Estudos anteriores efetuados em laboratório por outros autores demonstraram serem mais elevados os parâmetros logo no início da chuva, havendo em seguida uma tendência de diminuição nas concentrações dos poluentes.

Realizou-se uma programação estendida dividida em duas partes (digitou-se inicialmente 6712.2 no display do 6712C, mostrado na figura 5.16):

- parte A: amostragem em função do nível (frascos 1 e 2 = 1ª amostra)
- parte B: amostragem em função do tempo (frascos 3 a 24 = 2ª a 12ª amostra)

Programação estendida

24 frascos de 500 mL

2 frascos por amostra = 12 amostras de 1 L

frasco 1-2 = coleta em função do nível de água no canal

frasco 3-24 = coleta em função do tempo

Tempo de amostragem

frasco 1-2 = coleta automática após o amostrador ativar o nível no canal (± 7 cm)

frasco 3-24 = coleta 2 frascos a cada 5 minutos

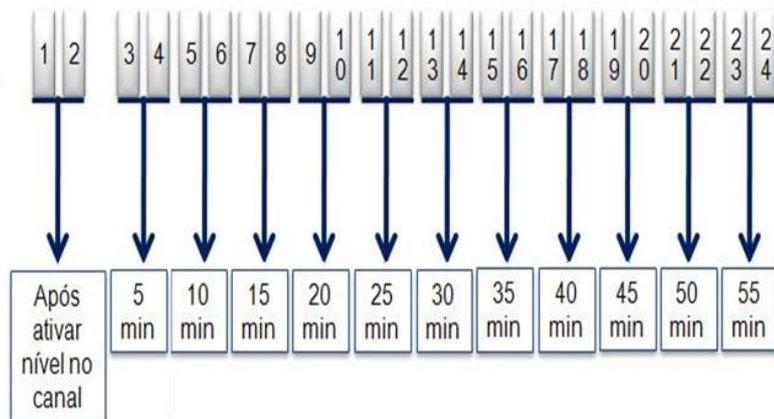


Figura 5.15. Esquema de coleta para o amostrador sequencial 6712C (ISCO, USA).

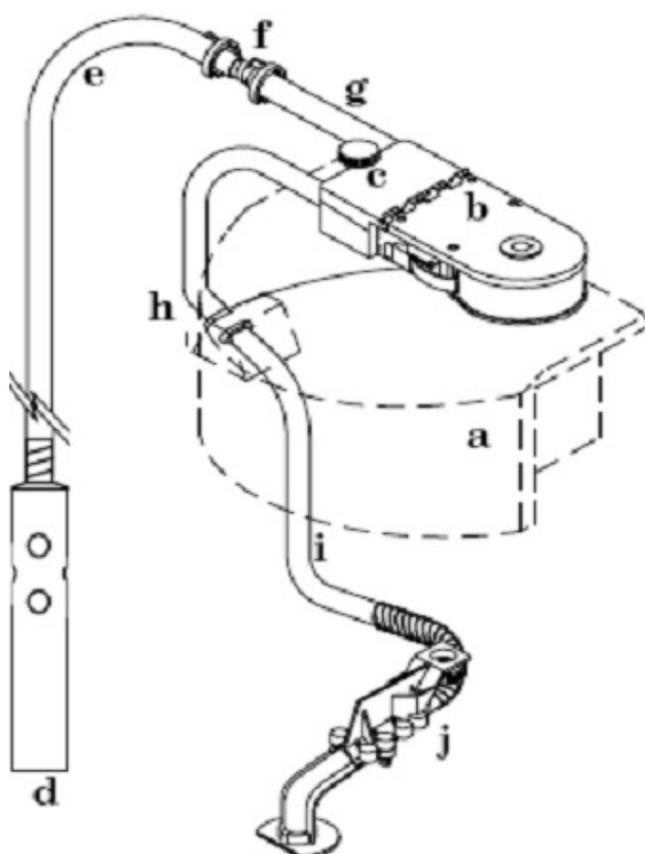


Figura 5.16. *Sampler 6712C (ISCO, EUA).*

As etapas de conexão, programação, funcionamento e instalação do *Sampler 6712C (ISCO, USA)* estão descritos detalhadamente no Apêndice B deste trabalho.

A ponta do sensor do atuador de nível foi posicionada a 7 cm de altura do fundo do canal retangular, em razão de a crista do vertedor triangular estar a 5 cm do fundo do canal.

O ciclo de amostragem em função do nível seguiu seis etapas, conforme esquema mostrado na figura 5.17: (1) após o detector do atuador de nível sinalizar a passagem de fluxo de água na mesma altura de seu sensor, o amostrador dá o “start”; (2) o amostrador move o braço distribuidor sobre o frasco que irá receber a amostra; (3) a bomba inverte para a depuração pré-amostra; (4) a direção da bomba muda enchendo a linha de sucção de amostra e depois passando pelo tubo da bomba; (5) quando detecta-se a presença do líquido, o amostrador começa a medição da amostra, passando o líquido pelo tubo da bomba até a guarnição de anteparo e depois através do tubo de descarga até o frasco de amostra; (6) após depositar a amostra, a bomba inverte novamente para a depuração pós-amostra.



- a. Controlador
- b. Bomba peristáltica
- c. Detector de líquido
- d. Filtro
- e. Linha de sucção
- f. Acoplamento de aço inoxidável
- g. Um tubo de bomba encaminhado da porta de entrada do detector de líquido, através da bomba, para fora da porta de descarga do detector e sobre o lado do controlador até uma guarnição de anteparo na parte superior da seção central.
- h. Guarnições do anteparo
- i. Tubo de descarga proveniente da guarnição do anteparo no interior da seção central passando pela parte articulada e braço distribuidor.
- j. Parte articulada e braço distribuidor.

Figura 5.17. Identificação dos componentes do amostrador 6712C (ISCO, USA).
Fonte: ISCO (2005)

▪ Ponto 3 de amostragem

O ponto 3 (poço de monitoramento na trincheira de infiltração) teve a capacidade de amostrar uma única amostra de até 1 L, dividida em dois béqueres de 500 mL (figura 5.18), por evento de chuva, de acordo com a variação temporal do enchimento e esvaziamento da trincheira de infiltração.

Procurou-se fabricar um material de coleta que não tenha metal ou outro material em sua composição que reaja com a solução ácida ou contamine a amostra, como silicone, tinta, etc. A seguir, descreve-se a fabricação do material no Laboratório de Hidráulica.

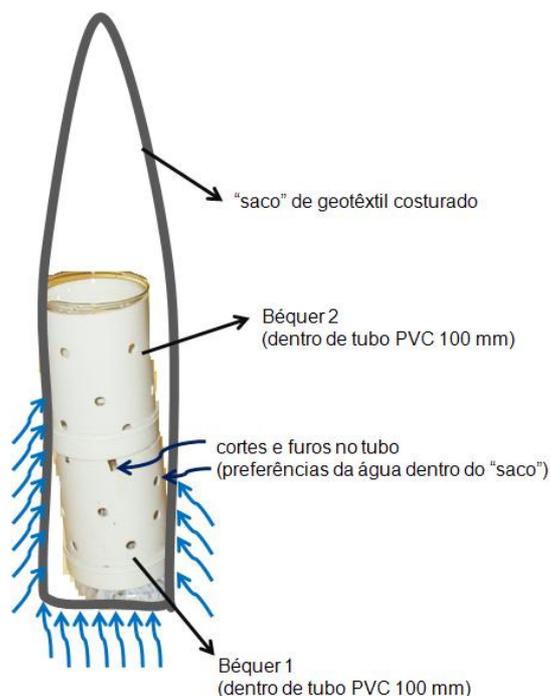


Figura 5.18. Esquema de coleta dentro do poço de monitoramento na trincheira.

Para confecção do material foram necessários os seguintes materiais:

- 1 quadrado retangular de geotêxtil não-tecido, para confecção de uma “bolsa” para guardar os frascos de coleta (figuras 5.19, 5.23 e 5.24);
- 2 béqueres de vidro de 500 mL, um descontaminado com solução de ácido nítrico e o outro com solução de ácido clorídrico (ver figura 5.20);
- 2 tubos de PVC 100 mm perfurados e cortados na mesma altura do béquer de 500 mL (com cap) para servir de suporte aos béqueres (ver figuras 5.19, 5.20 e 5.23);
- 1 roldana circular de aço de 1 kg, revestida com sacola de polietileno e fita adesiva transparente para assegurar a força de empuxo da amostra ($2 \times 500 \text{ mL} = 1000 \text{ mL}$), mostrada na figura 5.19 e 5.23;
- 1 pequeno parafuso plástico para fechar a “bolsa de geotêxtil” na abertura inferior (ver figuras 5.21 e 5.22);
- 2 borrachas pequenas, perfuradas para passagem do parafuso plástico, para assegurar o fechamento da “bolsa de geotêxtil” (ver figuras 5.21 e 5.22);
- 1 rolo de fita plástica e 1 rolo de cordão preto para servir de haste da “bolsa de geotêxtil”;
- 1 tesoura que auxiliou no corte do geotêxtil para se enquadrar na dimensão da bolsa, projetada para inserir os tubos de PVC de 100 mL;
- 1 serra para cortar o tubo de PVC na altura do béquer de 500 mL.



Imagem 5.19. Conjunto de materiais.



Imagem 5.20. Dois béqueres de vidro e dois tubos de PVC perfurados, com cap.



Imagem 5.21. Detalhe da abertura inferior da "bolsa de geotêxtil".



Imagem 5.22. Fechamento da bolsa com parafuso plástico e borracha.



Imagem 5.23. Posicionamento dos tubos e béqueres sobre um peso de 1 Kg, dentro da "bolsa de geotêxtil" costurada.



Imagem 5.24. Esquema montado com todos os materiais internos.

A instalação do material de coleta no poço de monitoramento dentro da trincheira de infiltração foi simples: o material de coleta foi inserido dentro do tubo de PVC (150 mm) que funcionou como poço de monitoramento da qualidade (desenvolvido pela autora) e da quantidade (desenvolvido por outro colega no mesmo período) da saída da água do escoamento do sistema de infiltração.

A seguir, nas figuras 5.25 a 5.28, apresentam-se as etapas de instalação do material de coleta na área de estudo, a partir de registros fotográficos da autora na localização do ponto 3 de amostragem (trincheira de infiltração).



Imagem 5.25. Material de coleta ao lado do poço de monitoramento para demonstração de suas dimensões.



Imagem 5.26. Destaque para a fita do material de coleta disposta externamente no poço de monitoramento.



Imagem 5.27. Inserção do material de coleta dentro do poço de monitoramento, mantendo a posição do cabo do sensor de nível também instalado no poço



Imagem 5.28. Interior do tubo perfurado na altura da trincheira de infiltração, com o material de coleta posicionado no fundo.

5.3 PROGRAMA DE AMOSTRAGEM

Na bacia em estudo, há dois tipos de chuva que são comuns: frente fria e convectiva (ou de verão). Os dados meteorológicos utilizados neste trabalho foram adquiridos pela estação meteorológica da UFSCar e pelo site do INMET/INPE, que auxiliaram no planejamento das atividades de coleta e análise.

5.3.1 Período de amostragem

O período de amostragem ocorreu de fevereiro a maio de 2011 em razão de dificuldades encontradas no período da pesquisa, listadas no capítulo de Resultados e Discussões.

Para se validar a hipótese do efeito da proximidade da chuva, amostraram-se dezessete eventos durante o período chuvoso nos meses de fevereiro, março e abril. Durante o período de estiagem, considerado pela autora, de no mínimo 15 dias sem chuva, amostrou-se um evento, no mês de maio.

5.3.2 Tipos de amostras e frequência de amostragens

Um resumo das possibilidades de amostragem nos três pontos de amostragem é apresentado no quadro 5.2.

Quadro 5.2. Possibilidades de amostragem nos três pontos de coleta.

Ponto	Tipo de amostra	Possibilidades	Tempo de amostragem	Frasco de amostra	
				ID	Volume
1	Amostra discreta	1 única amostra da “lavagem da atmosfera”	Função (i, d) da chuva	ATM 1	Até 1 L
2	Amostras compostas	1ª amostra do ESD	Após ativar nível	ESD2-1	500 mL
				ESD2-2	500 mL
		2ª amostra do ESD	Após 5 min	ESD2-3	500 mL
				ESD2-4	500 mL
		3ª amostra do ESD	Após 10 min	ESD2-5	500 mL
				ESD2-6	500 mL
		4ª amostra do ESD	Após 15 min	ESD2-7	500 mL
				ESD2-8	500 mL
		5ª amostra do ESD	Após 20 min	ESD2-9	500 mL
				ESD2-10	500 mL
		6ª amostra do ESD	Após 25 min	ESD2-11	500 mL
				ESD2-12	500 mL
		7ª amostra do ESD	Após 30 min	ESD2-13	500 mL
				ESD2-14	500 mL
		8ª amostra do ESD	Após 35 min	ESD2-15	500 mL
				ESD2-16	500 mL
		9ª amostra do ESD	Após 40 min	ESD2-17	500 mL
				ESD2-18	500 mL
		10ª amostra do ESD	Após 45 min	ESD2-19	500 mL
				ESD2-20	500 mL
		11ª amostra do ESD	Após 50 min	ESD2-21	500 mL
				ESD2-22	500 mL
		12ª amostra do ESD	Após 55 min	ESD2-23	500 mL
				ESD2-24	500 mL
3	Amostra discreta	1 única amostra da “passagem pelo sistema de infiltração”	Função (i, d) da chuva e (c) do solo	SIN3-1	500 mL
				SIN3-2	500 mL

Nota: i: intensidade da chuva; d: duração da chuva; c: coeficiente de permeabilidade do solo; ATM: ATMosfera; ESD: Escoamento Superficial Direto; SIN: Sistema de INfiltração; ATM1: única amostra (até 1 L) coletada diretamente da precipitação da ATMosfera (ATM) no frasco 1 (Grupo 1 de descontaminação – HNO₃) do ponto 1 de amostragem; ESD2-1: 1ª amostra (500 mL) do ESD que passou pelo telhado/canal coletada no frasco 1 (Grupo 1 de descontaminação – HNO₃) do ponto 2 de amostragem; ESD2-2: 1ª amostra (500 mL) do ESD que passou pelo telhado/canal coletada no frasco 2 (Grupo 2 de descontaminação – HCl) do ponto 2 de amostragem; SIN3-1 = única amostra (até 500 mL) que passou pelo SIN coletada no frasco 1 (Grupo 1 de descontaminação – HNO₃) do ponto 3 de amostragem; SIN3-2 = única amostra (até 500 mL) que passou pelo SIN coletada no frasco 2 Grupo 2 de descontaminação – HCl) do ponto 3 de amostragem.

5.3.3 Descontaminação dos materiais de coleta/amostragem

Para a descontaminação utilizaram-se os seguintes materiais de consumo laboratoriais: detergente neutro, escova, água destilada ou deionizada e solução ácida v/v (10% ácido nítrico e 5% ácido clorídrico).

Para a determinação da solução ácida, dividiu-se em dois grupos: parâmetros de análise compatíveis a descontaminação com solução 10% (v/v) de HNO₃ e 5% (v/v) de HCl, conforme correlação apresentada na quadro 5.3, com base em recomendações dos interferentes de cada parâmetro de análise. Desta forma, os materiais e superfícies coletoras dos três pontos de amostragem foram divididos e identificados entre os dois grupos de acordo com a capacidade de amostragem (números ímpares, grupo 1, e números pares, grupo 2).

Houve uma lavagem dos materiais dos três pontos de coleta antes da amostragem a fim de afastar a possibilidade de contaminação das amostras durante a coleta.

Assegurou-se que sempre houvesse materiais de coleta descontaminados no laboratório, para serem repostos nas suas respectivas áreas de coleta após cada amostragem. Segue-se a lista dos materiais de coleta dos três pontos de amostragem, os materiais de consumo laboratoriais e os procedimentos de descontaminação.

▪ Ponto 1 de amostragem

No ponto 1 foram necessários: uma sacola plástica (polietileno) que reveste o funil de aço inox (figura 5.30) e um balão volumétrico de vidro de 1 L adaptado (figura 5.29).



Figura 5.29. Balão volumétrico de 1 L adaptado (e réplica) para o encaixe com o funil dentro do cilindro do *wet only*.



Imagem 5.30. Sacola de polietileno para revestimento do funil de aço inox.

- **Ponto 2 de amostragem**

No ponto 2 de amostragem os materiais a descontaminar foram os seguintes acessórios do *sampler* 6712C (ISCO, EUA): 24 frascos de polietileno (figura 5.31) e mangueira de vinil (plástico ABS – *Acrylonitrile Butadiene Styrene*) de 9,52 mm de diâmetro interno e 7,5 metros de comprimento (figura 5.32).



Figura 5.31. 24 frascos de polietileno de 500 mL de capacidade volumétrica.



Figura 5.32. Mangueira de vinil com filtro de aço inoxidável.

Somente nas primeiras amostragens do mês de fevereiro a mangueira foi descontaminada, em razão da dificuldade encontrada pela autora de posicionar a mangueira no canal, sendo necessário levantar quatro tampas de concreto para estendê-la ao longo do canal até a abertura do tubo de descarga de águas pluviais. Outra razão é o aumento de terra no canal, provindo dos espaços entre as tampas, durante eventos de chuva. A alternativa encontrada foi deixar de levantar as tampas após a inserção de manta geotêxtil entre as tampas para evitar o escoamento nas arestas das tampas.

- **Ponto 3 de amostragem:**

No ponto 3 somente descontaminaram-se 2 béqueres de vidro (figura 5.33).



Figura 5.33. Dois béqueres de vidro de 500 mL.

Quadro 5.3. Divisão dos materiais de amostragem na etapa de descontaminação em laboratório.

Grupo	Parâmetro	Solução ácida	Divisão dos materiais de coleta do ponto 1 (<i>wet only</i>)	Divisão dos frascos de coleta do ponto 2 (amostrador)	Divisão dos frascos de coleta do ponto 3 (trincheira)
1	Coliformes	Ácido nítrico* 10% (v/v)	- 1 sacola de polietileno - 1 mangueira de acrílico inserida no funil - 1 balão volumétrico de vidro de 1 L adaptado - 1 frasco de polietileno de 500 mL identificado como WET (1).	- 12 frascos de polietileno de 500 mL identificados com números ímpares: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23	- 1 béquer de vidro de 500 mL identificado como TRINC (1). - 1 frasco de polietileno de 500 mL identificado como TRINC (1).
	Cor				
	Condutividade				
	Turbidez				
	Cloreto				
	Sulfato				
	Sólidos totais				
	Sólidos dissolvidos totais				
	Cádmio				
	Cobre				
	Chumbo				
Zinco					
2	Nitrato	Ácido clorídrico** 5% (v/v)	- 1 frasco de polietileno de 500 mL identificado como WET (2).	- 12 frascos de polietileno de 500 mL identificados com números pares: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24	- 1 béquer de vidro de 500 mL identificado como TRINC (2). - 1 frasco de polietileno de 500 mL identificado como TRINC (2).
	Nitrito				
	Nitrogênio Amoniacal				
	DQO				

Nota: *Reagente Ácido Nítrico: grau analítico P.A., título 69-70%, procedência QHEMIS.

** Reagente Ácido Clorídrico: grau analítico P.A., título 95-98%, procedência QHEMIS.

A preparação e a execução do processo de descontaminação dos materiais de coleta ocorreram no Laboratório de Saneamento do Departamento de Engenharia Civil da UFSCar, realizados pela autora.

Os procedimentos realizados, listados a seguir, foram baseados em recomendações da literatura e do Prof. Dr. Edenir Rodrigues Pereira Filho do Departamento de Química da UFSCar.

1. Os frascos e as tampas foram lavados e escovados interna e externamente com detergente neutro.
2. Os frascos do grupo 1 foram preenchidos com solução de HNO_3 10% (v/v), agitados e deixados de molho por cerca de 12 horas em recipiente plástico fechado, conforme figura 5.34, e os frascos do grupo 2 foram preenchidos com solução de HCl 5% (v/v), agitados e deixados de molho por cerca de 6 horas em recipiente plástico fechado, diferenciado do grupo 1, conforme figura 5.35.



Figura 5.34. Armazenamento de frascos do Grupo 1 em estado de descontaminação com solução 10% (v/v) de HNO_3 .



Figura 5.35. Armazenamento de frascos do Grupo 2 em estado de descontaminação com solução 5% (v/v) de HCl .

3. Após o período, os frascos e as tampas do grupo 1 foram enxaguados com água da torneira por seis vezes e depois com destilada ou deionizada por seis vezes e, os frascos e as tampas do grupo 2 foram enxaguados com água da torneira por três vezes e depois com destilada ou deionizada por três vezes.

4. Os frascos dos dois grupos foram deixados em local arejado para secar, separados no laboratório.

5.3.4 Amostragem propriamente dita

O responsável pela amostragem, neste caso, a autora da pesquisa, se deslocou para os pontos de coleta antes de cada evento, a fim de reposicionar os materiais de coleta descontaminados e reprogramar o amostrador sequencial, e após a ocorrência do evento, a fim de armazenar as amostras o mais rápido possível sob refrigeração e encaminhá-las para realização das análises laboratoriais, com vistas ao prazo de validade de cada parâmetro analisado.

Finalizado o evento, a autora subiu uma escada de alumínio, posicionada no ponto 1 de amostragem, utilizando luva descartável, capa de chuva, bota de borracha, recolheu, tampou e guardou o frasco da amostra em uma bolsa lateral, desceu a escada, repassou o frasco para uma caixa ambientalmente selada (isopor com gelo), para evitar a proliferação de microorganismos e alteração nas determinações, e transportou o isopor até o Laboratório de Saneamento da UFSCar.

No Laboratório de Saneamento da UFSCar, adicionou-se uma gota de ácido nítrico HNO_3 concentrado P.A. (Pureza Analítica) em cada frasco contendo 40 mL para conservar a amostra dedicada à determinação dos metais pesados no ICP-MS, cujas amostras foram armazenadas até 2 meses em geladeira.

- Materiais levados ao campo:
 - Frascos para coleta plástico (polietileno) com volume apropriado (500 mL);
 - Luvas de borracha descartáveis, sem talco;
 - Caixa de isopor com gelo reciclável;
 - Prancheta; Ficha de coleta; Caneta comum; Caneta esferográfica própria para escrita em vidro ou plástico com tinta resistente à água;
- Registro das informações de campo na ficha de coleta após a amostragem:
 - Identificação do ponto de amostragem;
 - Data e hora da coleta; Responsável pela coleta;
 - Tempos de amostragem;
 - Condições meteorológicas nas últimas 24 h.

5.4 PROGRAMA DE ANÁLISE LABORATORIAL

5.4.1 Planejamento experimental e métodos analíticos

Em razão das restrições ao prazo de validade da amostra para cada parâmetro laboratorial, atentou-se aos volumes utilizados em cada análise e elencou-se prioridade na ordem das análises para os parâmetros que possuem o menor tempo de validade para fins de preservação das amostras (quadro 5.4).

Quadro 5.4. Parâmetros de análise propostos e ordem de análise.

Laboratório	Parâmetro de análise	Ordem de análise	Prazo para análise	Volume necessário de amostra (mL)	Preservação
Laboratório de Saneamento Departamento de Hidráulica e Saneamento Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo	Coliformes Totais e <i>E. coli</i>	1°	24 h	100	Refrigeração a 4±2°C
	Turbidez	2°	48 h	10	
	Condutividade	3°	48 h	20	
	Cor	4°	28 dias	20	
	DQO	5°	Recomendável 24 horas Tolerável 7 dias	4	
	Nitrato	6°	48 h	40	
	Nitrogênio amoniacal	7°	Recomendável 7 dias Tolerável 28 dias	25	
	Nitrito	8°	48 h	50	
	Cloreto	9°	28 dias	25	
	Sulfato	10°	28 dias	40	
	Sólidos Totais	11°	7 dias	100	
	Sólidos Dissolvidos Totais	12°	7 dias	100	
Laboratório do Grupo de Análise Instrumental Aplicada – GAIA (DQ-UFSCar)	Cd	13°	180 dias	40	
	Cu			40	
	Pb			40	
	Zn			40	

Segundo APHA, AWWA e WEF (1999): o resultado de qualquer método de ensaio nunca será melhor do que a amostra a partir do qual ele foi obtido.

De maneira geral, todos os métodos estão sujeitos às interferências. Para possibilitar a obtenção de resultados mais confiáveis, os métodos analíticos são

padronizados. Também deve-se considerar que a sensibilidade varia de método para método, ou seja, a capacidade de quantificar os analitos varia.

Apresentam-se no quadro 5.5 os métodos padronizados das análises adotadas neste trabalho, no quadro 5.6 os limites de quantificação permitidos pelos padrões legais e normas técnicas no Brasil. Apresentam-se nos quadros 5.7 a 5.10 detalhes sobre os equipamentos e materiais de consumo utilizados em cada análise. Como todos os métodos adotados são consagrados pela literatura, eles foram descritos no Apêndice D deste trabalho.

Quadro 5.5. Métodos analíticos de referência padronizados para análise de água.

Parâmetro/Variável	Standard Methods (APHA, AWWA e WEF, 1999)	EPA/USEPA (EPA, 1997)	HACH (HACH, 2008)
Nutrientes			
Amônio	Adaptado de 4500-NH ₄ B;C	*aprovado	8038
Nitrato			8039
Nitrito		*aprovado	8507
Matéria Orgânica			
DQO			8000
Inorgânicas			
Cloreto			8113
Sulfato	Adaptado de 4500-SO ₄	375.4	8051
Metais			
Cádmio	3120 B	6020 A	
Cobre	3120 B		
Chumbo	3120 B		
Zinco	3120 B		
Gerais			
Sólidos Totais	2540 B		
Sólidos Dissolvidos Totais	2540 C		
Microbiológicas			
Coliformes Termotolerantes	9221 E; 9222 D		
Substitutas			
Condutividade elétrica	2510 B		
Cor	2120 B		
Turbidez	2130 B	180.1 Rev. 2.0	

Quadro 5.6. Valores máximos permitidos segundo padrões de potabilidade e normas técnicas em nível de Brasil.

Variável	Padrão de aceitação para consumo humano MS Portaria 518 (BRASIL, 2004)	Substâncias químicas que apresentam risco à saúde MS Portaria 518 (BRASIL, 2004)	Água de chuva para fins não-potáveis (ABNT, 2007)
Amônia	1,5 mg/L		
Nitrato		10 mg/L	
Nitrito		1 mg/L	
DQO			
Cloreto	250 mg/L Cl		
Sulfato	250 mg/L		
Cádmio		0,005 mg/L Cd total	
Cobre		2 mg/L Cu dissolvido	
Chumbo		0,01 mg/L Pb total	
Zinco	5 mg/L		
Sólidos Totais			
Sólidos Dissolvidos Totais	1.000 mg/L		
Coliformes Totais	*ausência em 100 mL		ausência em 100 mL
<i>Escherichia Coli</i>	**ausência em 100 mL		ausência em 100 mL
Condutividade Elétrica			
Cor Aparente	15 uH		< 15 uH
Turbidez	5 uT		< 2 uT ou > 5 uT

Nota: uT = unidade de Turbidez; uH = unidade Hazen; *na saída do tratamento de água; **no sistema de distribuição e em fontes individuais.

Quadro 5.7. Análises físicas e materiais de consumo utilizados.

Parâmetro de análise	Material/ Reagente	Equipamento utilizado	Método analítico	Método STANDARD
Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	- Soluções padrão de cloreto de potássio nas concentrações de 10, 1,0 e 0,1 mmol L ⁻¹ .	Condutivímetro (Digimed, Brasil)	Eletrométrico	2510 B. Eletrométrico
Cor Aparente e Verdadeira	- Sol. Platina-Cobalto REF. DM-S15E - 100 PT-CO	Colorímetro DM (Digimed, Brasil)	Espectrofotométrico	2120 C. Espectrofotométrico
Turbidez	Soluções padrão de Formazina Estabilizada StablCal (10, 50 e 100 NTU)	Turbidímetro 2100 (Hach, EUA)	Nefelométrico	2130 B. Nefelométrico
Sólidos totais (mg/L)	- cápsulas de porcelana - proveta graduada de 100 mL	Balança analítica Mufla Estufa	Gravimétrico	2540 B. Sólidos Totais (103° a 105°C)
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	- cápsulas de porcelana - proveta graduada de 100 mL - Papel filtro fibra vidro 4,7 cm (Boeco, Germany)	Balança analítica Mufla Estufa Bomba à vácuo	Gravimétrico	2540 C. Sólidos Dissolvidos Totais (180°C)

Quadro 5.8. Informações dos reagentes utilizados e da técnica analítica Espectrofotometria ou Espectroscopia de Absorção.

Parâmetro de análise	Reagente HACH			Espectrofotometria ou Espectroscopia de Absorção				
	Nome	Tipo	Categoria	Método HACH	Modelo ^(*) / Programa	Tempo de reação	Limite de detecção (mg/L)	Comprimento de onda espectral
Cloreto	Mercuric Thiocyanate	Sol.	22121-29	Chloride 8113 Mercuric Thiocyanate Method	DR 2010 / 70	5 min	0,1 – 25	455 nm
	Férric Íon	Sol.	22122-42					
Nitrogênio Amoniacal	Mineral Stabilizer	Sol.	23766-26	8038 Nessler Method (Digestion Required)	DR 2010 / 380	1 min	0,02 – 2,50	425 nm
	Polyvinyl Alcohol	Sol.	23765-26					
	Nessler Reagent	Sol.	21194-49					
Nitrato	Nitraver 5	Accuvac Ampuls	25110-25	Nitrate HR 8171 Cadmium Reduction Method	DR 2010 / 361	1 min + 5 min	0,3 – 30	500 nm
Nitrito	Nitraver 3	Powder Pillows	14065-99	Nitrite LR 8507 Diazotization Method	DR 2010 / 371	20 min	0,002 – 0,3	507 nm
		Accuvac Ampuls	25120-25	Nitrite LR 8507	DR 2010 / 371	20 min	0,002 – 0,3	507 nm
Sulfato	Sulfaver 4	Accuvac Ampuls	25090-25	Sulfate 8051	DR 2010 / 685	5 min	0 – 70	450 nm
DQO	Ultra Low Range COD	Sol.	24158-15	COD 8000 URL, Reactor Digestion	DR 2800 / 431	2 h	0,7 – 40	350 nm

Nota: ^(*) Modelo do Espectrofotômetro

Quadro 5.9. Análises químicas realizadas com a técnica analítica Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente.

Parâmetro de análise	STANDARD Method	Equipamento			Material de consumo	
		Nome	Procedência	Faixa de concentração	Nome	Procedência
Cd	3125	Inductively Coupled Plasma/Mass Spectrometry (ICP/MS)	Varian (Mulgrave, Austrália)	µg/L	Padrão Cadmio AA 1000 ppm 125 mL	QHEMIS HIGH PURITY
Cu					Padrão Cobre AA 1000 ppm 125 mL	QHEMIS HIGH PURITY
Pb					Padrão Chumbo AA 1000 ppm 125 mL	QHEMIS HIGH PURITY
Zn					Padrão Zinco AA 1000 ppm 125 mL	QHEMIS HIGH PURITY

Quadro 5.10. Análises microbiológicas realizadas.

Parâmetros de análise	Técnica analítica	STANDARD Method	Equipamento	Material de consumo	
				Nome	Procedência
Coliformes totais e fecais	Teste Presença-Ausência (PA)	9223 B (21ª ed.)	Incubadora	Water Test Kit Colitag (*)	CPI
			Câmara UV	Saco plástico estéril de 120 mL, com Tiosulfato de sódio	LABPLAS

Nota:

*Aprovado pela USEPA em março/2004 e aprovado para testes quantitativos do tipo NMP em maio/2005

5.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram explorados com duas técnicas estatísticas da Quimiometria: Análise de Componentes Principais (PCA, *Principal Component Analysis*) e Análise Hierárquica de Agrupamentos (HCA, *Hierarchical Cluster Analysis*). Usou-se o programa computacional Pirouette® 4.0 Multivariate Data Analysis (Infometrix, EUA).

O procedimento seguiu cinco etapas, segundo Pereira Filho (2010):

1. Definição do problema: neste trabalho, buscou-se através da modelagem dos dados conhecer os padrões relacionados à composição das amostras de água analisadas (água de chuva, água do escoamento superficial direto após passar pelo telhado e canal, e água do escoamento superficial direto após passar pelo sistema filtro-vala-trincheira de infiltração).

Com o cruzamento dos resultados quimiométricos, foi possível responder aos seguintes propósitos:

- Como todas as variáveis se comportam?
- O que mais influencia determinada amostra?
- O que caracteriza um determinado grupo de amostras?

2. Organização dos dados originais: os dados foram digitados em um único arquivo no programa Excel. Completaram-se e excluíram linhas e colunas com dados faltantes. Como este trabalho é uma análise ambiental, a representação dos dados na matriz foi amostras (em função do dia, mês, local e tempo de amostragem) *versus* variáveis. A matriz foi composta por 52 linhas, correspondentes ao total de amostras nos três pontos de coleta em todos os eventos de chuva coletados, e 22 colunas, correspondentes às 12 variáveis concentrações dos parâmetros (cloreto, sulfato, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, DQO, sólidos totais, sólidos totais dissolvidos, cádmio, cobre, chumbo e zinco), às 3 variáveis propriedades físicas (turbidez, cor, condutividade), às 2 variáveis biológicas (coliformes totais, coliformes fecais) e às 5 variáveis condições de amostragem (dia, mês, local e tempo de amostragem, e solução ácida descontaminante do frasco de amostragem).

3. Visualização dos dados originais: os dados foram analisados através de gráficos no programa Excel para verificar o comportamento das amostras e variáveis.

4. Pré-tratamento dos dados:

- Transformação dos dados: aplicado às amostras (linhas da matriz)
- Pré-processamento dos dados: a matriz de dados foi auto-escalada, ou seja, os dados foram padronizados e distribuídos de acordo com as correlações entre as variáveis analisadas (dados de concentração). Quando os dados são autoescalados todos têm a mesma média e desvio padrão, ou seja, deu-se o mesmo peso (importância) para todas as variáveis (colunas da matriz): centrou-se cada variável na média e dividiu-se pelo desvio padrão.

6. Análise exploratória dos dados:

- **Análise de Componentes Principais**: os resultados são expressos em gráficos de escores, com as componentes principais (PC), e pesos (*loadings*). A matriz de *Scores* é composta pelo número de linhas (amostras) e 2 colunas (PC1 e PC2). A matriz de *Loadings* é composta pelo número de linhas (variáveis) e 2 colunas (PC1 e PC2).
- **Análise de Agrupamentos Hierárquicos**: os resultados são expressos em gráficos de dendogramas. O que se visualiza no gráfico da CP1 se visualiza no gráfico de dendograma. Quanto menor for a distância, maior é a similaridade entre as amostras.

Propuseram-se analisar 6 (seis) PCAs e HCAs para as análises comparativas:

- PCA 1a: o máximo de variáveis completas (colunas) da água diretamente da chuva (9: Turbidez, Cor, Condutividade, Cloreto, Sulfato, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal e DQO) *versus* 9 amostras, para comparar as concentrações em função do dia e mês de amostragem.
- PCA 1b: o máximo de amostras completas (linhas) da água diretamente da chuva (15) *versus* 4 variáveis (Cádmio, Cobre, Chumbo e Zinco), para comparar as concentrações em função do dia e mês de amostragem.
- PCA 2: o máximo de amostras completas (linhas) do escoamento superficial direto no canal (17) *versus* 9 variáveis (Cloreto, Sulfato, Sólidos Totais,

Sólidos Totais Dissolvidos, Cádmio, Cobre, Chumbo, Zinco e DQO), para comparar as concentrações em função do dia, mês e tempo de amostragem.

- PCA 3a: o máximo de variáveis completas (colunas) da água diretamente da chuva (15: Turbidez, Cor, Condutividade, Cloreto, Sulfato, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal e DQO) *versus* 9 amostras, para comparar as concentrações em função do dia, mês, local e tempo de amostragem.

- PCA 3b: o máximo de amostras completas (linhas) dos três pontos de amostragem (42) *versus* 5 variáveis (Coliformes Fecais, Cádmio, Cobre, Chumbo e Zinco), para comparar as concentrações em função do dia, mês, local e tempo de amostragem.

- PCA 3c: o máximo de amostras completas (linhas) dos três pontos de amostragem (36) *versus* 4 variáveis (NO₃, NO₂, NH₄ e DQO), para comparar as concentrações em função do dia, mês, local e tempo de amostragem.

As classes (dia, mês, local e tempo de amostragem) foram classificadas por números na matriz de dados, de acordo com as condições de amostragem e ordem cronológica das 52 amostras nos 17 eventos amostrados (tabelas 5.1 e 5.2). No quadro a seguir, apresenta-se um resumo das variáveis e classes associadas em cada PCA.

Quadro 5.11. Variáveis correlacionadas nas 6 PCAs analisadas.

	Dia	Mês	Local	Tempo	Tur	Cor	Cond	Cl	Sulf	ST	STD	CoIF	Cd	Cu	Pb	Zn	NO3	NO2	NH4	DQO		
1a																						
1b																						
2																						
3a																						
3b																						
3c																						

Tabela 5.1. Classes adotadas na matriz de dados para designar as variáveis.

Clas. Leg.	Tempo	Dia (do mês)	Mês	Local
1	Amostra da água diretamente da chuva ("washout": lavagem da atmosfera) no <i>wet only</i> .	1° ao 7°	1° (fevereiro)	Ponto 1 (<i>Wet only</i>)
2	Amostra da água do esd "após ativar o nível" no canal.	8° ao 14°	2° (março)	Ponto 2 (Canal)
3	Amostra da água do esd "após 5 min" no canal.	15° ao 21°	3° (abril)	Ponto 3 (Trincheira)
4	Amostra da água do esd "após 10 min" no canal.	22° ao 28°	4° (maio)	
5	Amostra da água do esd "após 15 min" no canal.	29° ao 31°		
6	Amostra da água do esd "após 20 min" no canal.			
7	Amostra da água do esd "após 25 min" no canal.			
8	Amostra da água do esd após passar pelo sistema filtro-valeta-trincheira de trincheira.			

Nota: "Leg." significa Legenda; "Clas." Significa Classe.

Tabela 5.2. Correlação da legenda das classes das variáveis com as 52 amostras.

Amostra	Dia	Mês	Local	Tempo	Dia	Mês	Local	Tempo	CoIT	CoIF	
1	7	2	W	Washout	1	1	1	1	P	P	2
2	10	2	W	Washout	2	1	1	1	A	A	1
3	12	2	W	Washout	2	1	1	1			
4	12	2	C	após ativar nível	2	1	2	2			
5	12	2	C	após 5 min	2	1	2	3			
6	12	2	C	após 10 min	2	1	2	4			
7	12	2	C	após 15 min	2	1	2	5			
8	12	2	C	após 20 min	2	1	2	6			
9	12	2	C	após 25 min	2	1	2	7			
10	14	2	W	Washout	2	1	1	1			
11	14	2	C	após ativar nível	2	1	2	2			
12	14	2	C	após 5 min	2	1	2	3			
13	14	2	C	após 10 min	2	1	2	4			
14	14	2	C	após 15 min	2	1	2	5			
15	16	2	W	Washout	3	1	1	1			
16	16	2	C	após ativar nível	3	1	2	2			
17	16	2	T	tempo enche esvazia	3	1	3	8			
18	19	2	W	Washout	3	1	1	1			
19	21	2	W	Washout	3	1	1	1			
20	21	2	T	tempo enche esvazia	3	1	3	8			
21	23	2	W	Washout	4	1	1	1			
22	23	2	T	tempo enche esvazia	4	1	3	8			
23	24	2	W	Washout	4	1	1	1			
24	26	2	W	Washout	4	1	1	1			
25	26	2	C	após ativar nível	4	1	2	2			
26	26	2	C	após 5 min	4	1	2	3			
27	26	2	C	após 10 min	4	1	2	4			
28	26	2	C	após 15 min	4	1	2	5			
29	26	2	C	após 20 min	4	1	2	6			
30	26	2	C	após 25 min	4	1	2	7			
31	26	2	T	tempo enche esvazia	4	1	3	8			
32	1	3	W	Washout	1	2	1	1			
33	1	3	T	tempo enche esvazia	1	2	3	8			
34	3	3	W	Washout	1	2	1	1			
35	12	3	W	Washout	2	2	1	1			
36	12	3	T	tempo enche esvazia	2	2	3	8			
37	27	3	W	Washout	4	2	1	1			
38	27	3	C	após ativar nível	4	2	2	2			
39	27	3	C	após 5 min	4	2	2	3			
40	27	3	C	após 10 min	4	2	2	4			
41	27	3	C	após 15 min	4	2	2	5			
42	27	3	C	após 20 min	4	2	2	6			
43	27	3	T	tempo enche esvazia	4	2	3	8			
44	5	4	W	Washout	1	3	1	1			
45	12	4	W	Washout	2	3	1	1			
46	12	4	C	após ativar nível	2	3	2	2			
47	12	4	T	tempo enche esvazia	2	3	3	8			
48	15	5	W	Washout	3	4	1	1			
49	15	5	C	após ativar nível	3	4	2	2			
50	15	5	C	após 5 min	3	4	2	3			
51	15	5	C	após 10 min	3	4	2	4			
52	15	5	C	após 15 min	3	4	2	5			

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo apresentam-se os resultados das análises laboratoriais das amostras de água de chuva e escoamento superficial direto coletadas no verão e outono de 2011.

Os resultados apresentados e discutidos neste capítulo contemplam:

- as concentrações dos parâmetros analisados: Turbidez, Cor, Condutividade, Sólidos Totais, Sólidos Dissolvidos Totais, DQO, Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3 , NO_2 , NH_4^+ , Coliformes Totais, Coliformes Fecais, Cd, Cu, Pb e Zn.
- o cálculo da eficiência do sistema filtro-vala-trincheira de infiltração, construído em escala real, no tratamento da água do escoamento superficial direto.
- análise exploratória para correlacionar as variáveis (parâmetros) e as amostras, em função das condições de amostragem (dia, mês, local e tempo)

Os resultados das análises laboratoriais foram divididos em seis conjuntos de dados para a realização da análise exploratória no *software* Pirouette® versão 4.0 (Infometrix, EUA). Utilizaram-se as técnicas: Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA).

As amostras de água de chuva foram divididas em dois conjuntos (1a e 1b), resultando em PCA1a e HCA1a, e PCA1b e HCA1b, correlacionado as amostras e as variáveis em função do dia e mês de amostragem. As amostras de água de escoamento superficial direto predial compõem o conjunto 2 que resultou na PCA2 e HCA2, correlacionado as amostras e as variáveis em função do dia, mês e tempo de amostragem. Os conjuntos 3a, 3b e 3c englobam as amostras dos três locais de amostragem e resultaram em PCA3a, HCA3a, PCA3b, HCA3b, PCA3c e HCA3c, correlacionado as amostras e as variáveis em função do dia, mês, local e tempo de amostragem.

Na PCA, as informações relacionadas com as amostras são apresentadas no gráfico de “*scores*”. Já a avaliação das variáveis é realizada no gráfico de “*loadings*” (pesos), relacionado com os elementos químicos considerados no estudo. O posicionamento dos agrupamentos de amostras é determinado pela primeira componente principal (PC1), sentido horizontal, e pela segunda componente principal (PC2), sentido vertical, no gráfico de *scores*, e pode ser interpretado a partir da correlação com o gráfico de *loadings*.

Na HCA, é possível confirmar os resultados obtidos com a PCA, através do gráfico de dendograma

6.1. AMOSTRAGENS REALIZADAS

O período de amostragem ocorreu de fevereiro a maio de 2011 em razão das seguintes dificuldades encontradas: (i) demora no processo de importação dos equipamentos para o grupo de pesquisa quali-quantitativa (amostrador sequencial, sensor de nível e medidor de vazão) de 03/2010 a 10/2010; (ii) a conexão do amostrador sequencial (*Portable Sampler*, marca ISCO, série 6712) com os medidores de vazão (*Area Velocity Flow Module and Sensor*, marca ISCO, série 2150 e 4200) para amostrar em função da vazão, não funcionou, em razão da incapacidade do medidor 2150 de medir vazão, do dimensionamento de pulsos em função das condições de amostragem (frascos de coleta de 500 mL) e vazão que passa no canal, o que resultou no dimensionamento de menos 1 pulso. Em razão disto, a alternativa foi necessária a compra de outro cabo – atuador de nível (*Liquid Level Actuator*, marca ISCO, série 1640) – para amostrar em função do nível que passa no canal. Este processo durou de dezembro de 2010 a fevereiro de 2011. Por isso, a amostragem somente começou no início de fevereiro de 2011.

Para se avaliar o efeito da lavagem da atmosfera (*washout*), amostraram-se dezessete eventos durante o período chuvoso nos meses de fevereiro, março e abril, sendo 9 eventos consecutivos após 1 dia sem chuva (dias 12, 14 e 16, 19, 21 e 23/02, 24 e 26/02, 01 e 03/03), 1 evento após 2 dias sem chuva (10/02), 2 eventos seguidos de 1 dia de chuva (24/02), 2 eventos após 8 dias sem chuva (12/03 e 05/04), 1 evento após 7 dias sem chuva (12/04), 1 evento após 6 dias sem chuva (07/02) e 1 evento após 14 dias sem chuva (27/03).

Durante o período de estiagem, conseguiu-se 1 amostra após 30 dias sem chuva, evento de 15/05/2011. Neste caso, precipitações significativas, do ponto de vista da qualidade, são aquelas que carregam o máximo possível de poluentes quanto com maior tempo entre eventos consecutivos de precipitação, em razão do maior acúmulo de poluentes sobre as superfícies.

Nos 18 eventos amostrados foi coletado um total de 52 amostras nos três pontos de amostragem.

O ponto 1 de amostragem foi o único que obteve amostra em todos os eventos, devido à capacidade de amostrar em função da intensidade e duração da precipitação da chuva. Amostrou-se mesmo em evento de pouca intensidade e duração, resultando em pouco volume de amostra, sendo necessário realizar as análises que exigem pouco volume (Ex: metais pesados).

No ponto 2 (canal) amostraram-se 7 eventos. A quantidade total de amostras no ponto 2, em cada evento, foi obtida em função da lâmina e duração do escoamento superficial direto no canal. Para coletar a primeira amostra, em função do nível d'água, a lâmina foi ≥ 7 cm, correspondente à altura da posição do sensor do atuador de nível no canal. A partir da segunda amostra, coletada em função do tempo, a lâmina foi $\geq \frac{3}{8}$ ", correspondente à altura do filtro da mangueira do amostrador seqüencial. O número de amostras foi limitado ao máximo de 6 (12 frascos de 500 mL) ou 25 minutos de amostragem.

No ponto 3 (poço de monitoramento dentro da trincheira de infiltração) amostraram-se 8 eventos. A quantidade total de amostras no ponto 3 dependeu de: intensidade e duração da água de chuva, umedecimento prévio do solo e tempo de enchimento e esvaziamento da trincheira de infiltração, em função da capacidade de infiltração do solo. O ESD chegou à trincheira de infiltração somente em eventos 'intensos'.

Mostram-se na tabela E.1 (Apêndice E) os dados horários e intensidade da precipitação, registrados no pluviógrafo da Estação Climatológica da UFSCar, os dados horários de vazão registrados no canal e os dados horários de nível registrados no poço de monitoramento dentro da trincheira de infiltração.

Quadro 6.1. Amostragens realizadas nos três pontos de coleta.

Data da amostragem	ATM telhado (<i>wet only</i>) Única amostra	ESD entrada do canal (amostrador seqüencial)						ESD saída da trincheira (recipiente simples) Única amostra
		1ª amostra (após ativar nível)	2ª amostra (após 5 min)	3ª amostra (após 10 min)	4ª amostra (após 15 min)	5ª amostra (após 20 min)	6ª amostra (após 25 min)	
Fev	7	x						
	10	x						
	12	x	x	x	x	x	x	x
	14	x	x	x	x			
	16	x	x					x
	19	x						
	21	x						x
	23	x						x
	24	x						
	26	x	x	x	x	x	x	x
Mar	1	x						x
	3	x						
	12	x						x
	27	x	x	x	x	x		x
Abr	5	x						
	12	x	x					x
Mai	15	x	x	x	x	x		
Total de amostras		17	7	5	5	5	4	2

Nota: ATM: água diretamente da atmosfera; ESD: escoamento superficial direto.

6.2. RESULTADOS E ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

6.2.1. Qualidade da água de chuva: análise do efeito da lavagem da atmosfera (*washout*) e períodos sem chuva

Os resultados das concentrações dos parâmetros analisados em cada evento amostrado são apresentados nos quadros 6.2 e 6.3.

Para se avaliar o efeito da lavagem da atmosfera, apresentam-se nos gráficos 6.2, 6.3 e 6.4 a variação das concentrações médias na água de chuva em função da precipitação antecedente (número de dias sem chuva).

Houve aumento gradativo dos teores de Turbidez, SO_4^{2-} e Cl^- nos eventos após 7, 8, 14 e 32 dias sem chuva, conforme gráfico (A) da figura 6.2, gráficos (J) e (K) da figura 6.3.

Nos eventos após 7, 8 e 14 dias sem chuva houve aumento gradativo dos teores de Turbidez, Cor, NO_2^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Cd, Cu, Pb e Zn dias sem chuva, conforme gráfico (A) da figura 6.2, gráficos (H), (J) e (K) da figura 6.3 e gráficos (L), (M), (N) e (O) da figura 6.4.

Para os parâmetros Condutividade Elétrica, DQO, NO_3^- e NH_4^+ houve aumento nos eventos após 7 e 8 dias sem chuva, queda nos eventos após 14 dias sem chuva e aumento nos eventos após 32 dias sem chuva, conforme gráficos (C) e (D) da figura 6.2 e gráficos (G) e (I) da figura 6.3. Para os parâmetros ST e STD houve aumento nos eventos após 7 e 8 dias sem chuva e queda nos eventos após 14 dias sem chuva, conforme gráficos (E) e (F) da figura 6.2.

Nos eventos após 1 dia sem chuva houve aumento gradativo dos teores de Turbidez, Cor, DQO, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} , Cd, Cu, Pb e Zn, quando comparado com o evento após 1 dia de chuva, conforme gráficos (A), (B) e (D) da figura 6.2, gráficos (G), (H), (I) e (J) da figura 6.3 e gráficos (L), (M), (N) e (O) da figura 6.4.

Evidenciou-se que nas amostras coletadas após 1 dia sem chuva (14 e 16/02, 19, 21 e 23/02, 24 e 26/02, 01 e 03/03) houve elevação dos parâmetros turbidez e condutividade elétrica, conforme quadro 6.2. Houve duas exceções: nos dias 16 e 26/02 diminuiu a condutividade elétrica e no dia 03/03 diminuiu a turbidez (ver quadro 6.2). Detectaram-se nos dias 19 e 21/02 as maiores concentrações de NO_2^- (0,008 e 0,007 mg/L) e Cor (9 e 13 Pt-Co), respectivamente, e no dia 23/02 a maior concentração de NO_3^- (3,2 mg/L), dentre todos os eventos amostrados.

Realizaram-se somente as análises de metais pesados-se no único evento amostrado após 2 dias sem chuva (10/02) e no único evento amostrados após 6 dias sem chuva (07/02), em razão do volume amostrado ter sido insuficiente para realizar as demais análises porque nestes dias choveu pouco.

O único evento amostrado em período seco (15/05/2011), após 32 dias sem chuva, foi o que apresentou as maiores concentrações de turbidez (3,71 NTU), EC (37,30 $\mu\text{S}/\text{cm}$), NH_4^+ (1,22 mg/L) e DQO (14 mg/L), dentre todas as análises realizadas. Lastimavelmente, a amostra deste evento não teve volume suficiente para realizar a análise de metais pesados.

Quadro 6.2. Concentrações dos 13 parâmetros nas amostras de “água de chuva”.

Evento	Turbidez (NTU)	Cor (Pt-Co)	EC (μ S/cm)	Cl⁻ (mg/L)	SO₄²⁻ (mg/L)	N-NO₃⁻ (mg/L)	N-NO₂⁻ (mg/L)	N-NH₄⁺ (mg/L)	DQO (mg/L)	ST (mg/L)	STD (mg/L)	Coliformes Totais (P/A)	Coliformes Fecais (P/A)
12/02/11	--	--	-	--	--	--	--	--	--	--	--	P	A
14/02/11	1,31	1	7,55	0,1	1	--	--	--	--	0,020	0,011	P	A
16/02/11	1,41	1	7,46	<	0	1,6	0,002	0,50	3,0	0,197	0,040	P	A
19/02/11	0,96	9	10,73	0,2	0	1,9	0,008	0,97	3,0	--	--	P	A
21/02/11	1,57	13	10,97	0,2	0	1,7	0,007	0,61	3,0	0,200	0,030	P	A
23/02/11	1,88	6	12,94	0,1	0	3,2	0,003	0,70	6,0	0,015	--	P	A
24/02/11	0,61	4	23,30	0,3	0	1,7	0,001	0,30	1,5	--	--	P	A
26/02/11	0,77	--	11,23	0,2	0	1,6	0,000	0,08	1,8	0,000	0,042	P	A
01/03/11	0,97	4	7,69	0,0	1	1,7	0,003	0,12	1,57	0,012	0,087	P	A
03/03/11	0,55	1	8,04	0,1	0	2,5	0,003	0,11	0,9	0,002	0,0015	P	A
12/03/11	0,50	1	10,92	0,1	0	1,5	0,001	0,14	1,4	0,000	0,0001	P	A
27/03/11	1,18	8	9,27	0,2	1	1,3	0,006	0,16	1,8	0,0016	0,0072	P	A
05/04/11	0,88	7	14,14	0,1	2	1,5	0,006	0,58	11,0	0,018	0,056	P	A
12/04/11	1,41	3	16,73	0,0	0	1,3	0,002	0,11	10,0	--	0,035	P	A
15/05/11	3,71	7	37,30	1,3	--	2,5	0,004	1,22	14,0	--	--	P	A

Nota: “-” significa dado não disponível em função de volume de amostra insuficiente para realizar a análise.

Quadro 6.3. Concentrações de metais pesados (média ± desvio padrão) nas amostras de “água de chuva”.

Evento	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
07/02/11	0,03±0,01	2,63±0,02	0,20±	27,34±3,69
10/02/11	0,05±0,00	3,27±0,03	2,53±0,71	27,34±1,44
12/02/11	0,14±0,01	1,54±0,15	0,53±0,27	7,14±3,28
14/02/11	0,02±0,00	1,65±0,03	2,77±0,30	13,67±2,11
16/02/11	0,09±0,00	1,27±0,02	1,38±0,39	4,93±1,34
19/02/11	0,03±0,00	0,70±0,00	2,46±1,00	18,72±2,13
21/02/11	0,26±0,02	2,60±0,03	14,91±0,58	44,60±9,67
23/02/11	0,11±0,01	1,69±0,03	4,36±0,87	12,62±0,33
24/02/11	0,09±0,00	0,80±0,01	<LD	10,17±1,21
26/02/11	0,15±0,00	0,79±0,00	<LD	6,85±0,27
01/03/11	0,08±0,02	0,40±0,05	0,88±0,07	5,02±0,21
03/03/11	0,04±0,00	0,39±0,01	1,41±0,55	7,95±2,58
12/03/11	0,02±0,00	<LD	<LD	5,79±1,32
27/03/11	1,86±0,04	3,44±0,03	0,89±0,23	14,75±1,47
05/04/11	0,15±0,02	1,32±0,07	<LD	10,49±3,27
12/04/11	0,18±0,04	0,15±0,10	0,77±0,09	24,36±0,83
15/05/11	--	--	--	--

Nota: “-” significa dado não disponível em função de volume de amostra insuficiente para realizar a análise; LD: “limite de detecção”.

Cd 112: LOD = 0,01/0,03 e LOQ = 0,02/0,12

Cu 63: LOD = 0,04/0,08 e LOQ = 0,15/0,27

Pb 208: LOD = 7,54/0,54 e LOQ = 25,14/1,80

Zn 66: LOD = 2,05 e LOQ = 6,84

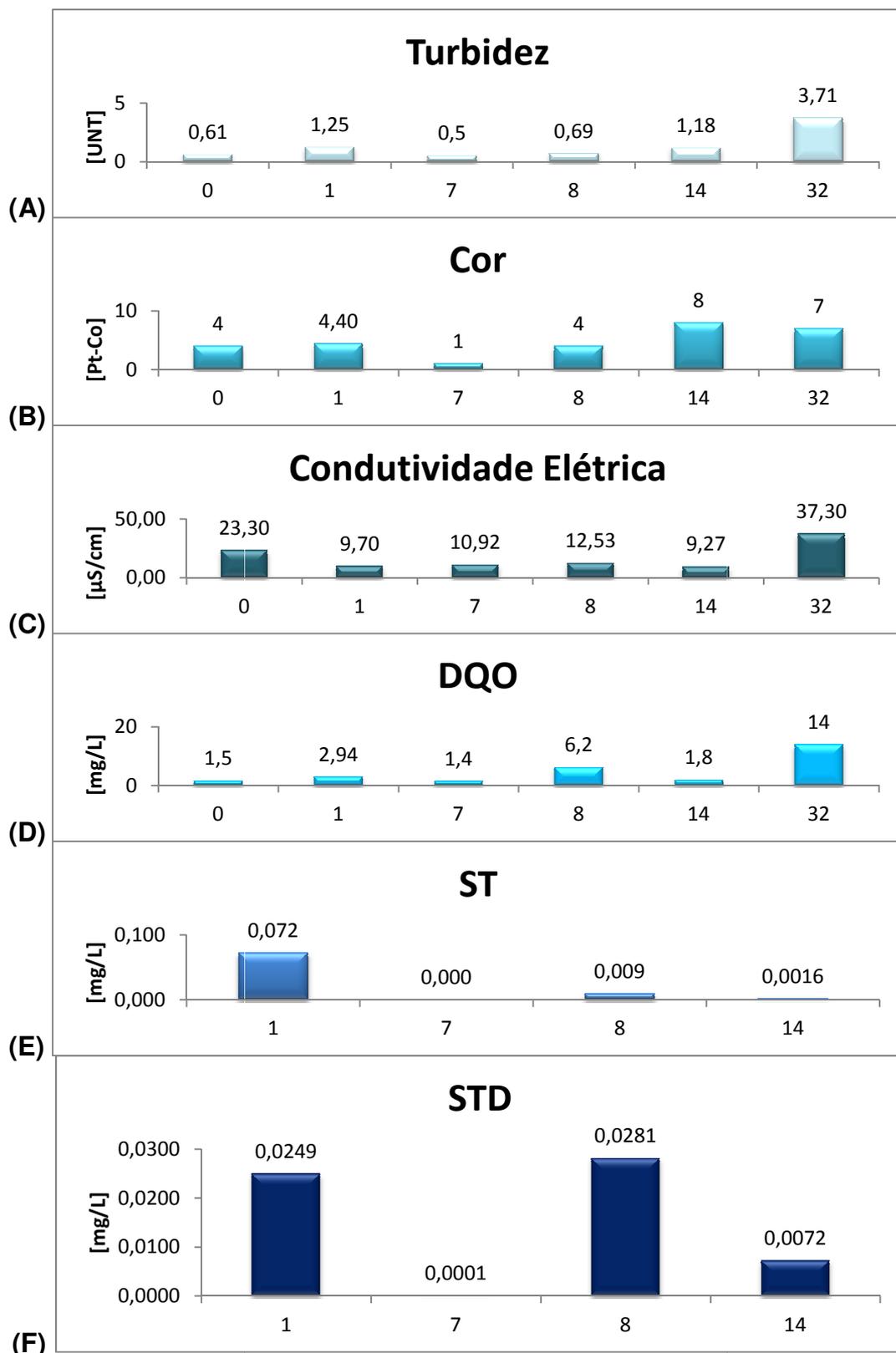


Figura 6.2. Gráficos da variação das concentrações médias de Turbidez (A), Cor (B), Condutividade Elétrica (C), DQO (D), ST (E) e STD (F) na água de chuva em função da precipitação antecedente (t₀: após 0 dias sem chuva; t₁: após 1 dia sem chuva; t₇: após 7 dias sem chuva; t₈: após 8 dias sem chuva; t₁₄: após 14 dias sem chuva; t₃₂: após 32 dias sem chuva).

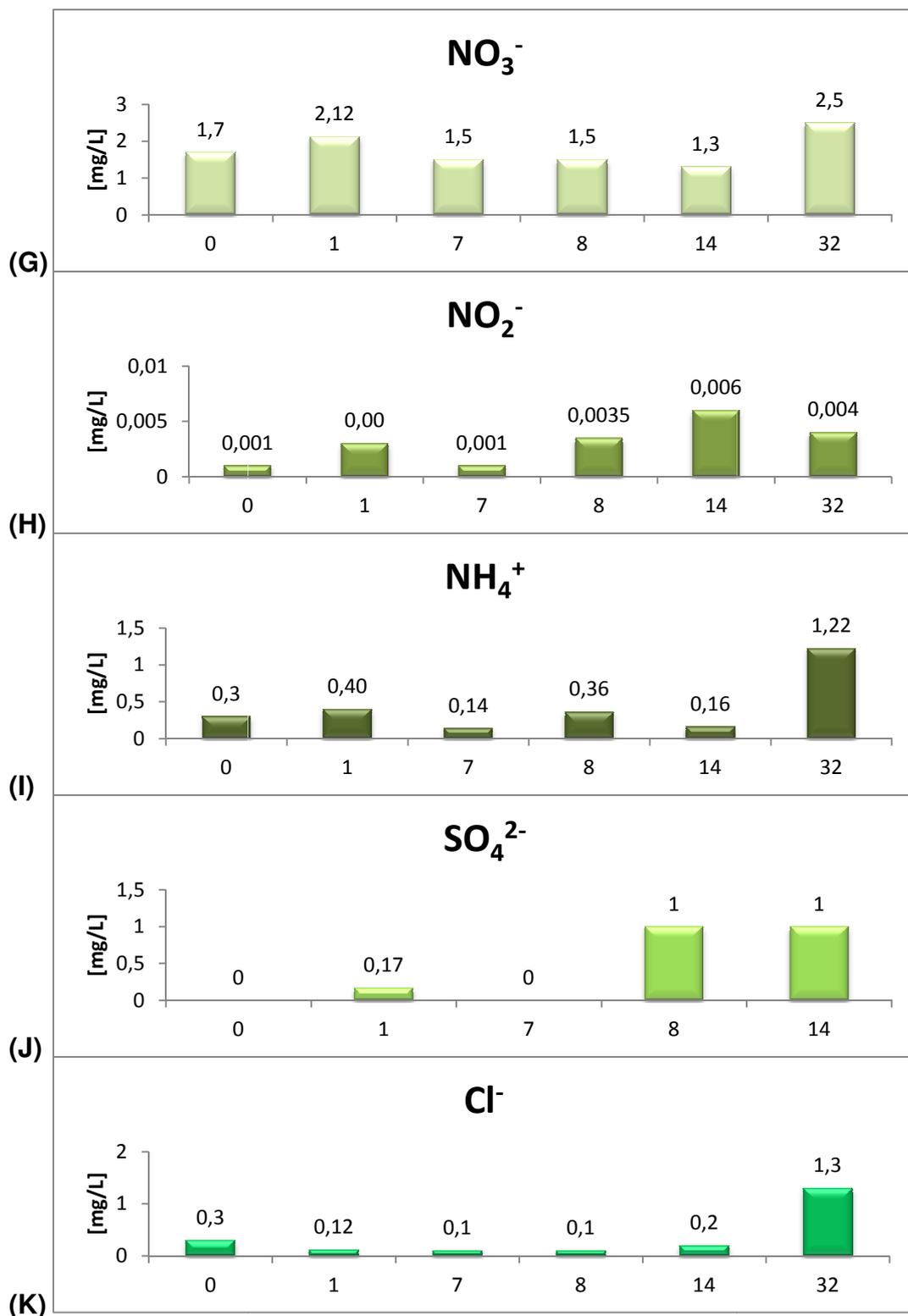


Figura 6.3. Gráficos da variação das concentrações médias de NO₃⁻ (G), NO₂⁻ (H), NH₄⁺ (I), SO₄²⁻ (J) e Cl⁻ (K) na água de chuva em função da precipitação antecedente (t₀: após 0 dias sem chuva; t₁: após 1 dia sem chuva; t₇: após 7 dias sem chuva; t₈: após 8 dias sem chuva; t₁₄: após 14 dias sem chuva; t₃₂: após 32 dias sem chuva).

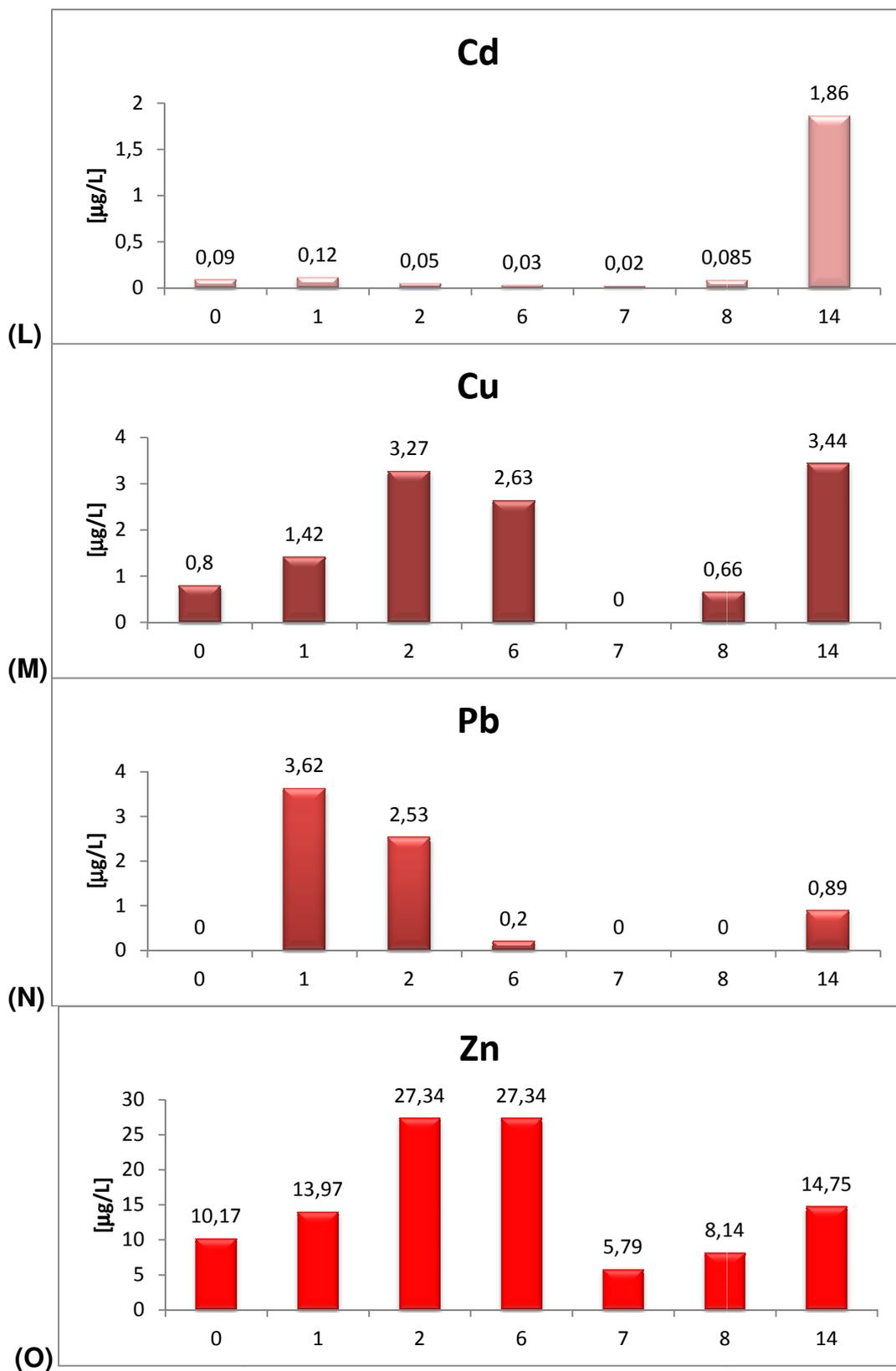


Figura 6.4. Gráfico da variação das concentrações médias de Cu (L), Cd (M), Pb (N) e Zn (O) na água de chuva em função da precipitação antecedente (t₀: após 0 dias sem chuva; t₁: após 1 dia sem chuva; t₂: após 2 dias sem chuva; t₆: após 6 dias sem chuva; t₇: após 7 dias sem chuva; t₈: após 8 dias sem chuva; t₁₄: após 14 dias sem chuva).

6.2.2. Qualidade da água de chuva: comparação dos resultados com estudos precedentes e legislações e normas vigentes

Comparando-se os resultados dos parâmetros analisados nas amostras de água de chuva deste estudo com normas internacionais (Organização Mundial da Saúde e Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), norma técnica nacional de aproveitamento de água para fins não-potáveis (Associação Brasileira de Normas Técnicas), legislação nacional de potabilidade (Ministério da Saúde) e limites permitidos para descarga de efluentes (Conselho Nacional do Meio Ambiente) e estudos precedentes de outros autores (em nível de Brasil e outros países), em termos de média e variação para cada parâmetro, pode-se afirmar que:

- 1) A ausência de Coliformes Fecais em todas as amostras de água de chuva deste estudo, conforme quadro 6.4, significa que há possibilidade de aproveitamento desta água para fins não-potáveis, conforme norma NBR (ABNT, 2007). A existência de Coliformes Totais se deve aos particulados na atmosfera carregados pelo vento e provindos da área de estudo, localizada na região em expansão do campus da UFSCar e constituída por áreas com solo exposto.

Quadro 6.4. Concentrações de coliformes analisados em água de chuva e valores máximos permitidos.

Local	Coliformes Totais	Coliformes Fecais
São Carlos (SP, Brasil) ¹	Presença (em 100% das 15 amostras analisadas)	Ausência (em 100% das 15 amostras analisadas)
Cuiabá (MT, Brasil) ²	Presença (em 67% das 18 amostras analisadas)	Presença (em 17% das 18 amostras analisadas)
Belo Horizonte (MG, Brasil) ³	-	T _s = 8,1x10 ⁸ NMP/100 mL T _c = 8x10 ⁷ NMP/100 mL
Ilha Kefalonia (Grécia) ⁴	8 CFU/100 mL (1 – 13)	0 CFU/100 mL (0 – 250)
Lusaka (Zambia) ⁵	0 – 27 CFU/100 mL	0 – 1 CFU/100 mL
*WHO/OMS	0	0
**MS (Brasil)	Ausência (na saída do tratamento de água)	Ausência (na sistema de distribuição de água e em fontes individuais)
***ABNT(Brasil)	Ausência	Ausência

Fonte: ¹Este estudo; ²Oliveira e Silva *et al.* (2009); ³Vieira *et al.* (2009); ⁴Sakakli *et al.* (2007); ⁵Handia (2005). Notas: *WHO significa *World Health Organization*; OMS significa Organização Nacional da Saúde; **MS significa Ministério da Saúde (Portaria MS 518/2004); ***ABNT significa Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR/152272007).

2) A concentração média (4,54 mg/L) e a variação de DQO (0,9 – 14 mg/L) neste estudo, conforme quadro 6.5, é próxima da concentração média (4,3 mg/L) e a variação de DQO (0 – 18 mg/L) encontrada em Campo Mourão – PR, no estudo de Lima *et al.* (2009). Com relação a este parâmetro, não há limitações de normas e legislações, mas pode-se afirmar que a concentração encontrada neste estudo é relativamente baixa, considerando-se que a área de estudo é periurbana.

Quadro 6.5. Concentrações de DQO analisadas em água de chuva.

Local	DQO (mg/L)	
	Média	Variação
São Carlos (SP, Brasil) ¹	4,54	0,9 – 14
Belo Horizonte (MG, Brasil) ²	T _c = 70 T _s = 374	-
Campo Mourão (PR, Brasil) ³	bruta = 4,3 filtrada = 0,0	bruta = 0 – 18 filtrada = 0 – 0
*WHO/OMS	-	-
**MS (Brasil)	-	-
***ABNT (Brasil)	-	-

Fonte: ¹Este estudo; ²Oliveira e Silva *et al.* (2009); ³Vieira *et al.* (2009).

Notas: T_s = tempo seco; T_c = tempo chuvoso; *WHO significa *World Health Organization*; OMS significa Organização Nacional da Saúde; **MS significa Ministério da Saúde (Portaria MS 518/2004); ***ABNT significa Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR15227/2007).

3) Com relação ao parâmetro Condutividade Elétrica, a média encontrada na água de chuva deste estudo (13,45 µS/cm), conforme quadro 6.6, é próxima das concentrações brasileiras encontradas em Cuiabá – MT (8,81 µS/cm), no estudo de Oliveira e Silva *et al.* (2009), em Campo Mourão – PR (16,3 µS/cm), no estudo de Lima *et al.* (2009) e em Figueira – PR (22,5 µS/cm), no estudo de Flues *et al.* (2002). As concentrações encontradas em outros países são superiores aos estudos brasileiros em razão das condições físicas e meteorológicas serem diferentes, como é o caso de Galícia na Espanha (68,4 µS/cm), no estudo de Vásquez *et al.* (2003), e da Ilha Kefalonia na Grécia (103 µS/cm), no estudo de Sakakli *et al.* (2007).

4) A média de Turbidez encontrada neste estudo (1,27 UNT), conforme quadro 6.6, é inferior à média encontrada em Cuiabá – MT (início da chuva = 8 UNT), no estudo de Oliveira e Silva *et al.* (2009), em Campo Mourão – PR (18 UNT), no estudo de Lima *et al.* (2009), e em Lusaka na Zâmbia

(10,3 e 4,95 UNT), no estudo de Handia (2005). O resultado de Turbidez, neste estudo, atende aos padrões de potabilidade da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2011) e do Ministério da Saúde – Portaria 518 (BRASIL, 2004), equivalente a 5 uT, e à norma de aproveitamento de águas pluviais para fins não-potáveis – NBR 15227 (ABNT, 2007), equivalente a < 2 uT ou > 5 uT.

- 5) Quanto ao parâmetro Cor, a média (5 mg Pt-Co) e variação (1 – 14 mg Pt-Co) neste estudo, conforme quadro 6.6, é menor que o valor médio e a variação encontrada em Cuiabá – MT, no estudo de Oliveira e Silva *et al.* (2009): 18 mg Pt-Co e 4 – 55 mg Pt-Co. Os resultados deste estudo também atenderam ao padrão de potabilidade da Portaria 518 do Ministério da Saúde (15 uH) e da Norma 15227 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (< 15 uH).
- 6) Com relação aos Sólidos Totais e Sólidos Totais Dissolvidos nas amostras de água de chuva, os valores médios neste estudo foram muito baixos (ST = 0,047 mg/L e STD = 0,031), conforme quadro 6.6, comparando-se com o estudo realizado em Cuiabá – MT (ST = 65 mg/L) e em (STD = 2,8 e 13,5 mg/L), e com a Portaria 518 do MS (STD = 1000 mg/L).
- 7) Também apresentaram valores menores, neste estudo, as concentrações médias dos nutrientes NO_3^- (1,8 mg/L), NO_2^- (0,004 mg/L), NH_4^+ (0,43 mg/L), SO_4^{-2} (0,4 mg/L) e Cl^- (0,2 mg/L), conforme quadro 6.7, comparando-se com o estudo feito em Belo Horizonte – MG (NH_4^+ = 3,6 mg/L em tempo chuvoso e 20 mg/L em tempo seco), por Vieira *et al.* (2009), o estudo feito em Ilha Kefalônia na Grécia (NO_3^- = 1,8 mg/L, NO_2^- = 0,013 mg/L, SO_4^{-2} = 8 mg/L e Cl^- = 7 mg/L), por Sakakli *et al.* (2007), e as legislações vigentes WHO (NO_3^- = 10 mg/L, SO_4^{-2} = 250 mg/L e Cl^- = 250 mg/L) e Ministério da Saúde (NO_3^- = 10 mg/L, NO_2^- = 1 mg/L, NH_4^+ = 1,5 mg/L, SO_4^{-2} = 250 mg/L e Cl^- = 250 mg/L).
- 8) Os valores médios dos metais Cd (0,21 $\mu\text{g/L}$), Cu (1,42 $\mu\text{g/L}$), Pb (0,21 $\mu\text{g/L}$) e Zn (1,42 $\mu\text{g/L}$), neste estudo, conforme quadro 6.8, apresentaram valores menores que os outros estudos precedentes: Vieira *et al.* (2009) em Belo Horizonte – MG (Zn = 47 $\mu\text{g/L}$ em tempo chuvoso e 62 $\mu\text{g/L}$ em tempo seco), Sakakli *et al.* (2007) na Ilha Kefalônia na Grécia (Cd = 0,10

mg/L, Cu < 2,5 mg/L, Pb < 2 mg/L e Zn = 10 mg/L), Al-Khashman (2009) na Jordânia Ocidental (Cd = 52 µg/L, Cu = 73 µg/L, Pb = 66 µg/L e Zn = 210 µg/L), Al-Momani *et al.* (2003) no norte de Amman da Jordânia (Cd = 0,42 mg/L, Cu = 3,08 mg/L, Pb = 2,57 mg/L e Zn = 6,52 mg/L), Song e Gao (2009) em Metropolitana de Nova Jersey nos Estados Unidos (Cd = 0,03 mg/L, Cu = 2,82 mg/L, Pb = 0,47 mg/L e Zn = 6,60 mg/L) e Handia (2005) em Lusaka na Zâmbia (Pb < 0,01 mg/L e Zn = 0,001 mg/L).

Os mesmos metais, quando comparados com as legislações vigentes, conforme quadro 6.8, também apresentam concentrações abaixo das estabelecidas em WHO (Cd = 0,003 mg/L, Cu = 2 mg/L e Pb = 0,01 mg/L), EPA (Cd = 0,005 mg/L, Cu = 1 mg/L, Pb = 0,015 mg/L e Zn = 5 mg/L), Portaria 518 do Ministério da Saúde (Cd = 0,005 mg/L, Cu = 2 mg/L, Pb = 0,01 mg/L e Zn = 5 mg/L) e limites permitidos para descarga de efluentes segundo a Resolução 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Cd = 0,2 mg/L, Cu = 1,02 mg/L, Pb = 0,5 mg/L e Zn = 5 mg/L).

Pode-se justificar a diferença dos valores dos parâmetros Turbidez, Cor, e Zinco entre São Carlos (este estudo) e as outras cidades citadas pela diferença de:

- método de amostragem: neste estudo, a amostragem considerou apenas a deposição úmida (abertura do *wet only* no instante inicial da precipitação para amostrar a lavagem da atmosfera), sem pré-expor o frasco de coleta antes da chuva (deposição seca). A deposição úmida evita a contaminação por vários elementos abundantemente presentes nos particulados da atmosfera, como é o caso Zn.
- procedimentos de pré-amostragem (escolha do ácido para descontaminar os frascos de coleta e cuidados laboratoriais e em campo para evitar contaminação, principalmente de Zn);
- condições físicas e localização da amostragem: a atmosfera da área de estudo, localizada na região em expansão do campus da UFSCar, próxima à vegetação de Cerrado, ou seja, periurbana, e constituída por áreas adjacentes com solo exposto (urbanização em desenvolvimento), difere-se em vários aspectos de uma área “tradicionalmente” urbana, composta por diferentes particulados originários de fontes difusas, e de uma área “particularmente” litorânea, composta por maior quantidade de sais dissolvidos (Ca⁺, Na⁺, Mg⁺) e por isso, maior condutividade elétrica.

Quadro 6.6. Concentrações dos parâmetros EC, Turbidez, Cor, ST e STD analisados em água de chuva.

Local	EC ($\mu\text{S/cm}$)		Turbidez (UNT)		Cor (mg Pt-Co)		ST (mg/L)		STD (mg/L)	
	Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação
São Carlos (SP, Brasil) ¹	13,45	7,46 – 37,30	1,27	0,50 – 3,71	5	1 – 13	0,047	0,0 – 0,2	0,031	0,0001 – 0,087
Cuiabá (MT, Brasil) ²	i = 8,81 f = 11,71	2,63 – 46,56 3,09 – 38,45	i = 8 f = 5	1 – 28 1 – 24	i = 18 f = 12	4 – 55 3 – 41	i = 65 f = 37	13 – 156 6 – 76	-	-
Campo Mourão (PR, Brasil) ³	16,3	11,7 – 19,6	18	3,9 – 8,1	-	-	45	8 – 74	-	-
Figueira (PR, Brasil) ⁴	22,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Galicia (Espanha) ⁵	68,4	25,6 – 163,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Ilha Kefalonia (Grécia) ⁶	103	56 – 220	-	-	-	-	-	-	-	-
Lusaka (Zambia) ⁷	-	-	10,3 4,95	0,14 – 1,64	-	-	-	-	2,8 13,5	4,2 – 12
Área Ocidental (Jordânia) ⁸	95,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
*WHO/OMS	-	-	5 uT	-	-	-	-	-	-	-
**MS (Brasil)	-	-	5 uT	-	15 uH	-	-	-	1000 mg/L	-
***ABNT (Brasil)	-	-	< 2 uT ou > 5uT	-	< 15 uH	-	-	-	-	-

Fonte: ¹ Este estudo; ² Oliveira e Silva *et al.* (2009); ³ Lima *et al.* (2009); ⁴ Flues *et al.* (2002); ⁵ Vásquez *et al.* (2003); ⁶ Sakakli *et al.* (2007); ⁷ Handia (2005); ⁸ Al-Khashman (2009).

Notas: NTU = número de turbidez; uT = unidade de Turbidez; uH = unidade Hazen; i = início da chuva; f = fim da chuva; “-” significa dado não disponível.

*WHO significa *World Health Organization*; OMS significa Organização Nacional da Saúde

**MS significa Ministério da Saúde (Portaria MS 518/2004)

***ABNT significa Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR/2007)

Quadro 6.7. Concentrações dos parâmetros NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, SO₄⁻² e Cl⁻ analisados em água de chuva.

Local	NO ₃ ⁻ (mg/L)		NO ₂ ⁻ (mg/L)		NH ₄ ⁺ (mg/L)		SO ₄ ⁻² (mg/L)		Cl ⁻ (mg/L)	
	Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação
São Carlos (SP, Brasil) ¹	1,8	1,3 – 3,2	0,004	0 – 0,008	0,43	0,3 – 1,22	0,4	0 – 2	0,2	0 – 1,3
Belo Horizonte (MG, Brasil) ²	-	-	-	-	T _c = 3,6 T _s = 20	-	-	-	-	-
Ilha Kefalônia (Grécia) ³	7,04		0,013	0,003 – 0,043			8		7	
*WHO/OMS	10		-		-		250		250	
**MS (Brasil)	10		1		1,5		250		250	
***ABNT (Brasil)	-		-		-		-		-	

Fonte: ¹ Este estudo; ² Vieira *et al.* (2009); ³ Sakakli *et al.* (2007);

Notas: “-” = dado não disponível; “T_c” = tempo chuvoso; “T_s” = tempo seco.

*WHO significa *World Health Organization*; OMS significa Organização Nacional da Saúde

**MS significa Ministério da Saúde (Portaria MS 518/2004)

***ABNT significa Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR/2007)

Quadro 6.8. Concentrações dos parâmetros Cd, Cu, Pb e Zn analisados em água de chuva.

Local	Período	Cd		Cu		Pb		Zn	
		Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação
São Carlos (SP, Brasil) ¹	fev/11 – maio/11	0,21 µg/L	0,02 – 1,86 µg/L	1,42 µg/L	0 – 3,44 µg/L	2,12 µg/L	0 – 14,91 µg/L	15,11 µg/L	5,02 – 44,60 µg/L
Belo Horizonte (MG, Brasil) ²	Tc Ts	-	-	-	-	-	-	47 62 mg/L	-
Ilha Kefalonia (Grécia) ³	verão/02 spring/05	0,10 mg/L	< 0,10 – 0,19	< 2,5 mg/L	< 2,5 – 13	< 2,0 mg/L	< 2,0 – 6,9	10,0 mg/L	< 10,0 – 77,0
Lusaka (Zâmbia) ⁴		-	-	-	-	< 0,01 mg/L	-	< 0,001 mg/L	-
Área Ocidental (Jordânia) ⁵		52 µg/L	-	73 µg/L	-	66 µg/L	-	210 µg/L	-
Norte de Amman (Jordânia) ⁶	dez/98 – abr/00	0,42 mg/L	-	3,08 mg/L	-	2,57 mg/L	-	6,52 mg/L	-
Metropolitana de Nova Jersey (EUA) ⁷	set/06 – out/07	0,03 µg/L	< 0,01 – 0,21 µg/L	2,82 µg/L	0,05 – 64,3 µg/L	0,47 µg/L	0,03 – 1,97 µg/L	6,60 µg/L	1,22 – 16,90 µg/L
Tokyo (Japão) ⁸	19/mai/04 09/jul/05	-	14 – 232 24 – 170 ng/L	-	0,5 – 7,1 0,6 – 9,2 ng/L	-	0,9 – 17 0,8 – 10 ng/L	-	10 – 143 8 – 50 ng/L
*WHO/OMS		0,003 mg/L		2 mg/L		0,01 mg/L		-	
**EPA (EUA)		0,005 mg/L		1 mg/L		0,015 mg/L		5 mg/L	
***MS (Brasil)		0,005 mg/L		2 mg/L		0,01 mg/L		5 mg/L	
****CONAMA (Brasil)		0,2 mg/L		1,02 mg/L		0,5 mg/L		5 mg/L	

Fonte: ¹Este estudo; ²Vieira *et al.* (2009); ³Sakakli *et al.* (2007); ⁴Handia (2005); ⁵Al-Khashman (2009); ⁶Al-Momani *et al.* (2003); ⁷Song e Gao (2009); ⁸Shimamura *et al.* (2007). Notas: “-” = dado não disponível; “Tc” = tempo chuvoso; “Ts” = tempo seco; *WHO significa *World Health Organization*; OMS significa Organização Nacional da Saúde; **EPA significa Agência de Proteção Ambiental dos EUA; ***MS significa Ministério da Saúde (Portaria MS 518/2004); ****ABNT significa Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR15227/2007); *****Limites permitidos para descarga de efluentes segundo o Conselho Nacional de Meio Ambiente (Resolução 357/2005).

6.2.3. Análise de Componentes Principais e Análise Hierárquica de Agrupamentos para o conjunto de amostras de água de chuva

Realizaram-se duas PCAs e HCAs para avaliar a correlação entre as amostras de água de chuva e as variáveis analisadas.

No primeiro conjunto (1a) elegeu-se o máximo de amostras possível *versus* as amostras relacionadas a essas variáveis, ou seja, priorizou-se o número de colunas completas (variáveis) diante do número de linhas incompletas (amostras) para a formação da matriz do conjunto 1a (quadro 6.9), que contém:

- 9 variáveis (Turbidez, Cor, Condutividade, Cloreto, Sulfato, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal e DQO)
- 9 amostras de água de chuva (Am15, Am18, Am19, Am23, Am32, Am35, Am37, Am44 e Am45)
- 2 classes de condições de amostragem (dia e mês)

No segundo conjunto (1b) elegeu-se o máximo de amostras *versus* as variáveis faltantes do conjunto PCA1a, ou seja, priorizou-se o número de linhas completas (amostras) diante do número de colunas incompletas (variáveis) para a formação da matriz do conjunto 1b (quadro 6.10), que contém:

- 15 amostras (Am1, Am2, Am3, Am10, Am18, Am19, Am21, Am23, Am24, Am32, Am34, Am35, Am37, Am44 e Am45)
- 4 variáveis (Cádmio, Cobre, Chumbo e Zinco)
- 2 classes de condições de amostragem (dia e mês).

Quadro 6.9. Matriz de dados originais de amostras de água de chuva (#1a).

Amostra	Classe		Variáveis								
	Dia	Mês	Tur	Cor	Cond	Cl	Sulf	NO3	NO2	NH4	DQO
Am15	2	1	1,41	1,00	7,46	0,00	0	1,60	0,002	0,50	3
Am18	2	1	0,96	9,00	10,73	0,20	0	1,90	0,008	0,97	3
Am19	2	1	1,57	13,00	10,97	0,20	0	1,70	0,007	0,61	3
Am23	3	1	0,61	4,00	23,30	0,30	0	1,70	0,001	0,30	1,5
Am32	1	2	0,97	4,00	7,69	0,00	1	1,70	0,003	0,12	1,57
Am35	1	2	0,50	1,00	10,92	0,10	0	1,50	0,001	0,14	1,4
Am37	3	2	1,18	8,00	9,27	0,20	1	1,30	0,006	0,16	1,8
Am44	1	3	0,88	7,00	14,14	0,10	2	1,50	0,006	0,58	11
Am45	1	3	1,41	3,00	16,73	0,00	0	1,30	0,002	0,11	10

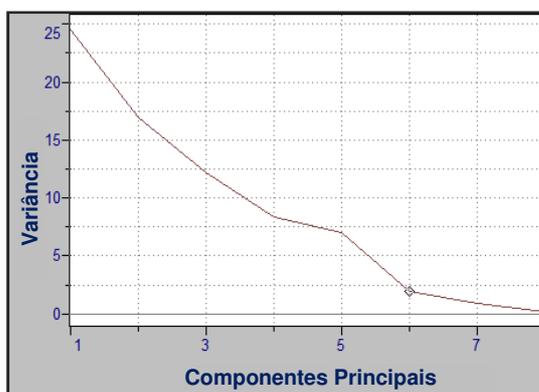
Legenda: **Classe "dia"**: 1, 2, 3, 4 e 5 equivalem aos intervalos do 1° ao 7°, 8° ao 14°, 15° ao 21°, 22° ao 28° e 29° ao 31° dia do mês; **Classe "mês"**: 1, 2, 3 e 4 equivalem ao 1°, 2°, 3° e 4° mês de amostragem: fev, mar, abr e maio.

Quadro 6.10. Matriz de dados originais de amostras de água de chuva (#1b).

Amostra	Classe		Variáveis			
	Dia	Mês	Cd	Cu	Pb	Zn
Am1	1	1	0,03	2,63	0,20	27,34
Am2	1	1	0,05	3,27	2,53	27,34
Am3	1	1	0,14	1,54	0,53	7,14
Am10	1	1	0,02	1,65	2,77	13,67
Am18	2	1	0,03	0,70	2,46	18,72
Am19	2	1	0,26	2,60	14,91	44,60
Am21	3	1	0,11	1,69	4,36	19,74
Am23	3	1	0,09	0,80	0,32	10,17
Am24	3	1	0,15	0,79	0,00	6,85
Am32	1	2	0,08	0,40	0,88	5,02
Am34	1	2	0,04	0,39	1,41	7,95
Am35	1	2	0,02	0,00	0,00	5,79
Am37	3	2	1,86	3,44	0,89	17,32
Am44	1	3	0,15	1,32	0,43	10,49
Am45	1	3	0,18	0,15	0,77	24,36

Legenda: **Classe "dia"**: 1, 2 e 3 equivalem aos intervalos do 1° ao 7°, 8° ao 14° e ao 15° ao 21° dia do mês; **Classe "mês"**: 1, 2 e 3 equivalem ao 1°, 2° e 4° mês de amostragem: fev, mar e maio.

Para a modelagem do conjunto 1a, adotaram-se 6 componentes principais (PCs) do conjunto 1a autoescalado (quadro 6.11), segundo gráfico (a) da figura 6.5, pois estes acumulam 98,49% da informação na variância escalar de 8 PCs, conforme tabela (b) da figura 6.5.



(a)

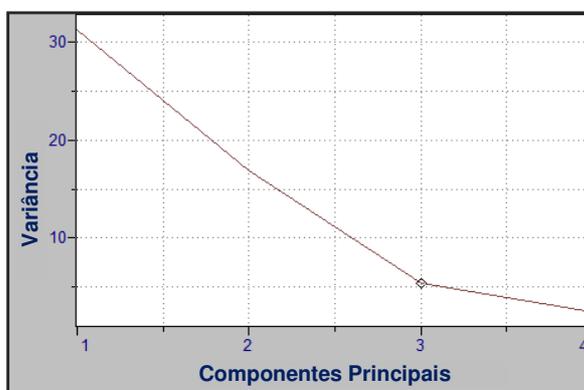
	Variância	Porcentagem	Cumulativa
PC1	24,54	34,08	34,08
PC2	16,92	23,50	57,58
PC3	12,20	16,94	74,52
PC4	8,34	11,58	86,10
PC5	7,02	9,75	95,85
PC6	1,90	2,64	98,49
PC7	0,93	1,29	99,78
PC8	0,16	0,22	100,00

(b)

Figura 6.5. Descrição dos componentes principais do conjunto 1a: (a) gráfico de seleção de PCs significativos; (b) valores correspondentes aos 8 PCs.

Mostra-se na figura 6.7 que a melhor separação entre os meses de amostragem, para o conjunto 1a, ocorreu pela PC1 (24,54%) *versus* a PC2 (16,92%), as quais descrevem, cumulativamente, 57,58% da variabilidade total dos dados do conjunto 1a.

Para a modelagem do conjunto 1b, adotaram-se 3 componentes principais (PCs) do conjunto 1b autoescalado (quadro 6.12), segundo gráfico (a) da figura 6.6, pois estes acumulam 95,76% da informação na variância escalar de 4 PCs, conforme tabela (b) da figura 6.6.



(a)

	Variância	Porcentagem	Cumulativa
PC1	31,31	55,92	55,92
PC2	16,91	30,20	86,12
PC3	5,40	9,64	95,76
PC4	2,38	4,24	100,00

(b)

Figura 6.6. Descrição dos componentes principais do conjunto 1b: (a) gráfico de seleção de PCs significativos; (b) valores correspondentes aos 4 PCs.

Mostra-se na figura 6.8 que a melhor separação entre os meses de amostragem ocorreu pela PC1 (31,31%) *versus* a PC2 (16,91%), que descrevem, cumulativamente, 86,12% da variabilidade total dos dados do conto 1b.

- Análise do conjunto PCA1a

As amostras localizadas à direita no gráfico dos escores classe “mês” (figura 6.9) foram as que apresentaram as maiores concentrações para os elementos NO_2^- , Cor e NH_4^+ , relacionados aos pesos positivos da PC1 (figura 6.10). Por exemplo, a amostra Am19 (de 21/02) foi a que apresentou a maior concentração de Cor (13 Pt-Co) e a segunda maior de NO_2^- (0,007 mg/L) e NH_4^+ (0,61 mg/L). A amostra Am18 (de 27/03) foi a que apresentou a maior concentração de NH_4^+ (0,97 mg/L) e NO_2^- (0,008 mg/L), e a segunda maior de Cor (9 Pt-Co).

O gráfico dos *loadings* (figura 6.10) distinguiu 4 grupos para as variáveis: parâmetros NO_2^- , Cor, NH_4^+ , NO_3^- , Cl, Turbidez e Sulfato relacionados a PC1; parâmetros DQO, Sulfato, Turbidez, NO_2^- e Cor relacionados a PC2; parâmetros DQO e Condutividade Elétrica inversamente relacionados a PC1 e parâmetros Condutividade Elétrica, Cl^- , NO_3^- e NH_4^+ inversamente relacionados a PC2.

Houve uma separação nítida das amostras no gráfico dos escores, classe “mês” (figura 6.9): as amostras do mês de fevereiro (marrom, classe 1), março (vermelho, classe 2) e abril (verde, classe 3) entre as componentes PC1 e PC2.

Para as amostras de água de chuva do mês de fevereiro: Am18 (de 19/02) e Am19 (de 21/02) se localizaram na região de escores positivos para PC1; Am15 (de 16/02) e Am23 (de 24/02) se localizaram na região de escores negativos para PC1; Am15 e Am19 se localizaram na região de escores positivos para PC2 e Am18 e Am23 se localizaram na região de escores negativos para PC2.

Para as amostras de água de chuva do mês de março: Am37 (de 27/03) se localizou na região de escores positivos para PC1 e PC2; Am32 (de 01/03) e Am35 (de 12/03) se localizaram na região de escores negativos para PC1; Am32 e Am37 se localizaram na região positiva dos escores para PC2 e Am35 se localizou na região de escores negativos para CP2.

Para as amostras de água de chuva do mês de abril: Am44 (de 05/04) se localizou na região de escores positivos para PC1 e PC2; Am45 (de 12/04) se localizou na região de escores negativos para PC1 e positivo para PC2.

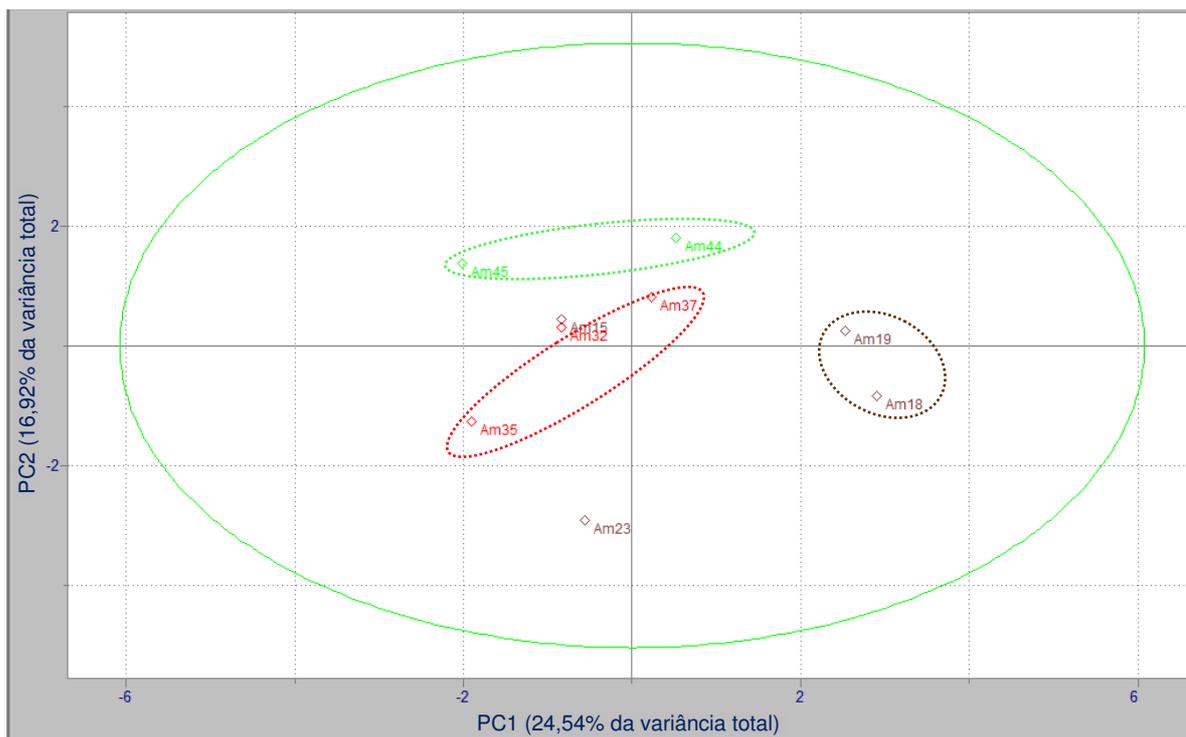


Figura 6.9. Gráfico (PC1 x PC2) dos *scores*, classe “mês”, para os dados autoescalados do conjunto PCA1a. Legenda: marrom (fev); vermelho (mar); verde (abril).

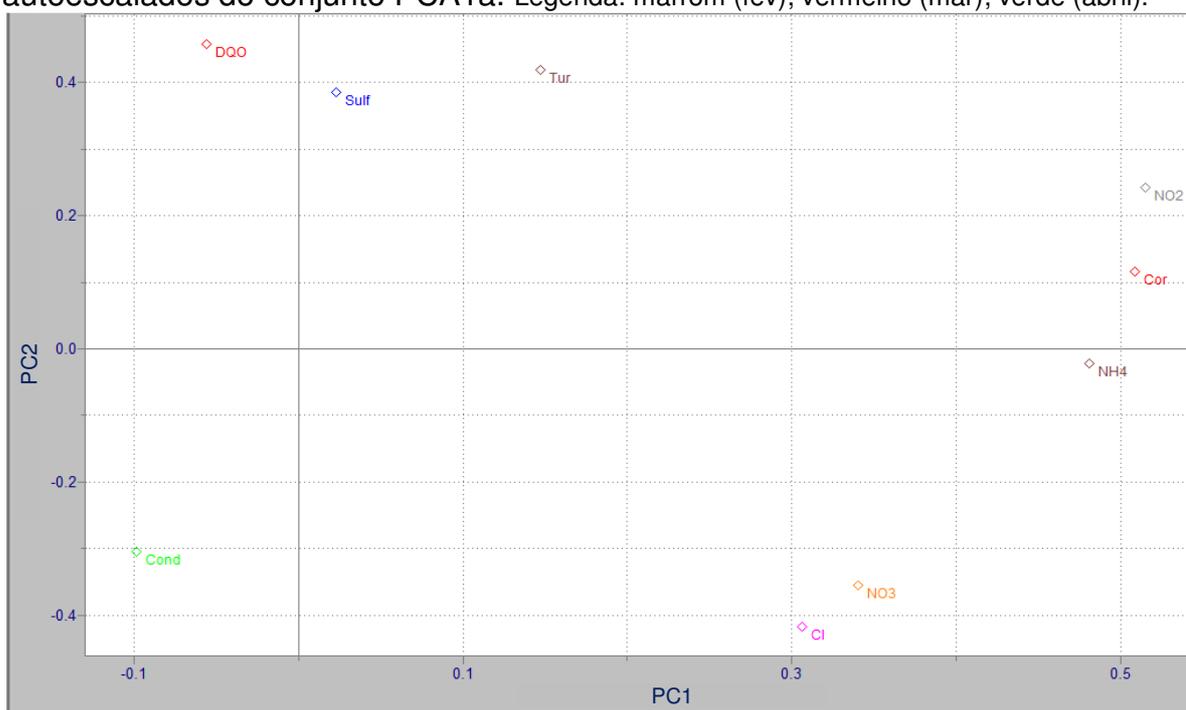


Figura 6.10. Gráfico (PC1 x PC2) dos *loadings* para os dados autoescalados do conjunto PCA1a. Valores dos pesos das variáveis para PC1 (NO2 = 0,5150, Cor = 0,5084, NH4 = 0,4809, NO3 = 0,3405, Cl = 0,3064, Tur = 0,1475, Sulf = 0,0231, DQO = -0,0563 e Cond = -0,0985) e para PC2 (DQO = 0,4577, Tur = 0,4193, Sulf = 0,3849, NO2 = 0,2430, Cor = 0,1168, NH4 = -0,0225, Cond = -0,3052, NO3 = -0,3553 e Cl = -0,4172).

- Análise do conjunto PCA1b

As amostras localizadas à direita no gráfico dos escores classe “mês” (figura 6.11) foram as que apresentaram as maiores concentrações para os elementos Zn, Cu e Pb, relacionados aos pesos positivos da PC1, e as maiores concentrações de Cd, relacionados aos pesos positivos da PC2 (figura 6.12).

Por exemplo, a amostra Am19 (de 21/02) foi a que apresentou a maior concentração de Zn (44,60 µg/L) e Pb (14,91 µg/L), a quarta maior concentração de Cu (2,60 µg/L) e a segunda maior concentração de Cd (0,26 µg/L). A amostra Am37 (de 27/03) foi a que apresentou a maior concentração de Cu (3,44 µg/L) e Cd (1,86 µg/L), a sétima maior concentração de Pb (0,89 µg/L) e Zn (17,32 µg/L).

O gráfico dos *loadings* (figura 6.10) distinguiu 4 grupos para as variáveis analisadas: parâmetros Zn, Cu e Pb relacionados a PC1; parâmetros Cu e Cd relacionados a PC2; parâmetro Cd inversamente relacionado a PC1 e parâmetros Pb e Zn inversamente relacionados a PC2.

O gráfico dos escores, classe “mês” (figura 6.11), não apresentou um comportamento nítido na separação das amostras, pois houve dispersão das amostras do mês de fevereiro (marrom, classe 1), março (vermelho, classe 2) e abril (verde, classe 3) entre as componentes PC1 e PC2.

Para as amostras de água de chuva do mês de fevereiro: Am1 (de 07/02), Am2 (de 10/02), Am19 (de 21/02) e Am21 (de 23/02) se localizaram na região de escores positivos para PC1; Am3 (de 12/02), Am10 (de 14/02), Am18 (de 19/02), Am23 (de 24/02) e Am24 (de 26/02) se localizaram na região de escores negativos para PC1; Am1, Am2, Am3 e Am24 se localizaram na região de escores positivos para PC2 e Am10, Am18, Am19, Am21 e Am23 se localizaram na região de escores negativos para PC2.

Para as amostras de água de chuva do mês de março: Am37 (de 27/03) se localizou na região de escores positivos para PC1 e PC2; Am32 (de 01/03), Am34 (de 03/03) e Am35 (de 12/03) se localizaram na região de escores negativos para PC1 e PC2. Para as amostras de água de chuva do mês de abril: Am44 (de 05/04) e Am45 (de 12/04) se localizaram na região de escores negativos para PC1; Am44 se localizou na região de escores positivos para PC2 e Am45 se localizou na região de escores negativos para PC2.

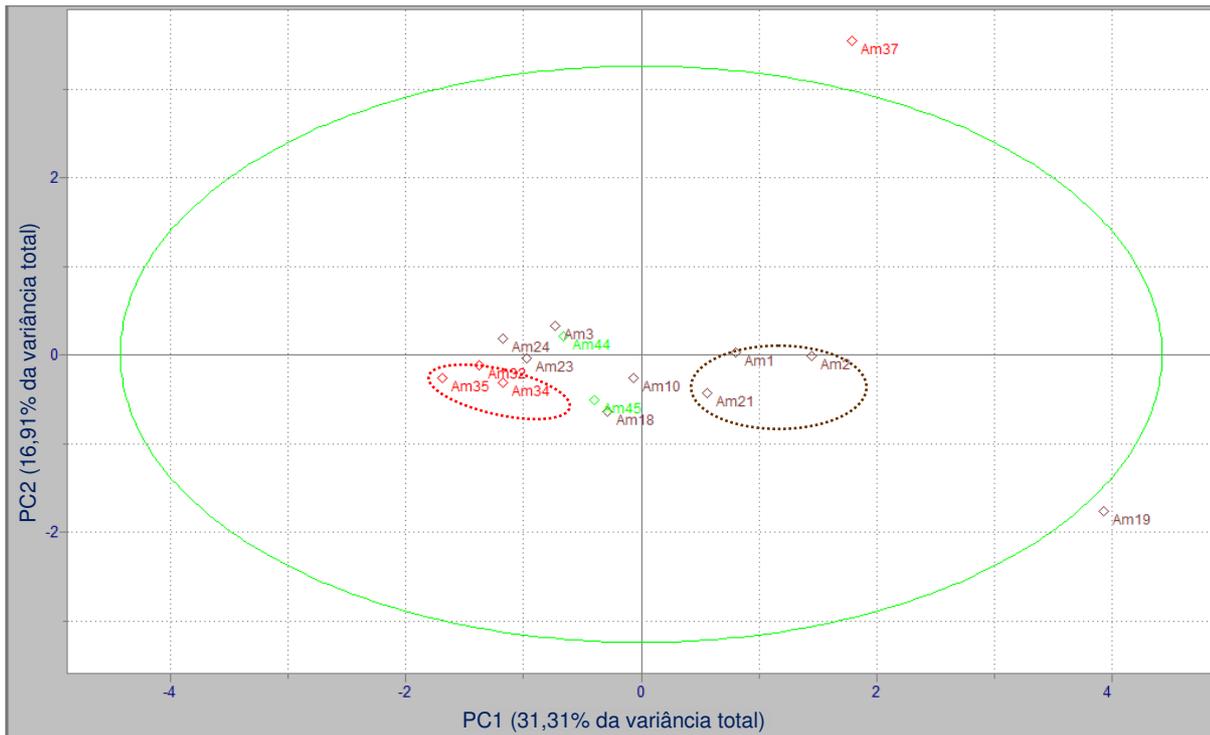


Figura 6.11. Gráfico (PC1 x PC2) dos *scores*, classe “mês”, para os dados autoescalados do conjunto PCA1b.

Legenda: marrom (fevereiro); vermelho (março); verde (abril).

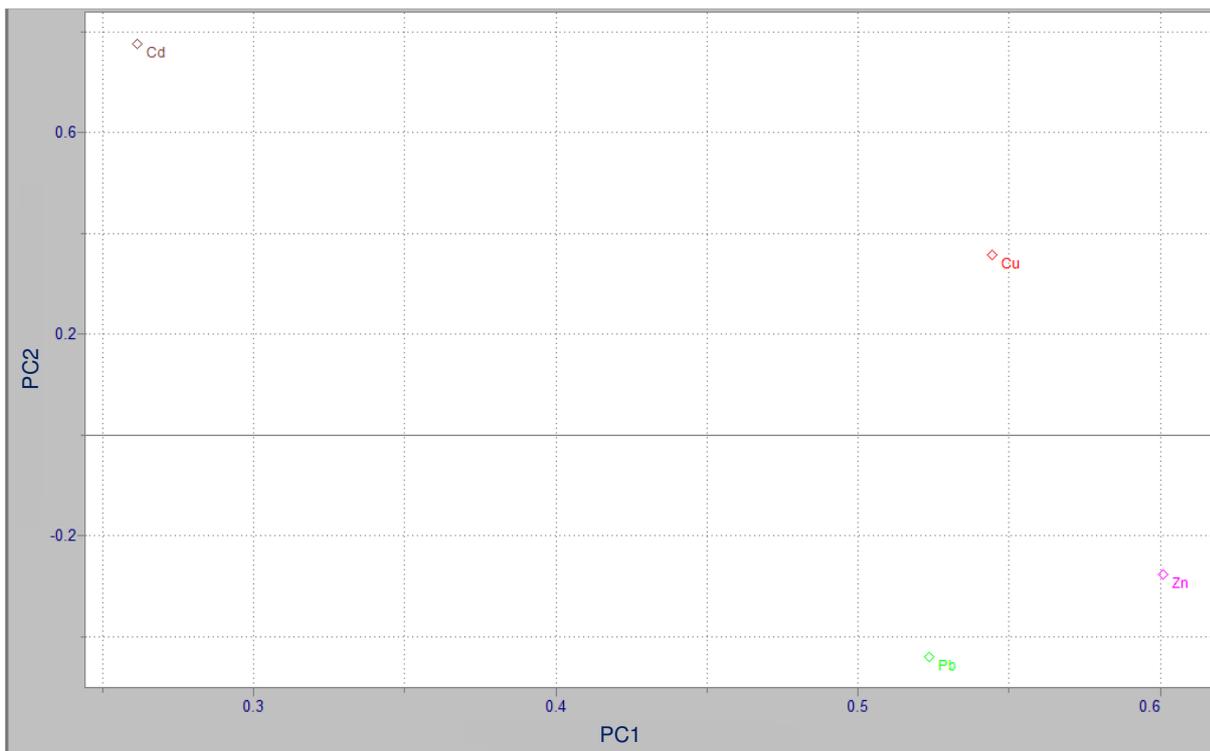


Figura 6.12. Gráfico (PC1 x PC2) dos *loadings* para os dados autoescalados do conjunto PCA1b.

Valores dos pesos das variáveis para PC1 (Zn = 0,6008, Cu = 0,5445, Pb = 0,2535 e Cd = 0,2616) e PC2 (Cd = 0,7757, Cu = 0,3570, Zn = -0,2776 e Pb = -0,4403).

O gráfico (PC1 x PC2) dos escores, classe “dia”, dos dois conjuntos de amostras de água de chuva (PCA1a e PCA1b) foi analisado e concluiu-se que não houve uma boa separação entre as amostras, isto é, o efeito do dia não foi significativo na comparação entre as amostras. Por este motivo, o gráfico dos escores, classe “dia”, não foi apresentado neste trabalho.

6.2.4. Qualidade da água do escoamento superficial direto predial: efeito da lavagem da superfície (*first flush*) e diluição

A primeira amostra do ESD predial coletada no canal corresponde ao *first flush* e apresenta concentrações superiores significativas em relação à última amostra (tempo máximo de “25 min”) para os parâmetros turbidez, Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- e NO_2^- . Uma provável explicação é o efeito do tempo de amostragem na variação das concentrações a partir da diluição, conforme representa-se na figura 6.2 para a maioria dos parâmetros físico-químicos, a partir dos dados do quadro 6.13, e na figura 6.3 para os metais pesados, com base nos dados do quadro 6.14.

O parâmetro Cor seguiu a tendência de diminuição das concentrações das amostras nos 4 intervalos de tempo (t_1 = “após ativar o nível”, t_2 = “após 5 min”, t_3 = “após 10 min” e t_4 = “após 15 min”) em dois dos três eventos amostrados: dias 14/02 (t_1 = 25 Pt-Co, t_2 = 4 Pt-Co, t_3 = 1 Pt-Co e t_4 = 1 Pt-Co) e 15/05 (t_1 = 39 Pt-Co, t_2 = 22 Pt-Co, t_3 = 14 Pt-Co e t_4 = 6 Pt-Co). No evento de 27/03 houve uma diminuição da concentração da 1ª para a 2ª amostra (t_1 = 106 Pt-Co, t_2 = 86 Pt-Co), depois houve um aumento da 2ª para a 3ª e 4ª amostra (t_3 = 108 Pt-Co, t_4 = 117 Pt-Co), finalizando com uma diminuição da 4ª para a quinta amostra (t_5 = 95 Pt-Co).

O comportamento do parâmetro Condutividade Elétrica (EC) foi parecido com o parâmetro Cor: a concentração de EC diminui gradativamente até a quarta amostra no evento de 14/02 (t_1 = 11,70 $\mu\text{S}/\text{cm}$, t_2 = 6,96 $\mu\text{S}/\text{cm}$, t_3 = 6,16 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e t_4 = 6,11 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e até a terceira amostra no evento de 15/05 (t_1 = 25,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$, t_2 = 21,30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, t_3 = 18,91 $\mu\text{S}/\text{cm}$), sendo a concentração da quarta amostra pouco superior à terceira (t_4 = 20,40 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Já, o evento de 27/03 apresentou comportamento contrário: aumentou gradativamente a concentração das amostras, mesmo que pouco (t_1 = 11,07 $\mu\text{S}/\text{cm}$, t_2 = 15,43 $\mu\text{S}/\text{cm}$, t_3 = 15,37 $\mu\text{S}/\text{cm}$, t_4 = 15,44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e t_5 = 16,37 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

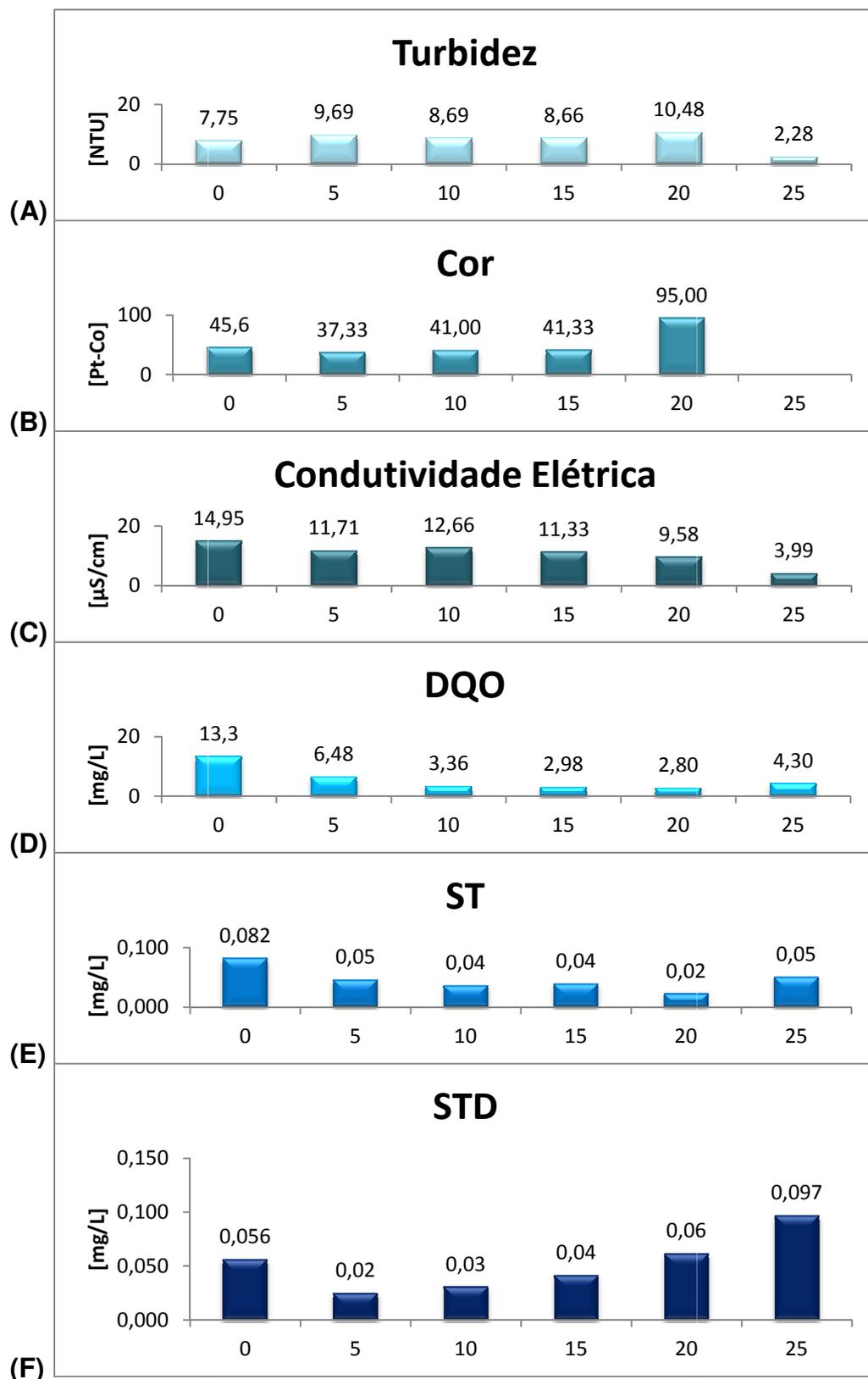


Figura 6.15. Gráficos da variação das concentrações médias de Turbidez (A), Condutividade Elétrica (B), DQO (C), ST (D) e STD (E) na água do escoamento superficial direto predial em função do tempo de amostragem no canal (t_1 : após ativar o nível; t_2 : após 5 min; t_3 : após 10 min; t_4 : após 15 min; t_5 : após 20 min; t_6 : após 25 min).

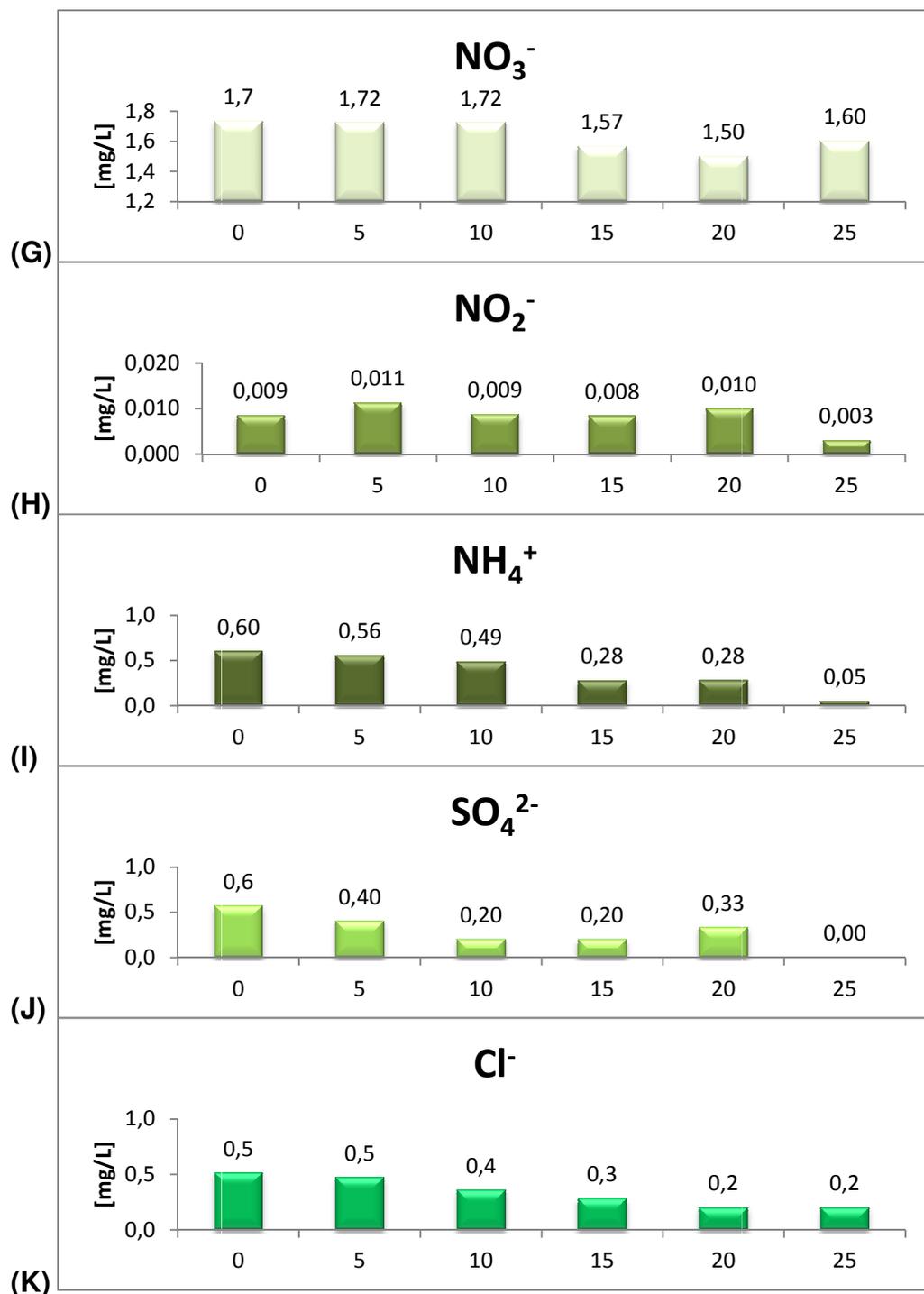


Figura 6.16. Gráficos da variação das concentrações médias de NO₃⁻ (G), NO₂⁻ (H), NH₄⁺ (I), SO₄²⁻ (J) e Cl⁻ (K) na água do escoamento superficial direto predial em função do tempo de amostragem no canal (t₁: após ativar o nível; t₂: após 5 min; t₃: após 10 min; t₄: após 15 min; t₅: após 20 min; t₆: após 25 min).

Na análise microbiológica, 100% das 27 amostras de água de ESD predial apresentaram presença de Coliformes Totais e Coliformes Fecais.

Quadro 6.13. Concentrações dos 13 parâmetros nas amostras de “água do ESD predial no canal”.

Evento	Amostra	Turbidez (NTU)	Cor (Pt-Co)	EC (μ S/cm)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	N- NO ₃ (mg/L)	N- NO ₂ (mg/L)	N- NH ₄ ⁺ (mg/L)	DQO (mg/L)	ST (mg/L)	STD (mg/L)	Coliformes Totais (P/A)	Coliformes Fecais (P/A)
12/02/11	ESD_1	--	--	--	0,3	0	--	--	--	18,0	0,015	--	P	P
	ESD_2	--	--	--	0,2	0	--	--	--	15,0	0,014	0,053	P	P
	ESD_3	--	--	--	0,1	0	--	--	--	4,0	-0,04	0,047	P	P
	ESD_4	--	--	--	0,0	0	--	--	--	3,0	0,014	0,041	P	P
	ESD_5	--	--	--	0,0	0	--	--	--	3,0	0,002	0,052	P	P
	ESD_6	--	--	--	0,0	0	--	--	--	2,0	0,024	0,051	P	P
14/02/11	ESD_1	10,30	25	11,70	0,6	0	1,7	0,000	0,68	21,0	0,168	0,006	P	P
	ESD_2	2,14	4	6,96	0,1	0	1,4	0,006	0,47	5,0	0,030	0,002	P	P
	ESD_3	1,58	1	6,16	0,1	0	1,3	0,002	0,39	4,0	0,034	0,002	P	P
	ESD_4	1,29	1	6,11	0,1	0	1,2	0,002	0,25	5,0	0,042	0,013	P	P
16/02/11	ESD_1	3,97	14	4,66	< LD	1	1,3	0,003	0,37	5,0	0,111	0,072	P	P
26/02/11	ESD_1	6,59	--	10,19	0,3	1	2,0	0,008	0,65	11,7	0,062	0,185	P	P
	ESD_2	4,47	--	3,16	0,2	1	1,9	0,008	0,21	3,2	0,073	0,032	P	P
	ESD_3	4,25	--	10,20	0,2	1	1,8	0,008	0,06	1,1	0,084	0,050	P	P
	ESD_4	3,83	--	3,37	0,2	1	1,9	0,004	0,05	1,2	0,000	0,026	P	P
	ESD_5	2,86	--	2,79	0,2	1	1,7	0,004	0,07	3,4	0,043	0,071	P	P
	ESD_6	2,28	--	3,99	0,2	0	1,6	0,003	0,05	6,6	0,077	0,114	P	P
27/03/11	ESD_1	10,80	106	11,07	1,1	1	1,7	0,025	0,59	4,2	0,067	0,022	P	P
	ESD_2	23,30	86	15,43	1,0	1	1,7	0,025	0,55	3,4	0,065	0,003	P	P
	ESD_3	22,80	108	15,37	1,0	0	1,7	0,020	0,51	2,3	0,051	0,025	P	P
	ESD_4	24,70	117	15,44	0,8	0	1,6	0,019	0,53	2,7	0,038	0,025	P	P
	ESD_5	18,10	95	16,37	0,6	0	1,3	0,016	0,49	2,0	--	--	P	P
12/04/11	ESD_1	3,98	44	27,00	0,3	0	1,2	0,004	0,35	27,4	-	0,017	P	A
15/05/11	ESD_1	9,71	39	25,10	1,0	1	2,5	0,011	0,97	6,0	0,069	0,035	P	P
	ESD_2	8,83	22	21,30	0,5	0	1,9	0,006	0,99	5,8	0,048	0,034	P	P
	ESD_3	6,14	14	18,91	0,4	0	2,1	0,005	0,98	5,4	0,052	0,030	P	P
	ESD_4	4,82	6	20,40	--	0	--	--	--	--	0,101	0,101	P	P

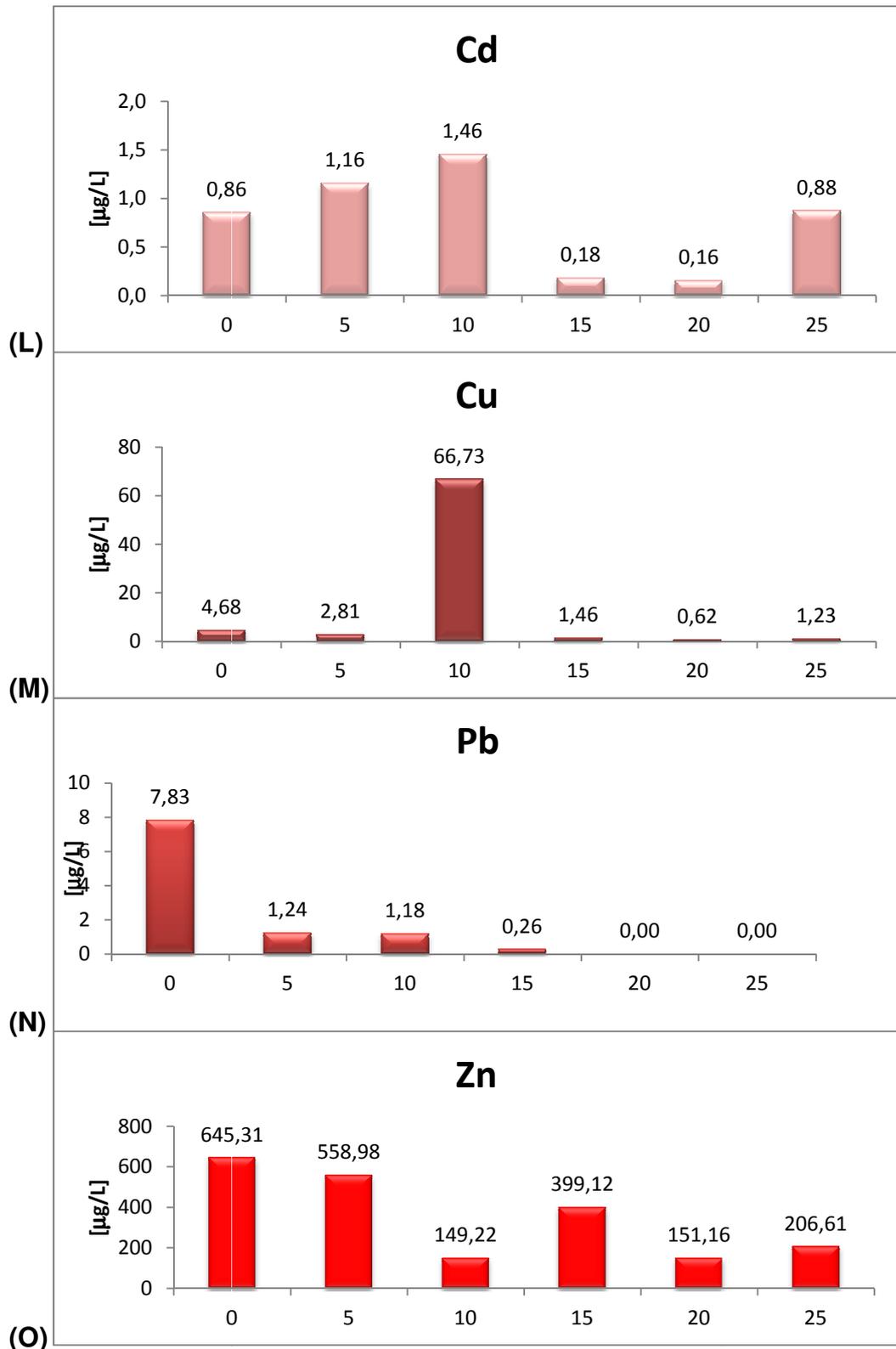


Figura 6.17. Gráficos da variação das concentrações médias de Cu (L), Cd (M), Pb (N) e Zn (O) na água do escoamento superficial direto predial em função do tempo de amostragem no canal (t_1 : média das amostras após ativar o nível; t_2 : após 5 min; t_3 : após 10 min; t_4 : após 15 min; t_5 : após 20 min; t_6 : após 25 min).

Quadro 6.14. Concentrações de metais pesados (média ± desvio padrão) nas amostras de “água do ESD predial no canal”.

Evento	Amostra	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
12/02/11	ESD_1	0,07±0,01	2,41±0,33	0,74±0,02	641,18±117,50
	ESD_2	0,02±0,02	1,64±0,45	<LD	603,07±16,36
	ESD_3	0,02±0,01	1,17±0,04	<LD	313,61±44,81
	ESD_4	0,04±0,03	0,78±0,06	<LD	216,94±25,26
	ESD_5	0,01±0,01	0,62±0,07	<LD	126,67±52,46
	ESD_6	0,01±0,01	0,87±0,08	<LD	151,02±4,57
14/02/11	ESD_1	0,37	8,06	37,15	24,18
	ESD_2	--	--	--	--
	ESD_3	--	--	--	--
	ESD_4	--	--	--	--
16/02/11	ESD1	--	--	--	--
26/02/11	ESD_1	0,15±0,01	1,72±0,26	0,21±0,24	457,89±81,90
	ESD_2	0,06±0,08	0,27±0,33	<LD	96,37±8,60
	ESD_3	0,08±0,11	0,26±0,20	<LD	62,82±0,09
	ESD_4	0,24±0,12	0,42±0,07	<LD	68,60±4,43
	ESD_5	0,39±0,03	0,39±0,21	<LD	67,59±3,43
	ESD_6	1,74±0,04	1,59±0,29	<LD	262,19±35,49
27/03/11	ESD_1	0,41±0,15	1,35±0,42	0,42±0,63	178,57±9,14
	ESD_2	4,03±1,73	0,85±0,11	<LD	171,56±40,43
	ESD_3	0,20±0,14	0,81±0,19	<LD	220,44±38,14
	ESD_4	0,17±0,17	1,09±0,40	<LD	227,32±35,79
	ESD_5	0,07±0,05	0,85±0,40	<LD	259,22±18,07
12/04/11	ESD_1	2,41±0,41	2,54±0,03	1,39±0,33	613,65±132,69
15/05/11	ESD_1	1,73±0,25	11,99±1,58	7,05±1,21	1956,39±228,02
	ESD_2	0,52±0,20	8,49±0,77	4,95±0,33	1364,92±86,20
	ESD_3	5,52±5,59	264,67±154,92	4,72±0,17	>LD
	ESD_4	0,28±0,18	3,53±0,05	1,04±0,20	1083,63±19,26

Nota: “-” significa dado não disponível em função de volume de amostra insuficiente para realizar esta análise; LD: “limite de detecção”.

Cd 112: LOD = 0,01/0,03 e LOQ = 0,02/0,12

Cu 63: LOD = 0,04/0,08 e LOQ = 0,15/0,27

Pb 208: LOD = 7,54/0,54 e LOQ = 25,14/1,80

Zn 66: LOD = 2,05 e LOQ = 6,84

6.2.5 Qualidade da água do escoamento superficial direto predial: comparação dos resultados com estudos precedentes e legislações e normas vigentes

Comparando-se os resultados dos parâmetros analisados nas amostras de água de escoamento superficial direto predial deste estudo com estudos precedentes e normas vigentes, em termos de média e variação para cada parâmetro, conforme quadros 6.10 a 6.13, pode-se afirmar que:

- 1) A presença de Coliformes Fecais em todas as amostras ao longo de todo o período de estudo confirma o alto grau de contaminação da água do ESD predial, provavelmente pela presença de pombas no telhado e pela passagem de uma tubulação de esgoto doméstico do prédio do DMed no meio do canal que foi construído e monitorado para o desenvolvimento desta pesquisa.
- 2) A amostragem do ESD predial, em escala espaço-temporal real, a partir de um amostrador seqüencial, programado para amostrar em função do tempo, foi condicionado pela lâmina e duração do ESD no canal e, conseqüentemente, pela duração da precipitação.
- 3) O telhado do prédio do DMed da UFSCar é de zinco. Esta é uma provável evidência da fonte de Zn no escoamento superficial direto predial amostrado no canal. Comparando-se o valor médio de Zn de todas as amostras do ESD predial analisadas neste estudo (416,72 µg/L) com o valor médio do escoamento superficial direto encontrado por Pusch (2007) em telha zincada (2460 µg/m²), conforme quadro 6.18, a concentração de Zn neste estudo é menor. Todas as legislações permitem o máximo de 5 mg/L (5000 µg/L) de Zn em águas superficiais, incluindo descarga de efluentes, portanto, o teor de Zn encontrado neste estudo atende aos limite permitido.

Quadro 6.15. Concentrações de Coliformes e DQO analisados em água de ESD predial.

Local	Coliformes Totais	Coliformes Fecais	DQO (mg/L)	
			Média	Variação
São Carlos (SP, Brasil) ¹	Presença (em 100% das 27 amostras analisadas)	Presença (em 100% das 27 amostras analisadas)	6,59	1,1 – 27,4
*WHO/OMS	0	0	-	-
**MS (Brasil)	Ausência (na saída do tratamento de água)	Ausência (na sistema de distribuição de água e em fontes individuais)	-	-
***ABNT (Brasil)	Ausência	Ausência	-	-

Fonte: ¹ Este estudo; -

*WHO significa *World Health Organization*; OMS significa Organização Nacional da Saúde

**MS significa Ministério da Saúde (Portaria MS 518/2004)

***ABNT significa Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR/2007)

Quadro 6.16. Concentrações dos parâmetros EC, Turbidez, Cor, ST e STD analisados em água de ESD predial.

Local	EC (µS/cm)		Turbidez (UNT)		Cor (mg Pt-Co/L)		ST (mg/L)		STD (mg/L)	
	Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação
São Carlos (SP, Brasil) ¹	12,18	2,79 – 25,10	8,42	1,29 – 24,7	45,47	1 – 117	0,051	0,000 – 0,111	0,044	0,002 – 0,185
Campo Mourão (PR, Brasil) ²							107,13	14 – 666		
*WHO/OMS	-		5 uT		-		-		-	
**MS (Brasil)	-		5 uT		15 uH		-		1000 mg/L	
***ABNT (Brasil)	-		< 2 uT ou > 5uT		< 15 uH		-		-	

Fonte: ¹ Este estudo; ² Lima *et al.* (2009).

Notas: NTU = número de turbidez; uT = unidade de Turbidez; uH = unidade Hazen; i = início da chuva; f = fim da chuva; “-” significa dado não disponível.

*WHO significa *World Health Organization*; OMS significa Organização Nacional da Saúde

**EPA significa Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

***MS significa Ministério da Saúde (Portaria MS 518/2004)

***ABNT significa Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR/2007)

Quadro 6.18. Concentrações dos parâmetros Cd, Cu, Pb e Zn analisados em água de ESD predial.

Local	Material Construtivo	Cd		Cu		Pb		Zn	
		Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação
São Carlos (SP, Brasil) ¹	Telha Zincada + Tubulação de PVC + Canal de Concreto	0,81 µg/L	0,01 – 5,52 µg/L	2,35 µg/L	0,26 – 11,99 µg/L	2,51 µg/L	0,00 – 37,15 µg/L	416,72 µg/L	24,18 – 1956,39 µg/L
Campinas (SP, Brasil) ²	Revestimento de Concreto	ND	-	16,7 µg/m ²	-	5,08 µg/m ²	-	320 µg/m ²	-
	Telha de Cimento	0,00910 µg/m ²	-	1,87 µg/m ²	-	ND	-	ND	-
	Telha Zincada	0,0294 µg/m ²	-	7,95 µg/m ²	-	1,41 µg/m ²	-	2460 µg/m ²	-
	Telha Galvanizada pintada	0,501 µg/m ²	-	2,63 µg/m ²	-	8,55 µg/m ²	-	223 µg/m ²	-
	Telha Galvanizada (galvalume)	0,0140 µg/m ²	-	4,44 µg/m ²	-	ND	-	92,5 µg/m ²	-
*WHO/OMS		0,003 mg/L		2 mg/L		0,01 mg/L		-	
**EPA (EUA)		0,005 mg/L		1 mg/L		0,015 mg/L		5 mg/L	
***MS (Brasil)		0,005 mg/L		2 mg/L		0,01 mg/L		5 mg/L	
****CONAMA (Brasil)		0,2 mg/L		1,02 mg/L		0,5 mg/L		5 mg/L	

Fonte: ¹Este estudo; ²Posch (2009).

Notas: “-” = dado não disponível; “ND” = Não Detectado; “Tc” = tempo chuvoso; “Ts” = tempo seco; *WHO significa *World Health Organization*; OMS significa Organização Nacional da Saúde; **EPA significa Agência de Proteção Ambiental dos EUA; ***MS significa Ministério da Saúde (Portaria MS 518/2004); ***ABNT significa Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR/2007); ****Limites permitidos para descarga de efluentes segundo o Conselho Nacional de Meio Ambiente (Resolução 357/2005).

6.2.6 Análise de Componentes Principais e Análise Hierárquica de Agrupamentos para o conjunto de amostras de água de escoamento superficial direto predial

Realizou-se uma PCA e HCA para avaliar a correlação entre as amostras de água do ESD predial no canal e as variáveis analisadas.

Elegeu-se o máximo de amostras de escoamento superficial direto predial possível *versus* as variáveis envolvidas a essas amostras, ou seja, priorizou-se o número de linhas completas (amostras) diante do número de colunas incompletas (variáveis) para a formação da matriz do conjunto 2 (quadro 6.19), que contém:

- 17 amostras (Am5, Am6, Am7, Am8, Am9, Am25, Am26, Am27, Am28, Am29, Am30, Am38, Am39, Am40, Am41, Am49 e Am50),
- 9 variáveis (Cloreto, Sulfato, Sólidos Totais, Sólidos Totais Dissolvidos, Cádmio, Cobre, Chumbo, Zinco e DQO)
- 3 classes de condições de amostragem (dia, mês e tempo)

Quadro 6.19. Matriz de dados original do conjunto 2.

	Dia	Mês	Tempo	Cl	Sulf	ST	STD	Cd	Cu	Pb	Zn	DQO
Am5	1	1	2	0,20	0	0,014	0,053	0,02	1,64	0,00	603,07	18
Am6	1	1	3	0,10	0	0,000	0,047	0,02	1,17	0,00	313,61	4
Am7	1	1	4	0,00	0	0,014	0,041	0,04	0,78	0,00	216,94	3
Am8	1	1	5	0,00	0	0,002	0,052	0,01	0,62	0,00	126,67	3
Am9	1	1	6	0,00	0	0,024	0,051	0,01	0,87	0,00	151,02	2
Am25	3	1	1	0,30	1	0,062	0,185	0,15	1,72	0,21	457,89	11,7
Am26	3	1	2	0,20	1	0,073	0,032	0,06	0,27	0,00	128,69	3,2
Am27	3	1	3	0,20	1	0,084	0,050	0,08	0,26	0,00	58,17	1,1
Am28	3	1	4	0,20	1	0,000	0,026	0,24	0,42	0,00	68,60	1,2
Am29	3	1	5	0,20	1	0,043	0,071	0,39	0,39	0,00	67,59	3,4
Am30	3	1	6	0,20	0	0,077	0,114	1,74	1,59	0,02	262,19	6,6
Am38	3	2	1	1,10	1	0,067	0,022	0,41	1,35	0,42	178,57	4,2
Am39	3	2	2	1,00	1	0,065	0,003	4,03	0,85	0,00	171,56	3,4
Am40	3	2	3	1,00	0	0,051	0,025	0,20	0,81	0,00	220,44	2,3
Am41	3	2	4	0,80	0	0,038	0,025	0,17	1,09	0,00	227,32	2,7
Am49	2	4	1	1,00	1	0,069	0,035	1,73	11,99	7,05	1956,39	5,8
Am50	2	4	2	0,5	0	0,048	0,034	0,52	8,49	4,95	1364,92	5,4

Legenda: **Classe “dia”**: 1, 2 e 3 equivalem aos intervalos do 1° ao 7°, 8° ao 14° e 15° ao 21° dia do mês; **Classe “mês”**: 1, 2 e 4 equivalem ao 1°, 2° e 4° mês de amostragem: fev, mar e maio; **Classe “tempo”**: 1 equivale ao tempo “washout” de amostragem da água de chuva, 2 equivale ao tempo “após ativar o nível” na amostragem da água do ESD no canal, 3 equivale ao tempo “após 5 min” de amostragem da água do ESD no canal; 4 equivale ao tempo “após 10 min” de amostragem da água do ESD no canal; 5 equivale ao tempo “após 15 min” de amostragem da água do ESD no canal; 6 equivale ao tempo “após 20 min” de amostragem da água do ESD no canal.

Para a modelagem do conjunto 2 adotaram-se 4 PCs de um total de 9 PCs do conjunto autoescalado (quadro 6.20), pois representam 86,16% da informação acumulada na variância escalar (ver gráfico (a) e tabela (b) da figura 6.18).

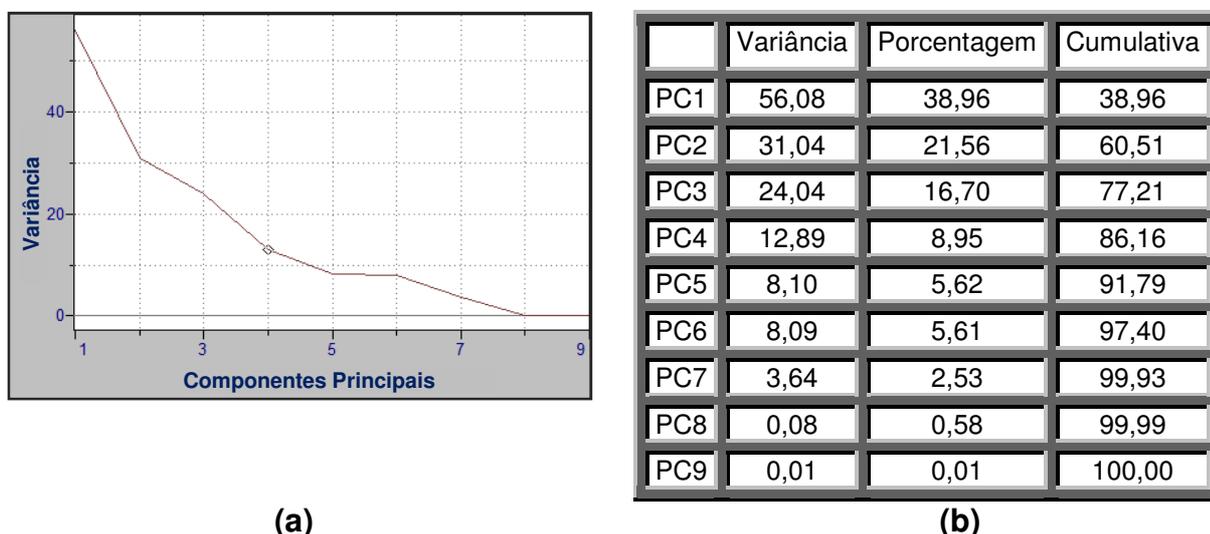


Figura 6.18. Descrição dos componentes principais do conjunto 2: (a) gráfico de seleção de PCs significativos; (b) valores correspondentes aos 9 PCs.

- Análise dos resultados da PCA2

Mostra-se na figura 6.19 que a melhor separação entre os meses de amostragem ocorreu pela PC1 (56,08%) *versus* a PC2 (31,04%) que descrevem, cumulativamente, 60,51% da variabilidade total dos dados do conjunto 2.

Observou-se dois comportamentos no gráfico (PC1 x PC2) dos escores, classe “mês” (figura 6.20), das amostras analisadas na PCA2:

- o primeiro para os *scores* à esquerda da PC1, que distinguiu as amostras Am5, Am6, Am7, Am8, Am9, Am25, Am26, Am27, Am28, Am29 e Am30, referentes ao mês de fevereiro (marrom, classe 1, primeiro mês de amostragem) e
- o segundo para os *scores* à direita da PC1, que distinguiu as amostras Am38, Am39, Am40 e Am41, referentes ao mês de março (vermelho, classe 2, segundo mês de amostragem) e as amostras 49 e 50, referentes ao mês de maio (rosa, classe 4, quarto mês de amostragem).

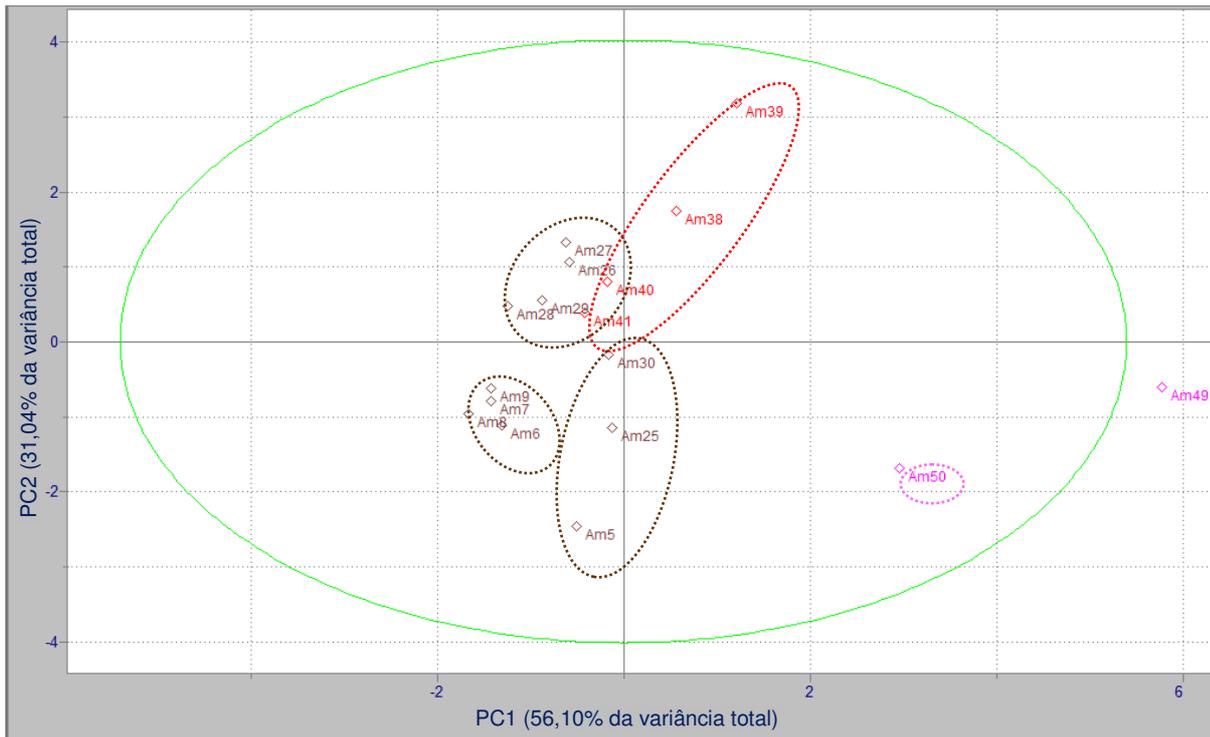


Figura 6.20. Gráfico (PC1 x PC2) dos *scores*, classe “mês”, para os dados autoescalados do conjunto PCA2.

Legenda: marrom (fevereiro); vermelho (março); rosa (maio).

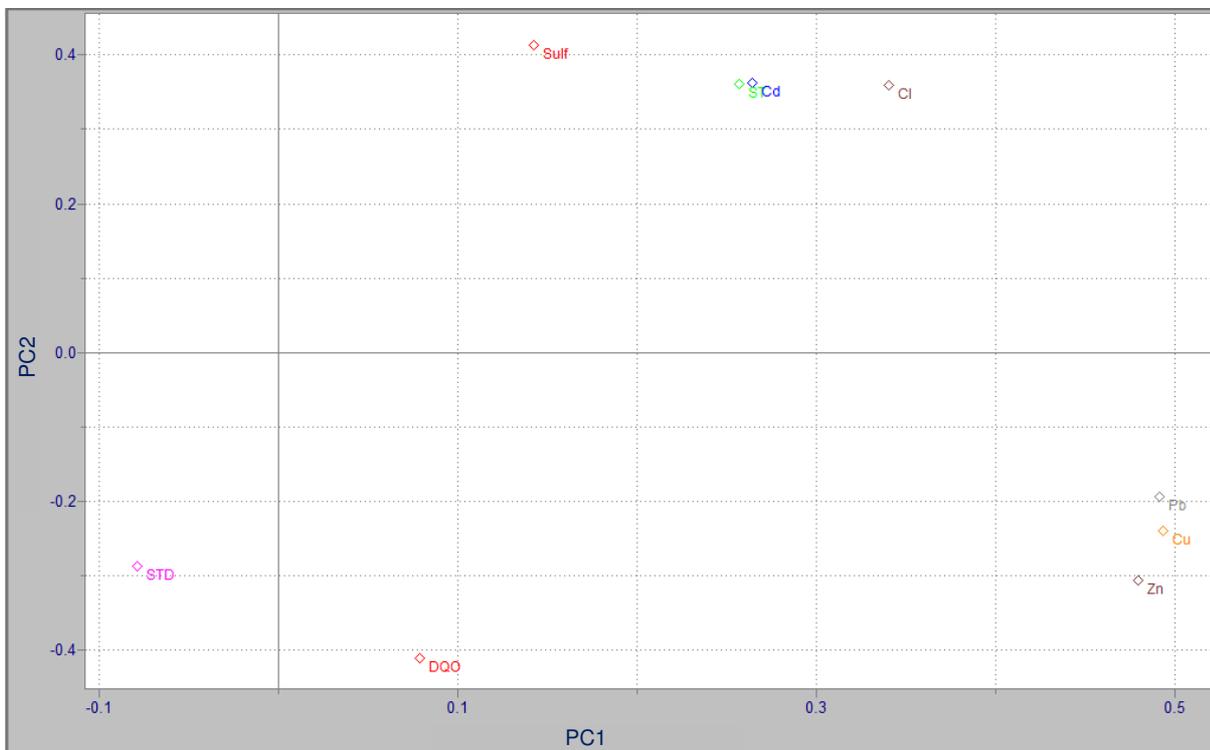


Figura 6.21. Gráfico (PC1 x PC2) dos *loadings* para os dados autoescalados do conjunto PCA2. Valores dos pesos das variáveis para PC1 (Cu = 0,4935; Pb = 0,4919, Zn = 0,4796, Cl = 0,3403, Cd = 0,2646, ST = 0,2569, Sulf = 0,1424, DQO = 0,0787 e STD = -0,0787) e PC2 (Sulf = 0,4133, DQO = 0,4105, Cd = 0,3628, ST = 0,3605, Cl = 0,3588, Pb = -0,1932, Cu = -0,2387, STD = -0,2864, Zn = -0,3065, DQO = -0,4105).

No gráfico (PC1 x PC2) dos escores, classe “tempo” (figura 6.22), observou-se uma dispersão das classes, ou seja, não há uma ordem para as concentrações nos tempos. A amostra 49, correspondente à classe 2 (após ativar o nível no canal) da classe “tempo” (figura 6.40) é caracterizada por possuir a maior concentração de Cu (11,99 µg/L) e Pb (7,06 µg/L), e a segunda maior concentração de Zn (1956,39 µg/L). A amostra 50, correspondente à classe 3 (amostragem após 5 min) da classe “tempo” (figura 6.40) é caracterizada por possuir a maior concentração de Zn (1364,92 µg/L) e a segunda maior concentração de Cu (8,49 µg/L) e Pb (4,95 µg/L).

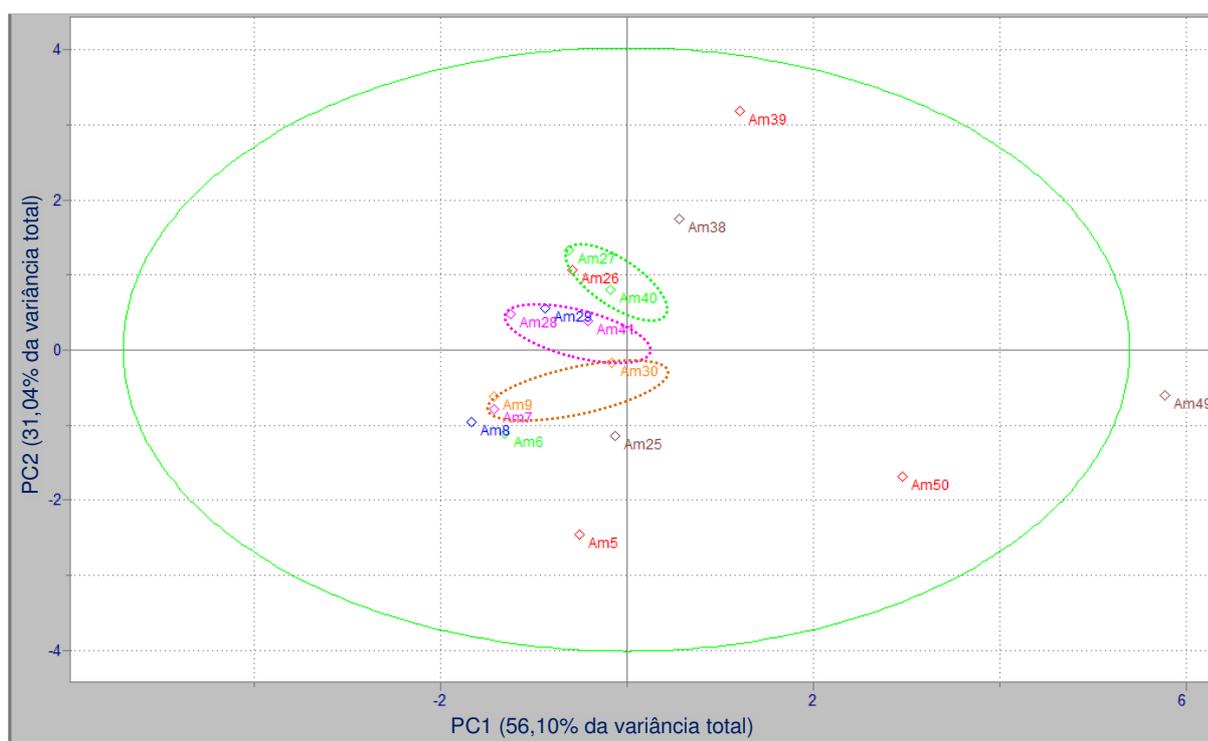


Figura 6.22. Gráfico (PC1 x PC2) dos escores, classe “tempo”, para os dados autoescalados do conjunto PCA2.

O gráfico (PC1 x PC2) dos escores, classe “dia”, foi analisado e concluiu-se que não houve uma boa separação entre as amostras, isto é, o efeito do dia não foi significativo na comparação entre as amostras. Por este motivo, o gráfico dos escores, classe “dia”, não foi apresentado neste trabalho.

6.2.7. Qualidade da água do escoamento superficial direto na trincheira de infiltração: análise do efeito da trincheira na remoção de poluentes e melhoria da qualidade da água do ESD predial

A única amostra do ESD coletada na trincheira de infiltração corresponde à água do ESD que passou pelo canal diágrama, filtro de grama, vala de infiltração e pelas camadas internas da trincheira de infiltração (seixo rolado, areia grossa, manta geotêxtil e brita nº 3) que tem a função de reter e filtrar os poluentes provindos do ESD predial.

Apresentam-se nos quadros 6.21 e 6.22 os resultados das concentrações de todos os parâmetros analisados em todos os eventos amostrados na trincheira de infiltração e nas figuras 6.24, 6.25 e 6.26 os gráficos comparativos das concentrações médias de todos os parâmetros analisados em todos os eventos nos três locais de amostragem.

As concentrações médias dos parâmetros Condutividade Elétrica (7,34 $\mu\text{S/cm}$), NH_4^+ (0,28 mg/L), Cl^- (0,32 mg/L), Cu (1,51 mg/L) e Zn (32,05 mg/L) nas amostras do ESD coletadas na trincheira de infiltração foram menores do que as concentrações médias destes parâmetros nas amostras do ESD coletadas no canal (Condutividade Elétrica: 10,70 $\mu\text{S/cm}$; NH_4^+ : 0,37 mg/L; Cl^- : 0,34 mg/L; Cu: 12,92 mg/L; Zn: 351,73 mg/L), conforme gráfico (C) da figura 6.24, gráficos (I) e (K) da figura 6.25 e gráficos (M) e (O) da figura 6.26. Os parâmetros Condutividade Elétrica e NH_4^+ foram menores, também, que as amostras de água de chuva (Condutividade Elétrica: 13,45 $\mu\text{S/cm}$ e NH_4^+ : 0,43 mg/L).

Quanto aos parâmetros Turbidez, Cor, DQO, STD e SO_4^{2-} as concentrações médias nas amostras da trincheira de infiltração foram maiores que os resultados dos outros dois locais de amostragem, conforme gráficos (A), (B), (D) e (F) da figura 6.24 e gráfico (J) da figura 6.25.

Na análise microbiológica, 100% das 8 amostras de água de escoamento superficial direto na trincheira de infiltração apresentaram presença de Coliformes Totais. Destas, apenas 1 amostra apresentou ausência de Coliformes Fecais, conforme quadro 6.21.

Quadro 6.21. Concentrações dos 13 parâmetros nas amostras de “água do ESD na trincheira de infiltração”.

Evento	Turbidez (NTU)	Cor (Pt-Co)	Condutividade (μ S/cm)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	N- NO ₃ ⁻ (mg/L)	N- NO ₂ ⁻ (mg/L)	N- NH ₄ ⁺ (mg/L)	DQO (mg/L)	ST (mg/L)	STD (mg/L)	Coliformes Totais (P/A)	Coliformes Fecais (P/A)
16/02/11	9,30	60	11,37	0,0	--	6,9	0,007	0,59	24,0	0,214	0,166	P	P
21/02/11	22,50	52	--	--	--	--	--	--	3,0	0,120	0,055	P	P
23/02/11	1,43	--	12,74	--	--	7,4	0,009	0,39	6,0	0,033	0,000	P	P
26/02/11	11,00	--	10,20	0,2	1	2,8	0,003	0,15	5,3	0,027	0,071	P	P
01/03/11	16,10	107	2,43	0,6	10	4,2	0,013	0,22	0,9	0,042	0,051	P	P
12/03/11	5,16	26	3,69	0,4	1	1,5	0,007	0,04	1,7	--	--	P	P
27/03/11	4,84	28	4,79	0,4	0	1,3	0,009	0,26	2,8	0,058	0,047	P	P
12/04/11	6,84	--	6,17	--	--	--	--	--	--	--	--	P	A

Nota: “-” significa dado não disponível.

Quadro 6.22. Concentrações dos metais pesados (média \pm desvio padrão) nas amostras de “água do ESD na trincheira”.

Evento	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
16/02/11	--	--	--	--
21/02/11	--	--	--	--
23/02/11	0,78 \pm 0,44	2,05 \pm 0,83	5,16 \pm 0,44	46,85 \pm 13,18
26/02/11	4,31 \pm 0,44	1,57 \pm 0,20	10,65 \pm 1,13	30,67 \pm 4,75
01/03/11	0,22	1,87	3,75 \pm 0,31	33,03
12/03/11	1,40	1,16	4,09 \pm 0,27	30,06
27/03/11	0,05 \pm 0,01	0,90 \pm 0,19	<LD	19,64 \pm 2,20
12/04/11	--	--	5,07	--

Nota: “-” significa dado não disponível em função de volume de amostra insuficiente para realizar a análise; LD: “limite de detecção”.

Cd 112: LOD = 0,01/0,03 e LOQ = 0,02/0,12

Cu 63: LOD = 0,04/0,08 e LOQ = 0,15/0,27

Pb 208: LOD = 7,54/0,54 e LOQ = 25,14/1,80

Zn 66: LOD = 2,05 e LOQ = 6,84

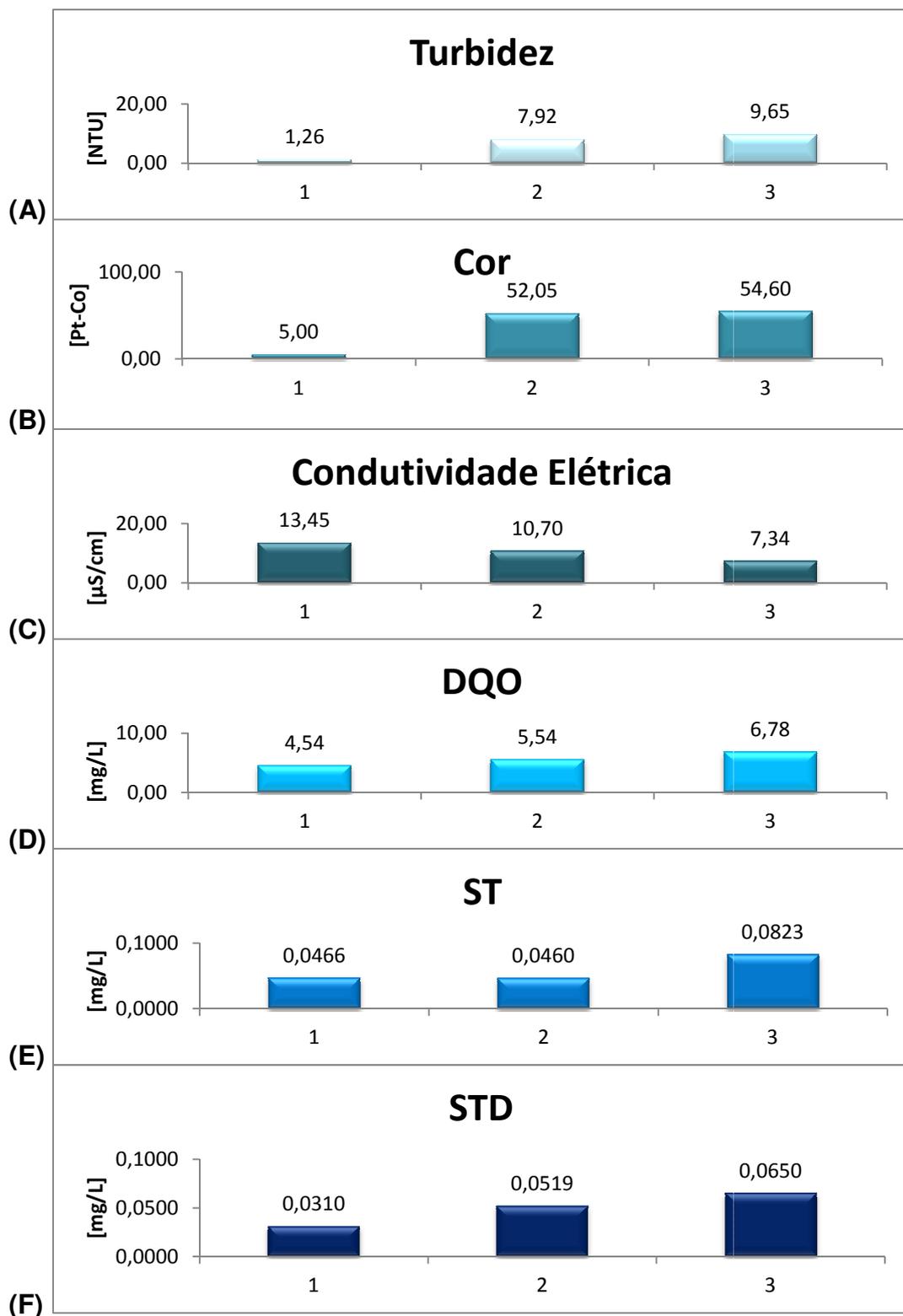


Figura 6.24. Gráficos comparativos da variação das concentrações médias de Turbidez (A), Condutividade Elétrica (B), DQO (C), ST (D) e STD (E) nas amostras dos três locais de amostragem: L₁ (água de chuva no *wet only*); L₂ (água do escoamento superficial direto predial no canal); L₃ (água do escoamento superficial direto na trincheira de infiltração).

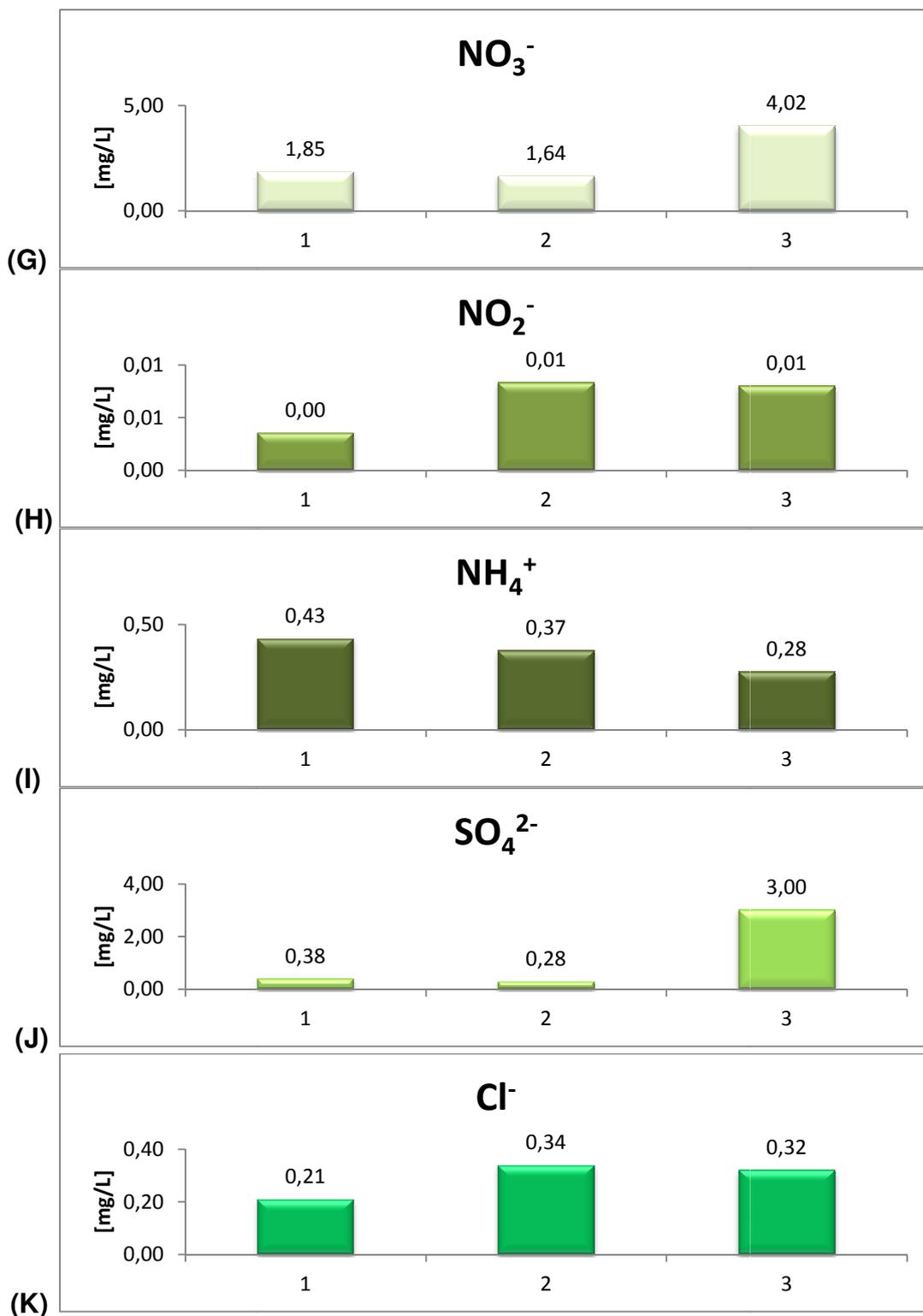


Figura 6.25. Gráficos comparativos da variação das concentrações médias de NO₃⁻ (G), NO₂⁻ (H), NH₄⁺ (I), SO₄²⁻ (J) e Cl⁻ (K) nas amostras dos três locais de amostragem: L₁ (água de chuva no *wet only*); L₂ (água do escoamento superficial direto predial no canal); L₃ (água do escoamento superficial direto na trincheira de infiltração).

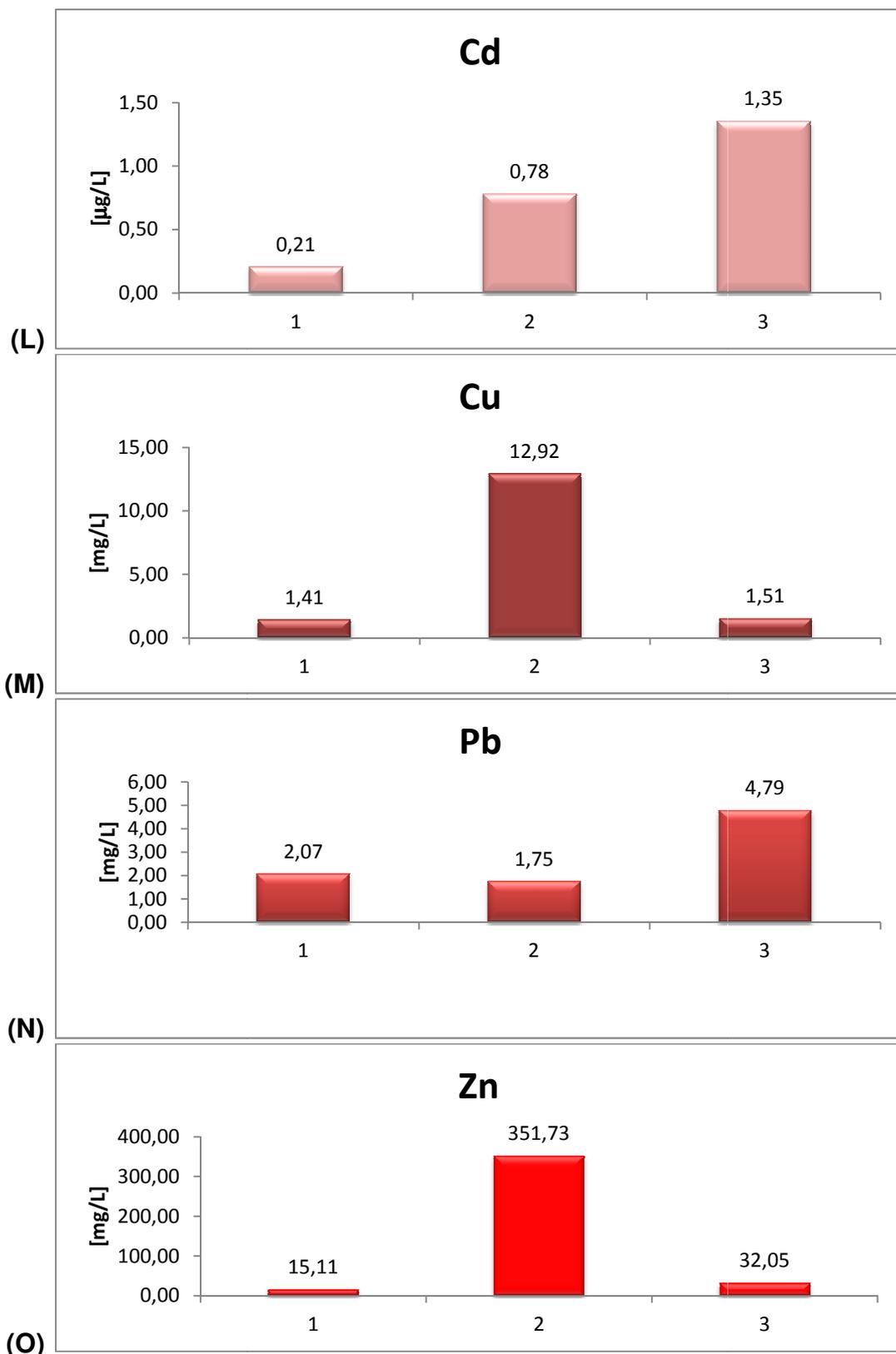


Figura 6.26. Gráficos comparativos da variação das concentrações médias de Cd (L), Cu (M), Pb (N) e Zn (O) nas amostras dos três locais de amostragem: L₁ (água de chuva no *wet only*); L₂ (água do escoamento superficial direto predial no canal); L₃ (água do escoamento superficial direto na trincheira de infiltração).

6.2.8. Qualidade da água do escoamento superficial direto na trincheira de infiltração: comparação dos resultados com estudos precedentes e legislações e normas vigentes

Comparando-se os resultados dos parâmetros analisados nas amostras de água de escoamento superficial direto na trincheira deste estudo, conforme tabela 6.23, com estudos precedentes de outros autores, em termos de remoção de poluentes por dispositivos BMPs (*Best Management Practices*), conforme quadro 6.23, pode-se afirmar que:

- 1) houve eficiência de remoção do sistema filtro-vala-trincheira em relação à água do escoamento superficial direto predial provinda do canal em relação aos seguintes parâmetros: Zinco (90,89%), Cobre (88,31%), Condutividade Elétrica (31,40%), Nitrogênio Amoniacal (24,32%) e Cloreto (5,88%), conforme tabela 6.23.
- 2) os resultados de remoção de poluentes em trincheira de infiltração são superiores aos de vala grama e filtro vegetativo, conforme quadro 6.23. Comparando-se os resultados deste estudo com os apresentados no quadro 6.23, as porcentagens de remoção dos metais Zn e Cu, neste estudo, estão próximas de Schueler (1992). Os demais parâmetros que obtiveram índices de remoção, neste estudo, não puderam ser comparados com a literatura, pois não encontraram-se resultados destes parâmetros.

Quadro 6.23. Comparativo das eficiências de remoção de poluentes (em %) de BMPs urbanas

BMP	SST	Fósforo Total	Nitrato	N Total	Pb Total	Zn Total	Cd	Cu
Filtro vegetativo ⁽¹⁾	70	40			25	51		
Vala gramada ⁽¹⁾ ⁽²⁾	20-40 81	20-40 9	38	20-40	0 67	71	42	51
Trincheira de infiltração ⁽¹⁾ ⁽³⁾	90+ 90	0-70 60		30-70 60	15-80 90	15-80 90	90	90

Fonte:

- (1) Technical report nº FHWA/VA-93-R16: *Testing of Best Management Practices for Controlling Highway Runoff* (FHWA, 1993)
- (2) EPA – United States Environmental Protection Agency. Storm Water Technology Fact Sheet: Vegetated Swales. Office of Water Eashington, D.C., 832-F-99-006, September 1999. 7pp.
- (3) Schueler (1992)

Tabela 6.23. Eficiências de remoção dos parâmetros analisados (em %) no presente estudo.

Parâmetro	Entrada (ESD predial no canal)	Saída (ESD na trincheira infiltração)	Eficiência (%)
Turbidez	7,92 NTU	9,65 NTU	
Cor	52,05 Pt-Co	54,60 Pt-Co	
Condutividade	10,70 µS/cm	7,34 µS/cm	31,40
DQO	5,54 mg/L	6,78 mg/L	
ST	0,0460 mg/L	0,0823 mg/L	
STD	0,0519 mg/L	0,0650 mg/L	
Nitrato	1,64 mg/L	4,02 mg/L	
Nitrito	0,01 mg/L	0,01 mg/L	
Nitrogênio Amoniacal	0,37 mg/L	0,28 mg/L	24,32
Sulfato	0,28 mg/L	3,00 mg/L	
Cloreto	0,34 mg/L	0,32 mg/L	5,88
Cádmio	0,78 µg/L	1,35 µg/L	
Cobre	12,92 µg/L	1,51 µg/L	88,31
Chumbo	1,75 µg/L	4,79 µg/L	
Zinco	351,73 µg/L	32,05 µg/L	90,89

Nota:

Eficiência calculada pela fórmula: $Eficiência = \frac{[]_e - []_s}{[]_e} \times 100$, onde $[]_e$ corresponde à concentração na entrada e $[]_s$ corresponde à concentração na saída.

Quadro 6.24. Concentrações dos parâmetros Cd, Cu, Pb e Zn analisados em água de ESD na trincheira de infiltração.

Local	Período	Cd (µg/L)		Cu (µg/L)		Pb (µg/L)		Zn (µg/L)	
		Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação	Média	Variação
São Carlos (SP, Brasil) ¹	fev/11 – maio/11	0,21	0,02 – 1,86	1,42	0 – 3,44	2,12	0 – 14,91	15,11	5,02 – 44,60
*WHO/OMS		0,003 mg/L		2 mg/L		0,01 mg/L		-	
**EPA (EUA)		0,005 mg/L		1 mg/L		0,015 mg/L		5 mg/L	
***MS (Brasil)		0,005 mg/L		2 mg/L		0,01 mg/L		5 mg/L	
****(Brasil)		0,2 mg/L		1,02 mg/L		0,5 mg/L		5 mg/L	

Fonte: ¹Este estudo; ²

Notas: “-” = dado não disponível; *WHO significa *World Health Organization*; OMS significa Organização Nacional da Saúde; **EPA significa Agência de Proteção Ambiental dos EUA; ***MS significa Ministério da Saúde (Portaria MS 518/2004); ***ABNT significa Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR/2007); ****Limites permitidos para descarga de efluentes (2005).

6.2.9. Análise de Componentes Principais e Análise Hierárquica de Agrupamentos para o conjunto de amostras de água de escoamento superficial direto da trincheira de infiltração

Realizaram-se três PCAs e HCAs para avaliar a correlação entre as amostras de água do ESD da trincheira de infiltração e as variáveis analisadas.

No primeiro conjunto (3a) elegeu-se o máximo de variáveis possível *versus* as amostras dos três locais de amostragem relacionadas a essas variáveis, ou seja, priorizou-se o número de colunas completas (variáveis) diante do número de linhas incompletas (amostras) para a formação da matriz do conjunto 3a (quadro 6.25), que contém: 16 variáveis (Turbidez, Cor, Condutividade, Cl⁻, SO₄²⁻, ST, STD, Coliformes Fecais, Cd, Cu, Pb, Zn, NO₃, NO₂, NH₄⁺ e DQO), 9 amostras (Am15, Am32, Am33, Am35, Am37, Am38, Am39, Am40 e Am41) e 4 classes de condições de amostragem (dia, mês, local e tempo).

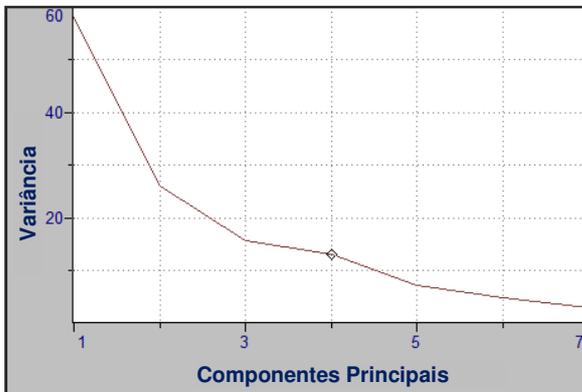
No segundo conjunto (3b) e no terceiro conjunto (3c) elegeu-se o máximo de amostras dos três locais de amostragem possível *versus* as variáveis faltantes, ou seja, priorizou-se o número de linhas completas (amostras) diante do número de colunas incompletas (variáveis) para a formação das matrizes do conjunto 3b (quadro 6.27) e 3c (quadro 6.29).

O conjunto 3b contém: 42 amostras (Am1, Am2, Am3, Am4, Am5, Am6, Am7, Am8, Am9, Am10, Am15, Am18, Am19, Am21, Am22, Am23, Am24, Am25, Am26, Am27, Am28, Am29, Am30, Am31, Am32, Am33, Am34, Am35, Am36, Am37, Am38, Am39, Am40, Am41, Am42, Am43, Am44, Am45, Am46, Am49, Am50 e Am52), 5 variáveis (Coliformes Fecais, Cádmio, Cobre, Chumbo e Zinco) e 4 classes de condições de amostragem (dia, mês, local e tempo).

O conjunto 3c contém: 36 amostras (Am11, Am12, Am13, Am15, Am16, Am17, Am18, Am19, Am21, Am22, Am23, Am25, Am26, Am27, Am28, Am29, Am30, Am31, Am32, Am33, Am35, Am36, Am37, Am38, Am39, Am40, Am41, Am42, Am43, Am44, Am45, Am46, Am48, Am49 e Am50), 4 variáveis (NO₃, NO₂, NH₄ e DQO) e 5 classes de condições de amostragem (dia, mês, local e tempo).

Para a modelagem dos conjuntos 3a, 3b e 3c adotaram-se 3 PCs, 4 PCs e 4 PCs de cada conjunto autoescalado (quadros 6.26, 6.28 e 6.30), respectivamente, conforme gráficos (a) das figuras 6.27, 6.28 e 6.29, pois estes componentes

principais acumulam 86,12%, 88% e 92% da informação na variância escalar de 4 PCs, 7 PCs e 5 PCs, conforme tabelas (b) das figuras 6.27, 6.28 e 6.29.

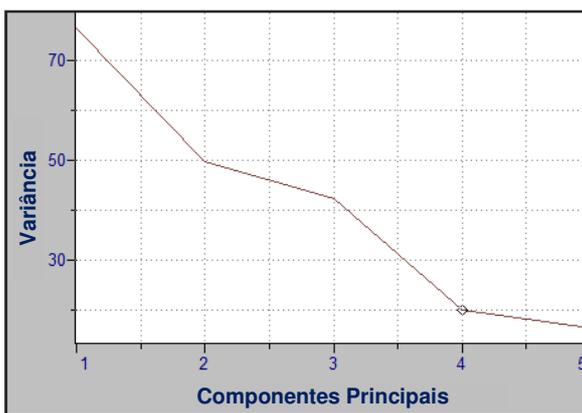


(a)

	Variância	Porcentagem	Cumulativa
PC1	58,06	45,36	45,36
PC2	26,01	20,32	65,68
PC3	15,57	12,16	77,84
PC4	13,01	10,17	88,01
PC5	7,29	5,70	93,70
PC6	4,94	3,86	97,56
PC7	2,90	2,27	99,83

(b)

Figura 6.27. Descrição dos componentes principais do conjunto 3a: (a) gráfico de seleção de PCs significativos; (b) valores correspondentes aos 7 PCs.

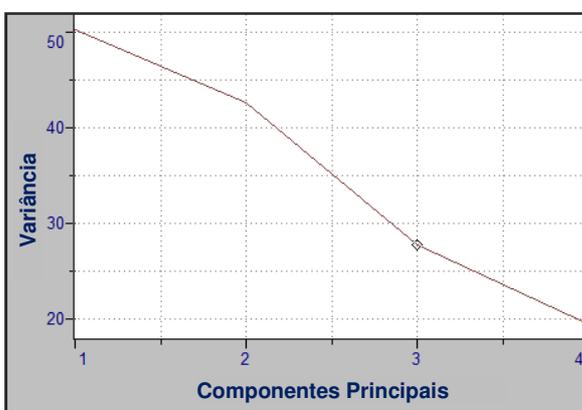


(a)

	Variância	Porcentagem	Cumulativa
PC1	76,47	37,30	37,30
PC2	49,74	24,26	61,56
PC3	42,32	20,64	82,21
PC4	20,07	9,79	92,00
PC5	16,40	8,00	100,00

(b)

Figura 6.28. Descrição dos componentes principais do conjunto 3b: (a) gráfico de seleção de PCs significativos; (b) valores correspondentes aos 5 PCs.



(a)

	Variância	Porcentagem	Cumulativa
PC1	50,29	35,92	35,92
PC2	42,60	30,42	66,34
PC3	27,70	19,78	86,12
PC4	19,43	13,88	100,00

(b)

Figura 6.29. Descrição dos componentes principais do conjunto 3c: (a) gráfico de seleção de PCs significativos; (b) valores correspondentes aos 4 PCs.

Quadro 6.25. Matriz de dados originais do conjunto 3a.

Amostra	Classes				Variáveis																
	Dia	Mês	Local	Tempo	Tur	Cor	Cond	Cl	Sulf	ST	STD	ColF	Cd	Cu	Pb	Zn	NO3	NO2	NH4	DQO	
Am15	3	1	1	1	1,41	1,00	7,46	0,00	0	0,197	0,040	1	0,09	1,27	1,38	4,93	1,60	0,002	0,50	3	
Am32	1	2	1	1	0,97	4,00	7,69	0,00	1	0,012	0,087	1	0,08	0,40	0,88	5,02	1,70	0,003	0,12	1,57	
Am33	1	2	3	8	16,10	107,00	2,43	0,60	1	0,042	0,051	2	0,22	1,87	3,75	29,09	4,20	0,001	0,22	0,9	
Am35	2	2	1	1	0,50	1,00	10,92	0,10	0	0,000	0,000	1	0,02	0,00	0,00	5,79	1,50	0,001	0,14	1,4	
Am37	4	2	1	1	1,18	8,00	9,27	0,20	1	0,002	0,007	1	1,86	3,44	0,89	17,32	1,30	0,006	0,16	1,8	
Am38	4	2	2	2	10,80	106,00	11,07	1,10	1	0,067	0,022	2	0,41	1,35	0,42	178,57	1,70	0,025	0,59	4,2	
Am39	4	2	2	3	23,30	86,00	15,43	1,00	1	0,065	0,003	2	4,03	0,85	0,00	171,56	1,70	0,025	0,55	3,4	
Am40	4	2	2	4	22,80	108,00	15,37	1,00	0	0,051	0,025	2	0,20	0,81	0,00	220,44	1,70	0,020	0,51	2,3	
Am41	4	2	2	5	24,70	117,00	15,44	0,80	0	0,038	0,025	2	0,17	1,09	0,00	227,32	1,60	0,019	0,53	2,7	

Legenda: **Classe “dia”**: 1, 2, 3, 4 e 5 equivalem aos intervalos do 1° ao 7°, 8° ao 14°, 15° ao 21°, 22° ao 28° e 29° ao 31° dia do mês; **Classe “mês”**: 1, 2, 3 e 4 equivalem ao 1°, 2°, 3° e 4° mês de amostragem: fev, mar, abr e maio; **Classe “local”**: 1, 2 e 3 equivalem ao 1°, 2° e 3° ponto da amostragem (wet only, canal e trincheira de infiltração); **Classe “tempo”**: 1 equivale ao tempo “washout” de amostragem da água de chuva, 2 equivale ao tempo “após ativar o nível” na amostragem da água do ESD no canal, 3 equivale ao tempo “após 5 min” de amostragem da água do ESD no canal; 4 equivale ao tempo “após 10 min” de amostragem da água do ESD no canal; 5 equivale ao tempo “após 15 min” de amostragem da água do ESD no canal; 6 equivale ao tempo “após 20 min” de amostragem da água do ESD no canal; 7 equivale ao tempo “após 25 min” de amostragem da água do ESD no canal; 8 equivale ao tempo de amostragem do ESD após passar pelo sistema filtro-vala-trincheira de infiltração.

Quadro 6.27. Matriz de dados originais do conjunto 3b.

Amostra	Classe				Variáveis				
	Dia	Mês	Local	Tempo	CoIF	Cd	Cu	Pb	Zn
Am1	1	1	1	1	1	0,03	2,63	0,20	27,34
Am2	2	1	1	1	1	0,05	3,27	2,53	27,34
Am3	2	1	1	1	1	0,14	1,54	0,53	7,14
Am4	2	1	2	2	2	0,07	2,41	0,74	641,18
Am5	2	1	2	3	2	0,02	1,64	0,00	603,07
Am6	2	1	2	4	2	0,02	1,17	0,00	313,61
Am7	2	1	2	5	2	0,04	0,78	0,00	216,94
Am8	2	1	2	6	2	0,01	0,62	0,00	126,67
Am9	2	1	2	7	2	0,01	0,87	0,00	151,02
Am10	2	1	1	1	1	0,02	1,65	2,77	13,67
Am15	3	1	1	1	1	0,09	1,27	1,38	4,93
Am18	3	1	1	1	1	0,03	0,70	2,46	18,72
Am19	3	1	1	1	1	0,26	2,60	14,91	44,60
Am21	4	1	1	1	1	0,11	1,69	4,36	19,74
Am22	4	1	3	8	2	0,78	2,05	5,16	99,69
Am23	4	1	1	1	1	0,09	0,80	0,32	10,17
Am24	4	1	1	1	1	0,15	0,79	0,00	6,85
Am25	4	1	2	2	2	0,15	1,72	0,21	457,89
Am26	4	1	2	3	2	0,06	0,27	0,00	128,69
Am27	4	1	2	4	2	0,08	0,26	0,00	58,17
Am28	4	1	2	5	2	0,24	0,42	0,00	68,60
Am29	4	1	2	6	2	0,39	0,39	0,00	67,59
Am30	4	1	2	7	2	1,74	1,59	0,02	262,19
Am31	4	1	3	8	2	4,31	1,57	10,65	30,67
Am32	1	2	1	1	1	0,08	0,40	0,88	5,02
Am33	1	2	3	8	2	0,22	1,87	3,75	29,09
Am34	1	2	1	1	1	0,04	0,39	1,41	7,95
Am35	2	2	1	1	1	0,02	0,00	0,00	5,79
Am36	2	2	3	8	2	1,40	1,16	4,09	4,50
Am37	4	2	1	1	1	1,86	3,44	0,89	17,32
Am38	4	2	2	2	2	0,41	1,35	0,42	178,57
Am39	4	2	2	3	2	4,03	0,85	0,00	171,56
Am40	4	2	2	4	2	0,20	0,81	0,00	220,44
Am41	4	2	2	5	2	0,17	1,09	0,00	227,32
Am42	4	2	2	6	2	0,07	0,85	0,00	259,22
Am43	4	2	3	8	2	0,05	0,90	0,24	19,64
Am44	1	3	1	1	1	0,15	1,32	0,43	10,49
Am45	2	3	1	1	1	0,18	0,15	0,77	24,36
Am46	2	3	2	2	2	2,41	2,54	1,39	613,65
Am49	3	4	2	2	2	1,73	11,99	7,05	1956,39
Am50	3	4	2	3	2	0,52	8,49	4,95	1364,92
Am52	3	4	2	5	2	0,28	3,53	1,04	6101,04

Legenda: considerar a mesma da matriz #PCA1a.

Quadro 6.29. Matriz de dados originais do conjunto 3c.

Anostra	Classes				Variáveis			
	Dia	Mês	Local	Tempo	NO3	NO2	NH4	DQO
Am11	1	1	2	2	1,70	0,000	0,68	21
Am12	1	1	2	3	1,40	0,006	0,47	5
Am13	1	1	2	4	1,30	0,002	0,39	4
Am15	2	1	1	1	1,60	0,002	0,50	3
Am16	2	1	2	2	1,30	0,003	0,37	5
Am17	2	1	3	8	6,90	0,007	0,59	24
Am18	2	1	1	1	1,90	0,008	0,97	3
Am19	2	1	1	1	1,70	0,007	0,61	3
Am21	3	1	1	1	3,20	0,003	0,70	6
Am22	3	1	3	8	7,40	0,009	0,39	6
Am23	3	1	1	1	1,70	0,001	0,30	1,5
Am24	3	1	1	1	1,60	0,000	0,08	1,8
Am25	3	1	2	2	2,00	0,008	0,65	11,7
Am26	3	1	2	3	1,90	0,004	0,21	3,2
Am27	3	1	2	4	1,80	0,004	0,06	1,1
Am28	3	1	2	5	1,90	0,004	0,05	1,2
Am29	3	1	2	6	1,70	0,003	0,07	3,4
Am30	3	1	2	7	1,60	0,003	0,05	6,6
Am31	3	1	3	8	2,80	0,008	0,15	5,3
Am32	1	2	1	1	1,70	0,003	0,12	1,57
Am33	1	2	3	8	4,20	0,001	0,22	0,9
Am35	1	2	1	1	1,50	0,001	0,14	1,4
Am36	1	2	3	8	1,50	0,007	0,04	1,7
Am37	3	2	1	1	1,30	0,006	0,16	1,8
Am38	3	2	2	2	1,70	0,025	0,59	4,2
Am39	3	2	2	3	1,70	0,025	0,55	3,4
Am40	3	2	2	4	1,70	0,020	0,51	2,3
Am41	3	2	2	5	1,60	0,019	0,53	2,7
Am42	3	2	2	6	1,00	0,016	0,49	2
Am43	3	2	3	8	1,30	0,009	0,26	2,8
Am44	1	3	1	1	1,50	0,006	0,58	11
Am45	1	3	1	1	1,30	0,002	0,11	10
Am46	1	3	2	2	1,20	0,004	0,35	27,4
Am48	2	4	1	1	2,50	0,004	1,22	6
Am49	2	4	2	2	2,50	0,011	0,97	5,8
Am50	2	4	2	3	1,9	0,006	0,99	5,4

Legenda: considerar a mesma da matriz #PCA1a. Considerar ainda a **Classe "tempo"**: 1 equivale ao tempo "washout" de amostragem da água de chuva, 2 equivale ao tempo "após ativar o nível" na amostragem da água do ESD no canal, 3 equivale ao tempo "após 5 min" de amostragem da água do ESD no canal; 4 equivale ao tempo "após 10 min" de amostragem da água do ESD no canal; 5 equivale ao tempo "após 15 min" de amostragem da água do ESD no canal; 6 equivale ao tempo "após 20 min" de amostragem da água do ESD no canal; 7 equivale ao tempo "após 25 min" de amostragem da água do ESD no canal; 8 equivale ao tempo de amostragem do ESD após passar pelo sistema filtro-vala-trincheira de infiltração.

Mostram-se nas figuras 6.30, 6.31 e 6.32 que a melhor separação entre os locais de amostragem nos conjuntos 3a, 3b e 3c ocorreu pela PC1 (56,08% de 3a, 76,47% de 3b e 50,29% de 3c) *versus* a PC2 (26,01% de 3a, 49,74% de 3b e 42,60% de 3c), as quais descrevem, cumulativamente, 65,68%, 61,56% e 66,34% da variabilidade total dos dados da PCA3a, PCA3b e PCA3c, respectivamente.

- Análise dos dados da PCA3a

A visualização do gráfico de escores da classe “local” (figura 6.33) mostra que as amostras de água de chuva (grupo 1, cor marrom) estão localizadas na região de escores negativos da primeira e da segunda componente, enquanto que as amostras do escoamento superficial direto no canal (grupo 2, cor vermelho) estão localizadas na região dos escores positivos da PC1 e negativos da PC2, com exceção de uma amostra que está localizada na região dos escores positivos em ambas as componentes. A única amostra do escoamento superficial direto na trincheira de infiltração (grupo 3, cor verde) está localizada na região dos escores negativos da PC1 e positivos da PC2.

As variáveis mais importantes que determinaram o posicionamento horizontal das amostras no gráfico de *scores* (figura 6.33) foram aquelas que apresentaram maiores pesos para PC1 no gráfico de *loadings* (figura 6.34): Zn (0,3589), NO₂ (0,3585), Cl⁻ (0,3414) e NH₄⁺ (0,3192).

As variáveis mais importantes que determinaram o posicionamento vertical das amostras no gráfico de *scores* (figura 6.33) foram aquelas que apresentaram maiores pesos para PC2 (figura 6.34): NO₃ (0,5188), Pb (0,4487), Cor (0,3179) e Coliformes Fecais (0,3100). Os teores desses elementos tendem a ser maiores para as amostras 33 e 38 e menores para as amostras Am15, Am32, Am35, Am37, Am39, Am40 e Am41.

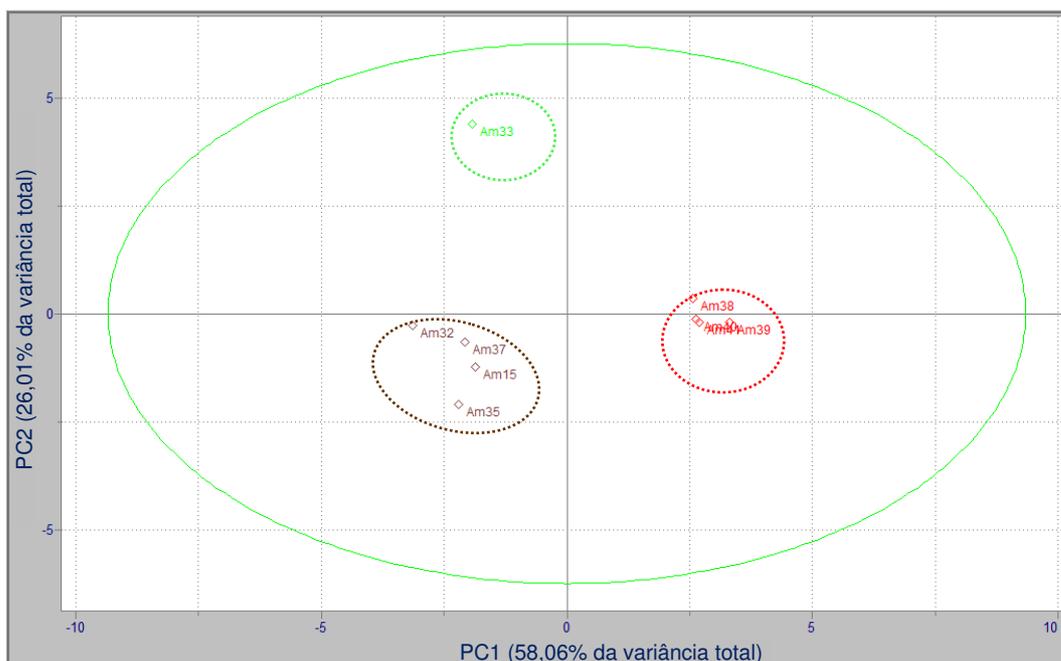


Figura 6.33. Gráfico (PC1 x PC2) dos *scores*, classe “local”, para os dados autoescalados do conjunto PCA3a.

Legenda: marrom (amostras de água de chuva); vermelho (amostras de água do ESD na entrada do canal); verde (amostra de água do ESD na saída da trincheira de infiltração).

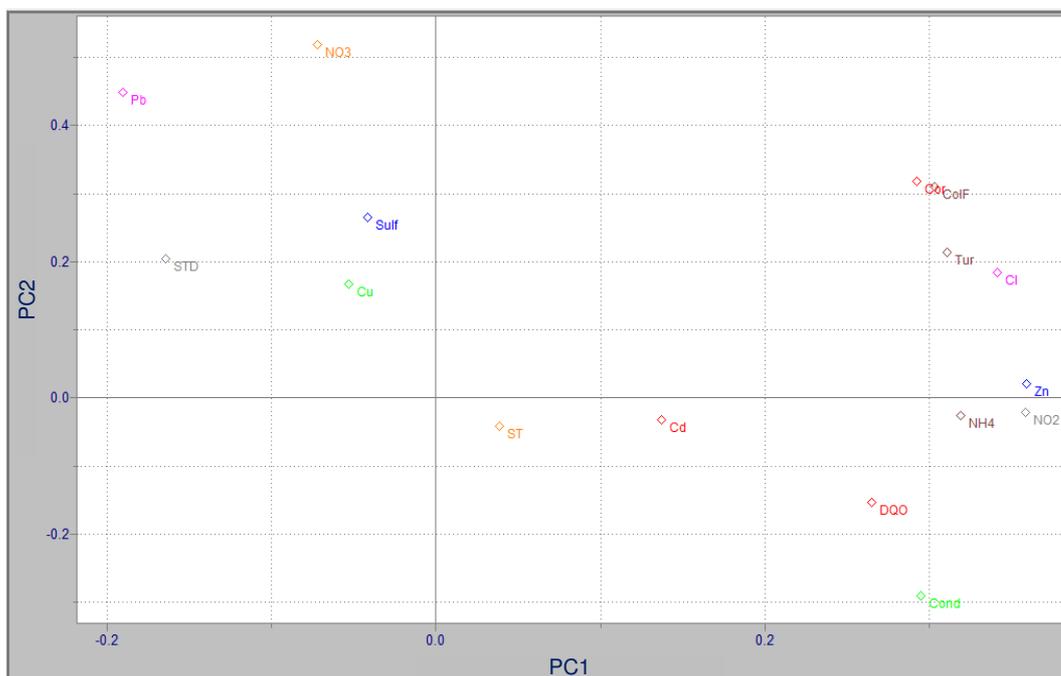


Figura 6.34. Gráfico (PC1 x PC2) dos *loadings* para os dados autoescalados do conjunto PCA3a.

Nota: Valores dos pesos das variáveis para PC1: Zn = 0,3589, NO2 = 0,3585, Cl = 0,3414, NH4 = 0,3192, Tur = 0,3104, ColF = 0,3033, Cond = 0,2950, Cor = 0,2924, DQO = 0,2649, Cd = 0,1371, ST = 0,0385, Cd = 0,1371, Sulf = -0,0416, Cu = -0,0529, STD = -0,1645 e Pb = -0,1902.

Valores dos pesos das variáveis para PC2: NO3 = 0,5188, Pb = 0,4487, Cor = 0,3179, ColF = 0,3100, Sulf = 0,2655, Tur = 0,2133, STD = 0,2048, Cl = 0,1851, Cu = 0,1677, NO2 = -0,0205, Zn = 0,0217, NH4 = -0,0264, Cd = -0,0313, ST = -0,0412, DQO = -0,01535 e Cond = -0,2908).

A modelagem de PCA3a, classe “local” (figura 6.33), separou nitidamente as amostras em três grupos distintos. Os três grupos diferem-se entre si de acordo com a composição química correlacionada no gráfico de pesos (figura 6.7). Reconhecem-se, portanto, grupos de amostras caracterizados pelo local de amostragem:

- (i) amostras do ESD predial no canal (Am38, Am39, Am40 e Am41), destacadas em vermelho e localizadas à direita no gráfico dos escores (figura 6.33), apresentam maiores teores de Zn, NO₂, Cl⁻, NH₄⁺, Turbidez e Coliformes Fecais (variáveis localizadas à direita no gráfico dos pesos) e menores teores de Pb, STD, NO₃, Cu e SO₄²⁻ (variáveis localizadas à esquerda no gráfico dos pesos). A Am38 (de 27/03 “após ativar o nível”), localizada na região de escores positivos para PC2, possui maior teor de Cor, Turbidez, Cl⁻, ST, NO₂, DQO e NH₄⁺ que as amostras Am39 (de 27/03 “após 5 min”), Am40 (de 27/03 “após 10 min”) e Am41 (de 27/03 “após 15 min”). Do mesmo modo, estas três amostras, localizadas na região de escores negativos para PC2, apresentam maiores teores de Condutividade que a amostra Am38. O efeito do *first flush* do ESD que lava a superfície (neste caso, revestida de zinco, no telhado do prédio do DMed da UFSCar, e de concreto no canal retangular conectado ao mesmo prédio) e carrega a maior parte dos poluentes encontrados explica a diferença de concentração entre a primeira amostra coletada (Am38) e as seguintes.
- (ii) amostras de água de chuva (Am15, de 16/02, Am32, de 01/03, Am35, de 12/03, e Am37, de 27/03), destacadas em marrom e localizadas à esquerda (figura 6.4), possuem maiores teores de Pb, STD, NO₃, Cu e SO₄²⁻ e menores teores de Zn, NO₂, Cl⁻, NH₄⁺ e Turbidez.
- (iii) amostra do ESD na trincheira de infiltração (Am33, de 01/03), destacada em verde e localizada à esquerda (figura 6.33), possui maiores teores de Pb, STD, NO₃, Cu e SO₄²⁻ e menores teores de Zn, NO₂, Cl⁻, NH₄⁺ e Turbidez, quando comparada com as amostras do ESD predial, mas possui maiores teores de Turbidez, Cor, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃, Pb e Zn, e menor teor de Condutividade, quando comparada com as amostras de água de chuva.

A turbidez na água é causada pela matéria orgânica e inorgânica em suspensão e está maior concentrada em água do ESD por causa do teor de sólidos que é maior do que na água de chuva.

O cloreto, advindo da dissolução de sais, pode em altas concentrações indicar presença de águas residuárias, como ocorreu no canal.

O nitrato geralmente ocorre em baixos teores em águas superficiais.

O cádmio é advindo tanto da deposição atmosférica e combustão, que contribuem para a contaminação da água de chuva, quanto do desgaste da borracha de pneus, fertilizantes, fungicidas, disposição de resíduos sólidos, plásticos e tintas, que contribui para a contaminação da água do ESD predial.

O cobre é advindo tanto de materiais (madeira, aço e ferro) e agricultura, tratamento de água que contribuem para a contaminação da água do ESD predial, como de indústrias químicas, emissões de incineração de resíduos e combustão veicular que contribuem para a contaminação da água de chuva.

O chumbo é advindo tanto de deposição atmosférica, processos industriais e queima de combustíveis que contribuem para a contaminação da água de chuva, como de desgaste de estruturas, que contribui para a contaminação da água do ESD predial.

E o zinco, advindo de deposição seca e úmida, construções e telhados, é contabilizado em maiores teores na água do ESD predial e menores teores na água de chuva e na água do ESD na trincheira de infiltração.

Os gráficos (PC1 x PCA2) dos escores, classes “dia”, “mês” e “tempo”, foram analisados e concluiu-se que não houve uma boa separação entre as amostras nestes gráficos, isto é, o efeito do dia, do mês e do tempo de amostragem no conjunto PCA1a não foi significativo na comparação entre as amostras. Por este motivo, estes gráfico de escores não foram apresentados neste trabalho.

- Análise dos dados da PCA3b

A variável mais importante que determinou o posicionamento horizontal das amostras no gráfico de escores (figura 6.36) foi o Cu (0,5901), apresentando o maior

peso para PC1 no gráfico de *loadings* (figura 6.37), seguido pelas variáveis intermediárias Pb (0,4394), Zn (0,4332) e Cd (0,4239).

As amostras do ESD predial Am49, Am52, Am50, Am31 e Am19, localizadas à direita no gráfico dos escores (figura 6.36), apresentaram os maiores teores de Cu (variável localizada à direita no gráfico dos pesos), extrapolando o gráfico e sendo consideradas anômalas (ou *outliers*) as amostras Am19, Am31, Am49 e Am52. As amostras intermediárias Am46, Am39, Am36, Am22, Am36, Am30, Am37, Am33 e Am4, também localizadas à direita no gráfico dos pesos (figura 6.12), possuem maiores teores dos metais Cu, Pb, Zn e Cd e menores teores de Coliformes Fecais.

As variáveis mais importantes que determinaram o posicionamento vertical das amostras no gráfico de escores (figura 6.36) foram Coliformes Fecais (0,5879) e Zn (0,4866), apresentando os maiores pesos para PC2 (figura 6.37). O maior teor de Zn foi verificado na amostra Am52 (6101,04 µg/L) e o menor na amostra Am15 (4,93 µg/L).

A partir do gráfico (PC1 x PC2) dos escores, classe “local” (figura 6.36), pode ser observada a separação em três grupos:

- amostras de água de chuva (Am1, Am2, Am3, Am10, Am15, Am18, Am19, Am21, Am23, Am24, Am32, Am34, Am35, Am37, Am44 e Am45), destacadas em marrom, referente ao primeiro local de amostragem (*wet only*);
- amostras de água do escoamento superficial direto no canal (Am4, Am5, Am6, Am7, Am8, Am9, Am25, Am26, Am27, Am28, Am29, Am30, Am38, Am39, Am40, Am41, Am42, Am46, Am49, Am50 e Am52), destacadas em vermelho, referente ao segundo local de amostragem (canal);
- amostras de água do escoamento superficial direto após passagem pelo sistema filtro-vala-trincheira de infiltração (Am22, Am31, Am33, Am36 e Am43), destacadas em verde, referente ao terceiro local de amostragem (trincheira de infiltração).

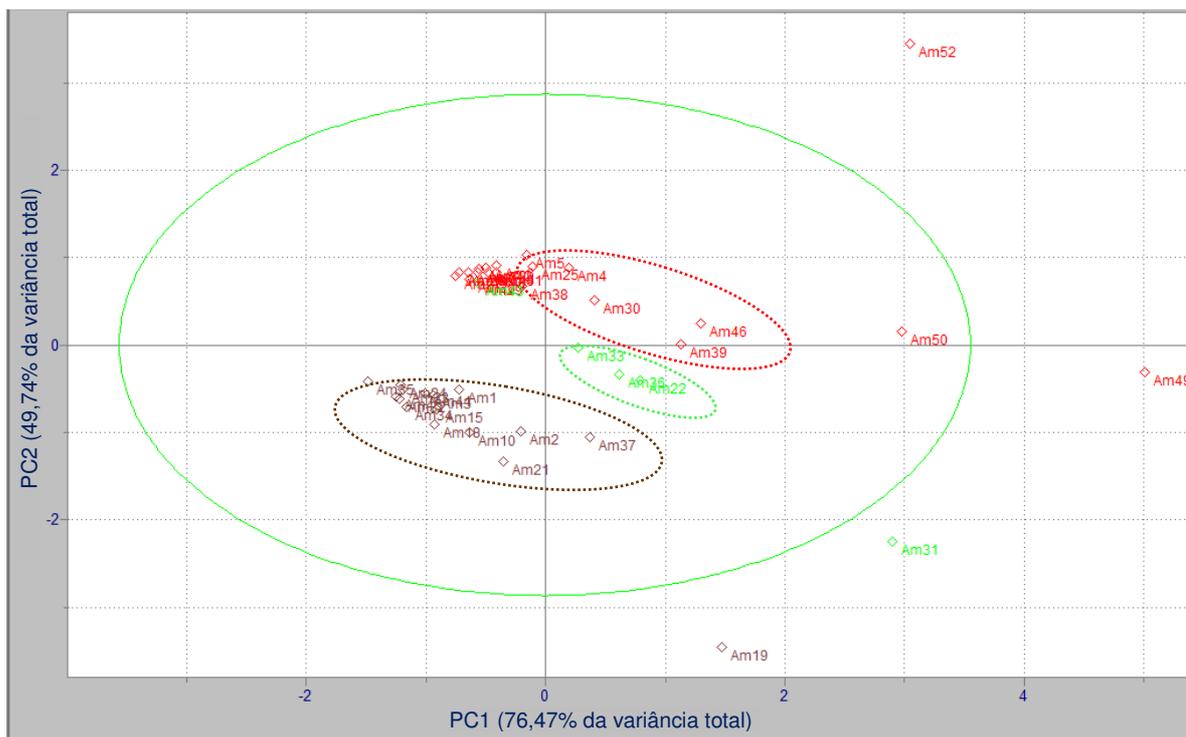


Figura 6.36. Gráfico (PC1 x PC2) dos *scores*, classe “local”, para os dados autoescalados do conjunto PCA3b. Legenda: marrom (amostras de água de chuva); vermelho (amostras de água do ESD na entrada do canal); verde (amostra de água do ESD na saída da trincheira de infiltração).

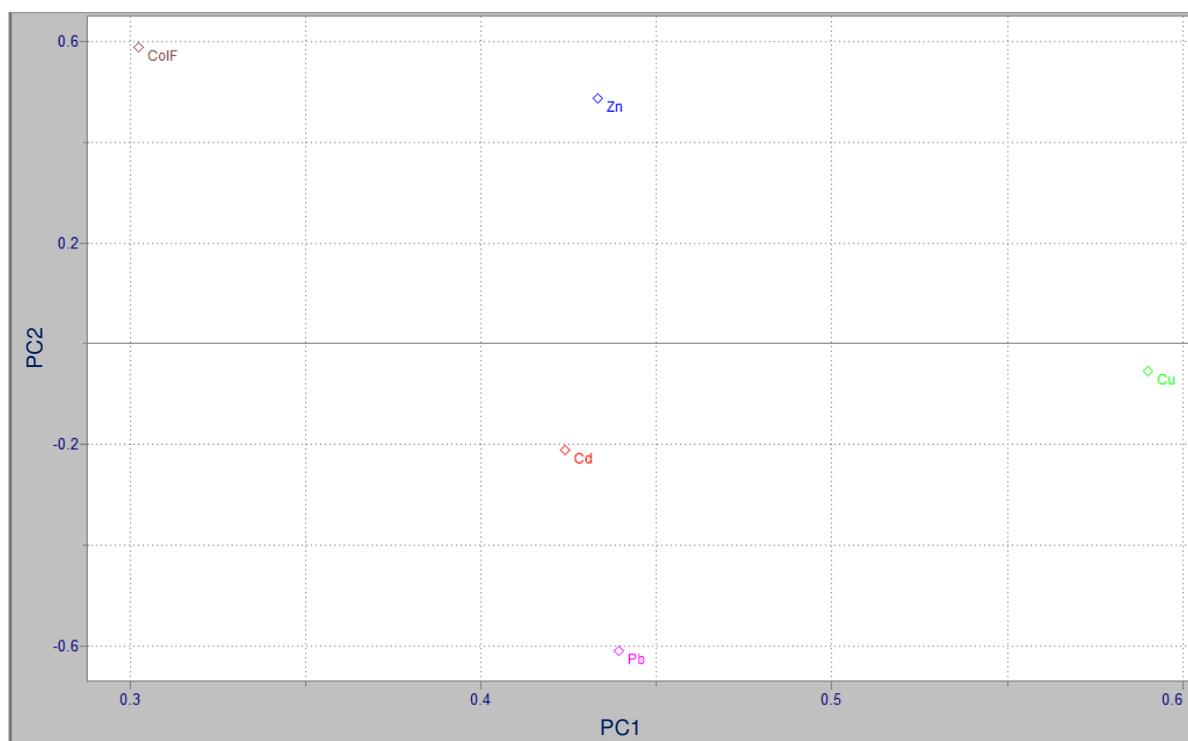


Figura 6.37. Gráfico PC1 *versus* PC2 dos *loadings* para os dados autoescalados do conjunto de dados PCA3b. Valores dos pesos das variáveis para PC1 (Cu = 0,5901, Pb = 0,4394, Zn = 0,4332, Cd = 0,4239 e ColF = 0,3025) e para PC2 (ColF = 0,5879, Zn = 0,4866, Cu = -0,0545, Cd = -0,2101 e Pb = -0,6087).

O cobre presente em grande quantidade nas últimas amostras do ESD predial coletadas (Am49, Am50 e Am52), comparando-se com a demais amostras do mesmo local, indica que ocorreu alguma contribuição “extra” de Cu durante o mês de maio, provinda de alguma fonte potencial de Cu (madeira, aço, ferro, indústria química, emissões de incineração de resíduos, agricultura, etc) que foi lixiviada pelo escoamento superficial no telhado e/ou próximo ao canal.

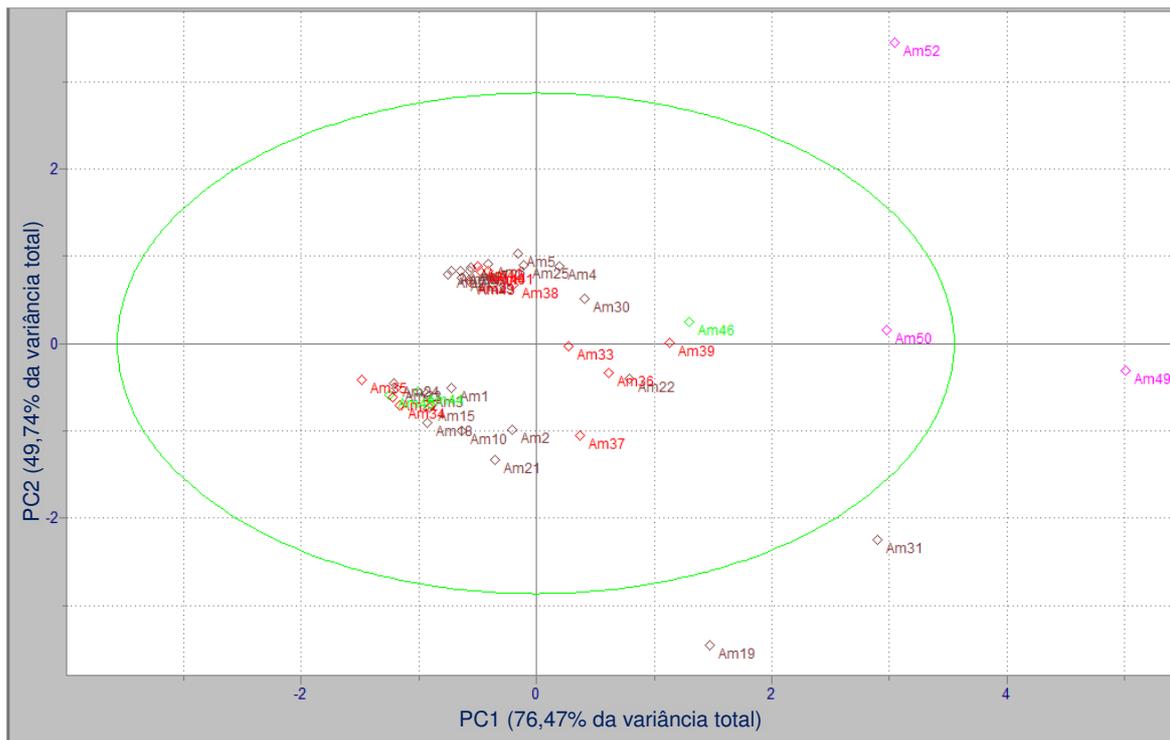


Figura 6.38. Gráfico (PC1 x PC2) dos *scores*, classe “mês”, para os dados autoescalados do conjunto PCA3b.

Legenda: marrom (fevereiro); vermelho (março); verde (abril); rosa (maio).

Os gráficos (PC1 x PCA2) dos *escores*, classes “dia” e “tempo”, foram analisados e concluiu-se que não houve uma boa separação entre as amostras, isto é, o efeito do dia e do tempo de amostragem não foi significativo na comparação entre as amostras. Por este motivo, estes gráficos de *escores* não foram apresentados neste trabalho.

- Análise dos dados da PCA3c

As variáveis mais importantes que determinaram o posicionamento horizontal das amostras no gráfico de escores (PC1 x PC2), classe “local” (figura 6.40), foram: NH_4 (0,5957), DQO (0,5764) e NO_3 (0,5258), apresentando os maiores pesos para PC1 no gráfico de *loadings* (figura 6.41).

As amostras Am17 e Am22, localizadas à direita no gráfico dos escores (figura 6.40) apresentaram os maiores teores de NH_4 , DQO e NO_3 (variáveis localizadas à direita no gráfico dos pesos) e menores teores de NO_2 (variável localizada à esquerda no gráfico dos pesos). Do mesmo modo, pelo raciocínio inverso, as amostras Am24, Am35, Am36, Am37, Am32, Am27 e Am29, à esquerda (figura 6.40), possuem maiores teores de NO_2 e menores teores de NH_4 , DQO e NO_3 .

As variáveis mais importantes que determinaram o posicionamento vertical das amostras no gráfico de escores (PC1 x PC2), classe “local” (figura 6.40), foram: Coliformes Fecais (0,5879) e Zn (0,4866), apresentando os maiores pesos para PC2 (figura 6.41). O maior teor de Zn foi verificado na amostra Am52 (6101,04 $\mu\text{g/L}$) e o menor na amostra Am15 (4,93 $\mu\text{g/L}$).

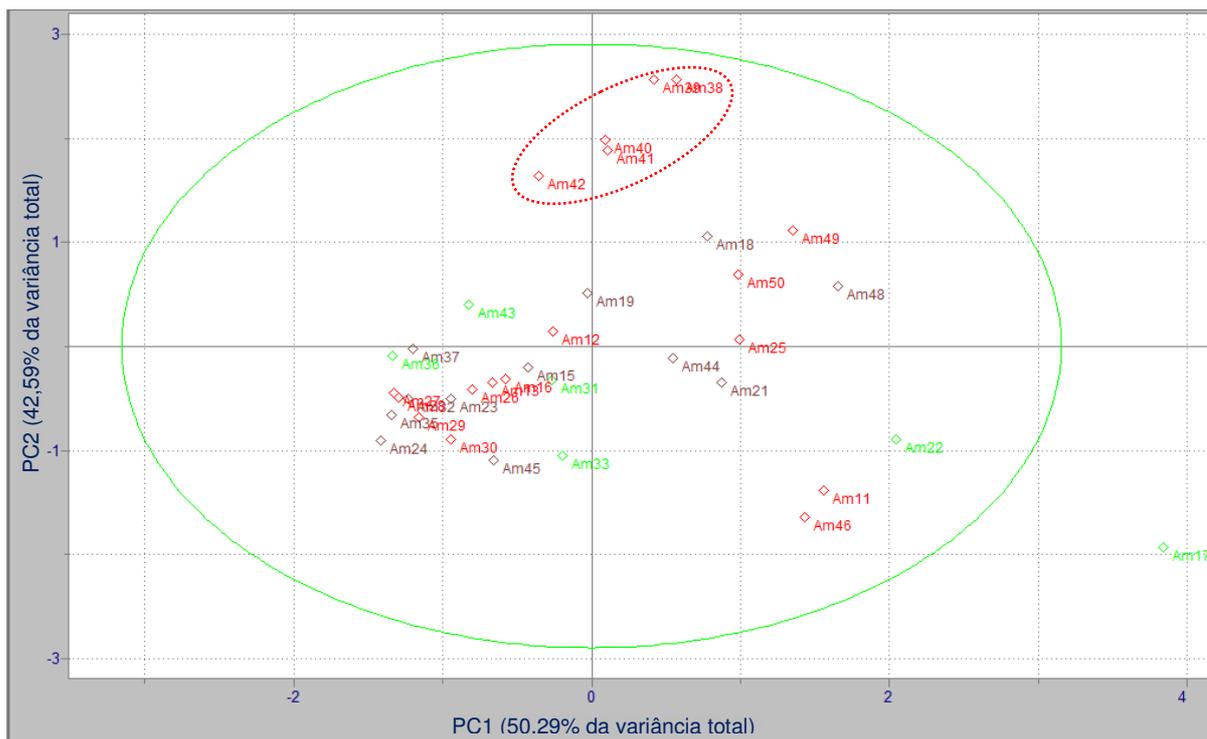


Figura 6.40. Gráfico (PC1 x PC2) dos *scores*, classe “local”, para os dados autoescalados do conjunto PCA3c. Legenda: marrom (amostras de água de chuva); vermelho (amostras de água do ESD na entrada do canal); verde (amostra de água do ESD na saída da trincheira de infiltração).

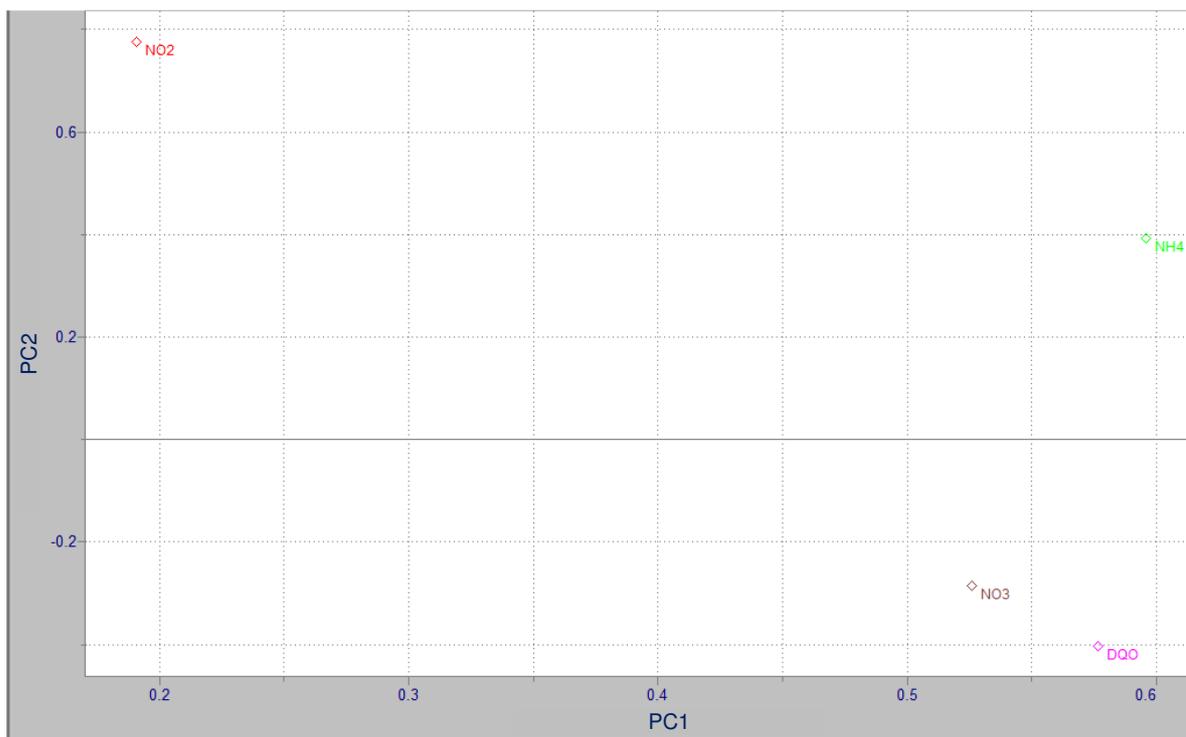


Figura 6.41. Gráfico (PC1 x PC2) dos *loadings* para os dados autoescalados do conjunto PCA3c.

Valores dos pesos das variáveis para PC1 (NH4 = 0,5957, DQO = 0,5764, NO3 = 0,5258 e NO2 = 0,1909) e para PC2 (NO2 = 0,7760, NH4 = 0,3927, NO3 = -0,2847 e DQO = -0,4031).

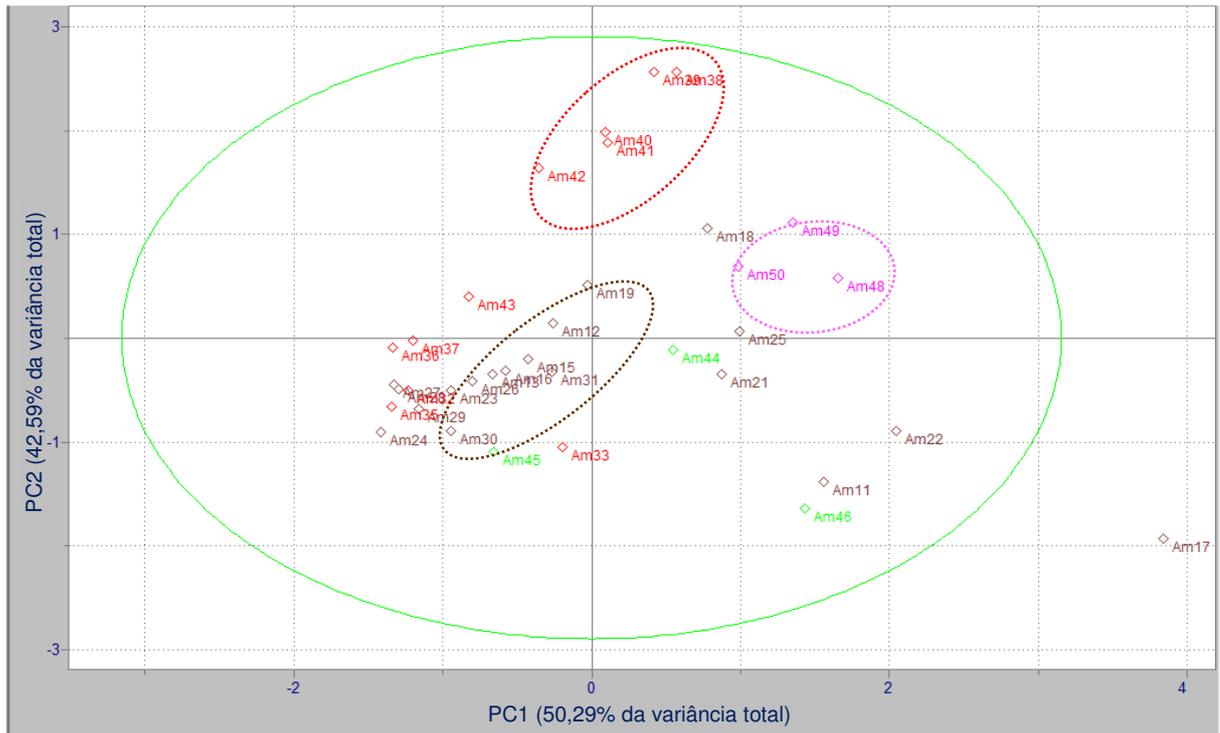


Figura 6.42. Gráfico (PC1 x PC2) dos scores, classe “mês”, para os dados autoescalados do conjunto PCA3c.
 Legenda: marrom (fevereiro); vermelho (março); verde (abril); rosa (maio).

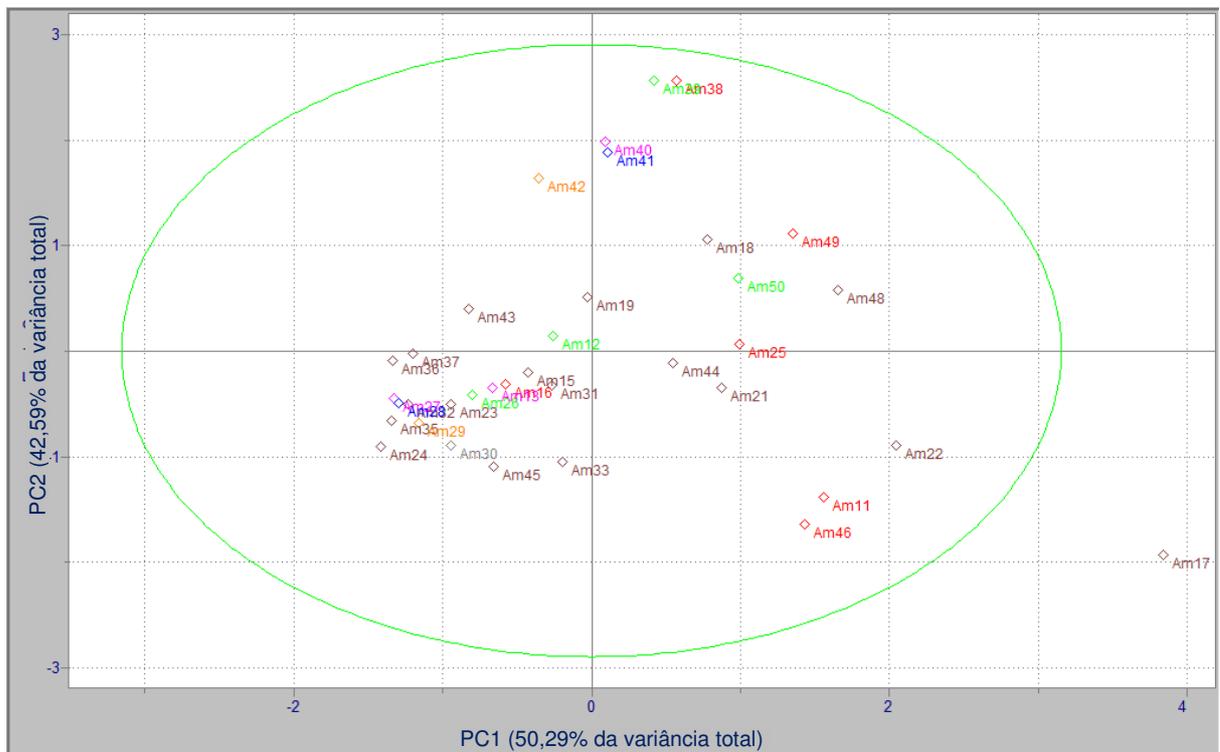


Figura 6.43. Gráfico (PC1 x PC2) dos scores, classe “tempo”, para os dados autoescalados do conjunto PCA3c.
 Legenda: marrom (tempo 1 “washout”); vermelho (tempo 2 “após ativar o nível no canal”); verde (tempo 3 “após 5 min no canal”); rosa (tempo 4 “após 10 min no canal”); azul (tempo 5 “após 15 min no canal”); laranja (tempo 6 “após 20 min no canal”); cinza (tempo 7 “após 25 min no canal”); marrom (tempo 8 “nível na trincheira”).

7. CONCLUSÕES

A dinâmica dos poluentes é dependente das variações espaço-temporal. A análise do comportamento dos parâmetros analisados nos eventos indica um padrão geral de relação entre as maiores e menores concentrações em função: (i) das condições das precipitações (intensidade, duração, períodos sem chuva e precipitação anterior); (ii) das condições de amostragem (dia, mês, local e tempo); (iii) de outras particularidades (tipo de ocupação da bacia; área impermeabilizada, neste caso, área do prédio do DMed da UFSCar; tamanho da área de drenagem, neste caso, a área do sistema de infiltração monitorado; e os horários dos eventos, com destaque para o padrão noturno de ocorrência da chuva em São Carlos).

Com relação à qualidade da água de chuva, coletada na área experimental no campus da UFSCar, pode-se concluir que:

- ✓ as concentrações dos parâmetros Turbidez, Cor, ST, STD, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, Sulfato, Cloreto, Cádmio, Cobre, Chumbo e Zinco foram sensivelmente menores que as concentrações dos mesmos parâmetros encontradas na literatura brasileira. Já, as concentrações dos parâmetros DQO e Condutividade foram próximas das concentrações destes encontradas na literatura brasileira. Isto se deve às condições da área de estudo e da cidade de São Carlos – SP.
- ✓ o método de amostragem que considerou somente a deposição úmida através da utilização do equipamento tipo *wet only* foi importante para evitar a contaminação de alguns elementos (Zn, ST, STD).
- ✓ na avaliação do efeito da lavagem da atmosfera, a partir da variação das concentrações médias na água de chuva em função da precipitação antecedente constatou-se que houve aumento gradativo dos teores de Turbidez, SO_4^{2-} e Cl^- nos eventos após 7, 8, 14 e 32 dias sem chuva, aumento gradativo dos teores de Turbidez, Cor, NO_2^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Cd, Cu, Pb e Zn nos eventos após 7, 8 e 14 dias sem dias sem chuva, queda nos teores de teores de Condutividade Elétrica, DQO, NO_3^- e NH_4^+ nos eventos após 14 dias sem chuva e aumento nos eventos após 32 dias sem chuva. Para os parâmetros ST e STD houve aumento nos eventos após 7 e 8 dias sem chuva e queda nos eventos após 14 dias sem chuva. Nos eventos após 1 dia sem chuva

houve aumento gradativo dos teores de Turbidez, Cor, DQO, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} , Cd, Cu, Pb e Zn, quando comparado com o evento após 1 dia de chuva.

- ✓ quanto à análise microbiológica, 100% das 15 amostras de água de chuva apresentaram presença de Coliformes Totais e 100% apresentaram ausência de Coliformes Fecais.

Com relação à qualidade de água de escoamento superficial direto predial do prédio do DMed da UFSCar, em escala espaço-temporal real, pode-se concluir que:

- ✓ a primeira amostra do ESD predial, correspondente ao *first flush*, apresentou concentrações superiores significativas em relação à última amostra do ESD predial (após 25 min) para os parâmetros turbidez, Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- e NO_2^- . Uma provável explicação é o efeito do tempo de amostragem na variação das concentrações causado pela diluição.
- ✓ as concentrações altas de Zn se devem à lixiviação do zinco no telhado do prédio do DMed da UFSCar.
- ✓ o acúmulo de sedimentos no canal entre os meses de abril e maio ocasionou a elevação do teor de cobre nas amostras no canal.
- ✓ a contribuição da poluição atmosférica para a poluição difusa do escoamento superficial direto é ínfima.

Com relação à qualidade de água de escoamento superficial direto na trincheira de infiltração, em escala espaço-temporal real, pode-se concluir que:

- ✓ as concentrações médias dos parâmetros Condutividade, NH_4^+ , Cl^- , Cu e Zn nas amostras do ESD coletadas na trincheira de infiltração foram menores do que as concentrações médias destes parâmetros nas amostras do ESD coletadas no canal. Os parâmetros Condutividade Elétrica e NH_4^+ foram menores, também, que as amostras de água de chuva. Quanto aos parâmetros Turbidez, Cor, DQO, STD e SO_4^{2-} as concentrações médias nas amostras da trincheira de infiltração foram maiores que os resultados dos outros dois locais de amostragem.
- ✓ a ordem decrescente de eficiência de remoção do sistema filtro-vala-trincheira em relação à água do escoamento superficial direto predial provinda do canal foi: Zinco (90,89%), Cobre (88,31%), Condutividade Elétrica (31,40%), Nitrogênio Amoniacal (24,32%) e Cloreto (5,88%).

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15527**: água de chuva. - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
- AL-KHASHMAN, O. A. Chemical characteristics of rainwater collected data western site of Jordan. **Atmospheric Research**, v. 9, p. 53-61, 2009.
- AL-MOMAN, I. F. Trace elements in atmospheric precipitation at Northern Jordan measured by ICP-MS: acidity and possible sources. **Atmospheric Environment**, v. 37, p.4507-4515, 2003.
- APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th edition, Washington, Ney York, USA: APHA / AWWA / WEF, 1999.
- _____. **Standard Methods**. 21th ed. Washington: APHA / AWWA / WEF, 2005.
- ARSENE, C.; OLARIU, R. I.; MIHALOPOULOS, N. Chemical composition of rainwater in the northeastern Romania, Iasi region (2003–2006). **Atmospheric Environment** 41 (2007) 9452–9467.
- AZZOUT, Y.; BARRAUD, S., CRES, F. N.; ALFAKIL, E. **Techniques alternatives en assainissement pluvial**. Paris: Ed. Tec & Doc – Lavoisier, 1994.
- BÁEZ, A.; BELMONT, R.; GARCÍA, R.; PADILLA, H.; TORRE, M. C. Rainwater chemical composition at two sites in Central Mexico. **Atmospheric Research**, v. 80 p. 67-85, 2006.
- BÁEZ, A.; BELMONT, R.; GARCÍA, R.; PADILLA, H.; TORRE, M. C. Chemical composition of Rainwater collected at a south west site of Mexico City, Mexico. **Atmospheric Research**, v. 86, p. 61-75, 2007.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N. O.; SOUZA, V. C. B.; COSTA; L. S. G. M. Utilização de tecnologias compensatórias no projeto de um sistema de drenagem urbana. **Anais...** II Simpósio de Recursos Hídricos del Cone Sur. Santa Fé: Instituto Argentino de Recursos Hídricos, 1998.
- BAIRD, Colin. Tradução de Maria Angeles Lobo Recio; Luiz Carlos Marques Carrera. **Química Ambiental**. 2^a. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2002 (Reimpressão 2008). 622p.

BARBASSA, A.P. **Simulação do efeito da urbanização sobre a drenagem pluvial da cidade de São Carlos – SP**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos), Universidade de São Paulo, USP. São Carlos, SP, 1991. 327 p.

BENDORICCHIO, G.; CALLIGARO, L.; CARRER, G. M. Consequences of Diffuse Pollution on the Water Quality of Rivers in the Watershed of the Lagoon of Venice (Italy). **Water Sci. Technol.**, v. 39, n. 3, p.113, 1999.

BOLLER, M. Urban wastewater management in transition in: Toward sustainable urban stormwater management. **EAWAG News**, v. 57, p. 23-28, 2003.

BOLLER, M.; STEINER, M. Diffuse emission and control of copper in urban surface runoff. **Wat. Sci. Technol**, v. 46, p.173-181, 2002.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005**: 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. Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Portaria n. 518, de 25 de março de 2004**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, DF: FUNASA, 2004.

CHEBBO, G. **Solides dès rejets pluviaux urbains caracterisation et tratabilité**. Tese (Doutorado) – Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1992. 413p.

CHOCAT, B. (coord.). **Encyclopédie de l'hydrologie urbaine**. Paris: Tece t Doc Lavoisier, 1997. 1136 p.

COTTA, J. A. O.; SALAMI, F. H.; MARQUES, A. R.; OLIVEIRA, M. O. R.; LANDGRAF, M. D. Validação do método para determinação de Nitrogênio Kjeldahl Total. **Revista Analytica**, nº 26, dezembro 2006/janeiro 2007, p. 68-75.

CRUZ, M.A.S.; ARAÚJO, P.R.; SOUZA, V.C.B. **XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 1999.

DAVIS, A. P.; SHOKOUHIAN, M.; NI, S. B. Loading Estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific Sources. **Chemosphere**, v. 44, p. 997-1009, 2001.

DECHESENE, M. **Connaissance et modélisation du fonctionnement dès bassins d'infiltration d'eaux de ruissellement urbain pour l'évaluation des**

performances techniques et environnementales sur le long terme. Tese (Doutorado) – Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2002. 275p.

DEUS, A. B. S. de; CARDOSO, L. de S.; DE LUCA, S. J. Avaliação da qualidade das águas da chuva na Região Metropolitana de Porto Alegre, RS, Brasil. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28. Cancún, México, 2002. **Anais...** AIDIS, 2002. 4 p.

ELLIS, J. B.; HVITED-JACOBSEN, T. Urban drainage impacts on receiving waters. **Journal of Hydraulic Research**, 34, p.771-783, 2003.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Manual guidelines for water reuse.** Disponível em: <<http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/625r04108/625r04108.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2009.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA – FCTH. Projeto Difusão Tecnológica em Recursos Hídricos. ROMERA e SILVA, P. A.; AZEVEDO, F. Z. de; ALVAREZ, E. J. S.; VALENTE, A. A. (Equipe do Módulo 4). **Avaliação da qualidade e aspectos de saneamento e saúde.** 2002. (CD-ROM)

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHWA. **Technical report FHWA/VA nº 93-R16: Testing of Best Management Practices for Controlling Highway Runoff,** 1993.

FLUES, M.; HAMA, P., LEMES, M. J. L.; DANTAS, E. S. K.; FORNARO, A. Evaluation of the rainwater acidity of a rural region due to a coal-fired power plant in Brazil. **Atmospheric Environment** 36 (2002) 2397–2404.

FORTI, M. C.; BICUDO, D. C.; BOUROTTE, C.; DE CICCIO, V.; ARCOVA, F. C. S. Rainfall and throughfall chemistry in the Atlantic Forest: a comparison between urban and natural areas (São Paulo State, Brazil). **Hydrology and earth System Sciences**, 9 (6), p. 570-585, 2005.

FUJITA, A; BARRAUD, S.; BARDIN, J. P. An approach to the characterization and modeling of clogging in storm water infiltration facilities. In: **International Conference on Urban Storm Drainage**, Sidney, 1999.

GAUTIER, A. **Contribution à la connaissance du fonctionnement d'ouvrages d'infiltration d'eau de ruissellement pluvial urbain.** Tese (Doutorado) – Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 1998. 251p.

GENZ, F.; TUCCI, C. E. M. Controle do escoamento em um lote urbano. **Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Recursos Hídricos**, Rio de Janeiro, RJ, v.13, n.1, p.129-152, 2005.

GOMES, L. A. **Aspectos qualitativos das águas pluviais urbanas**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos) – Universidade de São Paulo, USP. São Carlos, SP, 1981. 105p.

GOMES, L. A.; CHAUDRY, F. H. Aspectos qualitativos das águas pluviais urbanas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11. Fortaleza, 1981. **Anais...** ABES, 1981.

GRACIOSA, M. C. P. **Trincheiras de infiltração como tecnologia alternativa em drenagem urbana: modelagem experimental e numérica**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005. 232p.

GUEDES, E. E. V. **Fundamentação metodológica e primeiros estudos sobre deposição úmida em Rio Branco, Acre, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais) – Universidade Federal do Acre, UFA. Rio Branco, AC, 2007. 67 p.

GUTIERREZ et al. Problemas construtivos em um sistema vala-trincheira de infiltração. In: 14° Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2010. Porto. **Anais...** Porto: 2010.

HACH. **Procedure manual: DR/2010 spectrophotometer handbook**. USA: HACH Company, 1996-2008.

HANDIA, L. Comparative study of rainwater quality in urban Zambia. Operational Paper. **Journal of Water Supply: Research and Technology**, AQUA 54.1, p.54-64, 2005.

HAN, G.; LIU, Cong-Qiang. Strontium isotope and major ion chemistry of the rainwaters From Guiyang, Guizhou Province, China. **Science of the Total Environment** , 364, p.165-174, 2006.

HEXIS CIENTÍFICA S.A. **Operação Amostrador ISCO: 6712 F – Portátil**. Apresentado por Fábio Fontana Rogério em 25 de agosto de 2008 [PowerPoint].

HUANG, K.; ZHUANG, G.; XU, C.; WANG, Y.; TANG, A. The chemistry of the severe acidic precipitation in Shanghai, China. **Atmospheric Research** 89 (2008) 149–160.

IBEKWE, A. M.; WATT, P. M.; GRIEVE, C. M.; SHARMA, V. K.; LYONS, S. R. Multiplex fluorogenic real-time PCR for detection and quantification of *Escherichia coli* O157:H7 in dairy wastewater wetlands. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 68, n. 10, p. 4853-4862, 2002.

IGLORIA, R.; HATHORN, W. E.; YONGE, D. R. NOM and Trace Metal Attenuation During Storm-Water Infiltration. **J. Hydraulic Eng.**, v.2, n.3, p. 120, 1997.

ISCO. **6712C Compact Portable Sampler: Installation and Operation Guide**. Revision Y, March 9, 2009. Lincoln, NE, USA: Teledyne Isco, Inc., 2009. 242 p.

KARTHIKEYAN, S.; BALASUBRAMANIAN, R.; HE, J. Inter-laboratory study to improve the quality of the analysis of nutrients in rainwater chemistry. **Atmospheric Environment** 43, p. 3424-3430, 2009.

LADOUCHE, B.; LUC, A.; NATHALIE, D. Chemical and isotopic investigation of rainwater in Southern France (1996–2002): Potential use as input signal for karst functioning investigation. **Journal of Hydrology** 367 (2009) 150–164.

LEE, J. H.; BANG, K. W. Characterization of Urban Stormwater Runoff. **Water Res.** 34, p.1772, 2000.

LIMA, A. N. de; FERREIRA, R. C.; PORFÍRIO, M. A. S.; SOUZA, D. C. de; KREUTZ, C.; ARANTES, E. J.; PASSIG, F. H.; CARVALHO, K. Q. Caracterização físico-química da água de chuva para usos não potáveis no campus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18. Campo Grande, MS, 2009. **Anais...** ABRH, 2009. 20 p.

LOGANATHAN, G. V., DELLEUR, J. W.; SEGARRA, R. I. **Planning detention storage for stormwater management**. Journal of Water Resources Planning and Management. ASCE, v. 3, n. 4, 1985.

MANTOVAN, P.; PASTORE, A.; SZPYRKOWICZ, L. ZILIO-GRANDI, F. Characterization of rainwater quality from the Venice region network using multiway data analysis. **The Science of the Total Environment**, v. 164, p. 27-43, 1995.

MARCOS, L.; LEGRET, M; RAIMBAULT, G.; LE CLOIREC, P. Experimental study and modelling of zinc and lead migration in sandy soils due to stormwater infiltration. **Water Science and Technology**, v. 45, n.7, p. 57-64, 2002.

MARSALEK, J.; ROCHFORT, Q.; BROWNLEE, B.; MAYER, T.; SERVOS, M. Exploratory Study of Urban Runoff Toxicity. **Water Sci. and Tech.**, v. 39, n. 12, p. 33, 1999.

MARYLAND DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT – MDE. **Maryland Stormwater Design Manual**. Center for Watershed Protection. v. 3, 2000.

MIERZWA, E. R. **Qualidade da Água** [PowerPoint]. São Paulo: Poli-USP, 2008.

MIKKELSEN, P. S.; JACOBSEN, P.; FUJITA, S. Infiltration Practice for Control of Urban Stormwater. **J. Hydraul. Res.**, v. 34, n.6, p.827, 1997.

MIKKELSEN, P. S.; HÄFLIGER, M.; OCHS, M.; JACOBSEN, P.; TJELL, J. C.; BOLLER, M. Pollution of soil and groundwater from infiltration of highly contaminated stormwater – a Case Study. **Wat. Sci. Tech.**, v. 36, n. 8-9, pp. 325-330, 1997.

MITCHELL, G. Mapping hazard from urban non-point pollution: a screening model to support sustainable urban drainage planning. **Journ. of Environ. Man.**, v. 74, p.1-9, 2005.

MOREIRA-NORDEMANN, L. M.; GIRARD, P.; POPPI, N. NÉ. Química da precipitação atmosférica na cidade de Campo Grande – MS. **Rev. Bras. Geof.**, v.15, n.1, 1997.

MORRISEY, D.; WILLIAMSON, R. B.; VAN DAM, L.; LEE, D. J. Stormwater Contamination of Urban Estuaries. 2. Testing a Predictive Model of the Build-Up of Heavy Metals in Sediments. **Estuaries**. v. 23, p.67, 2000.

MURRAY, T. L.; KUTERDAM, C.; DORN, J.; AND RANJITHAN, S. R. Illustrative Case Studies using BASINS-STAR for Watershed Water Quality Management. **Proc. ASCE EWRI Conf.** - Bridging the Gap: Meeting the World's Water and Environmental Resources Challenges, 2001.

OLIVEIRA e SILVA, G. C.; NASPOLINI, B. F.; MELO, J. C.; DANTAS, L. de L.; LIMA, Z. M. de; SILVEIRA, A. Avaliação preliminar da qualidade microbiológica da precipitação em Cuiabá – Mato Grosso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18. Campo Grande, MS, 2009. **Anais...** ABRH, 2009. 15 p.

OLIVEIRA e SILVA, G. C.; MELO, J. C.; DANTAS, L. de L.; NASPOLINI, B. F.; BARROS, A. D. de; TOSTA, B.; CORREA, E. M.; CURVO, E. M. C.; ARIMOTO, G. S.; SILVEIRA, A. Estudo comparativo entre a qualidade físico-química da água de chuva em Cuiabá –MatoGrosso, no início e no final da precipitação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18. Campo Grande, MS, 2009. **Anais...** ABRH, 2009b. 19 p.

PEREIRA FILHO, E. R. **Tópicos em Química Analítica: Análise Multivariada de Dados Experimentais em Química** [PowerPoint]. São Carlos: DQ-UFSCar, 2010.

- PHOUNG, P. K.; SON, C. P. N.; SAUVAIN, J.-J.; TARRADELLAAS, J. Contamination by PCB's, DDT's, and Heavy Metals in Sediments of Ho Chi Minh City's Canals, Viet Nam. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 60, n. 3, p. 347, 1998.
- POSCH, P. B. **Inventário de cargas de metais a partir de fontes difusas de poluição**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, SP, 2007. 99 p.
- PRADO, A. G. S.; REZENDE, M. O. O. Anais Assoc. Brás. Quím., 48(4), 186-191, 1999.
- PRODANOFF, J. H. A. **Avaliação da poluição difusa gerada por enxurradas em meio urbano**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, 2005.
- PROSAB. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Edital 5 PROSAB – Tema 4: Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Antônio Marozzi Righetto (Coord.). 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 396p.
- RATE, A. W.; ROBERTSON, A. E.; BORG, A. T. Distribution of Heavy Metals in Near-Shore Sediments of the Swan River Estuary, Western Australia. **Water, Air, Soil Pollut.** v.124, p.155, 2000.
- RHOADS, B. L.; CAHILL, R. A. Geomorphological Assessment of Sediment Contamination in an Urban Stream System. *Applied Geochemistry*. v. 14, n. 4, p. 459, 1999.
- SÁ, S. S. de. **Caracterização geoquímica das precipitações atmosféricas do Município de Rio Grande, RS**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica) – Fundação Universidade Federal do Rio Grande, FURG. Rio Grande, RS, 2005. 91p.
- SANSALONE, J. J. Adsorptive Infiltration of Metals in Urban Drainage - Media Characteristics. **Sci. Total Environ.** v. 235, 1-3, 179, 1999.
- SAZAKLI, E. ALEXOPOULOS, A.; LEOTSINIDIS, M. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. **Water Research**, v. 41 p. 2039-2047, 2007.
- SAWYER, C. N.; McCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for environmental engineering and science**. 5th ed., McGraw-Hill, Ney York, 2003.

SCHAFFNER, J.; OSTROWSKI, M. W. Chapter 15: Combined modeling of a flume-gravel-trench system and surrounding unsaturated soils. **Best Modeling Practices for Urban Water Systems**. Vol. 10 in the Monograph Series. W. James, Ed. 239.

SHUELER, T. R. **Controlling urban runoff: A practical manual for planning and designing urban BMPs**. Department of Environmental Programs. Washington: Metropolitan Water Resources Planning Board, 1987.

SCHWAB, G. O., FREVERT, R. K., EDMINSTER, T. W., BARNES, K. K. **Soil and water conservation engineering**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1966. 683p.

SENA, M. M.; POPPI, R. J. **Introdução à Quimiometria: como explorar grandes conjuntos de dados químicos** [PowerPoint]. São Carlos: DQ-UFMG; IQ-UNICAMP, 2010.

SHIMAMURA, T.; IWASHITA, M.; IJIMA, S.; SHINTANI, M.; TAKAKU, Y. Major to ultra trace elements in rainfall collected in suburban Tokyo. **Atmospheric Environment**, v. 41, p. 6999-7010, 2007.

SILVA, A. E. da; ROCHA, R. P. da; FORNARO, A. **Estudo preliminar da influência da meteorologia na composição química de águas de chuva urbana**. s/d.

SONG, F.; GAO, Y. Chemical characteristics of precipitation at metropolitan Newark in the US East Coast. **Atmospheric Environment** 43 (2009) 4903–4913.

SOUZA, V. C. B.; GOLDENFUM, J. A. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial**. Tese (Doutorado em Hidráulica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Porto Alegre, RS, 2002.

SPANOS, Th.; SIMEONOV, V.; ANDREEV, G. Environmetric modeling of emission sources for dry and wet precipitation from an urban area. **Talanta** 58 (2002) 367–375.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA/EPA. **Combined Sewer Overflows Guidance for Monitoring e Modeling**. Office of Wastewater Management. Washington, DC: January, 1999.

_____. **Storm Water Technology Fact Sheet: Vegetated Swales**. Office of Water Wahington, D.C., 832-F-99-006, September 1999. 7pp.

_____. **Manual guidelines for water reuse – EPA/625/R-04/108**. Washington, DC: EPA, September 2004.

URBONAS, B; STAHR, D. **Stormwater: best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management.** Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993.

VÁSQUEZ, A.; COSTOYA, M.; PEÑA, R. M.; GARCÍA, S.; HERRERO, C. A Rainwater quality monitoring network: a preliminary study of the composition of rainwater in Galicia (NW Spain). **Chemosphere** 51 (2003) 375–386.

VIEIRA, P. C.; SEIDL, M.; NASCIMENTO, N.; SPERLING, M. V. Avaliação de Fluxo de Poluentes em Tempo Seco e Durante Eventos de Chuva em uma Microbacia Urbanizada no Município de Belo Horizonte. In: Antônio Marozzi Righetto. (Org.). **Edital 5 Prosab Manejo de Águas Pluviais Urbanas.** 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009, p. 347-367.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelines for drinking-water quality,** 3th ed. Geneva, Switzerland, WHO, 2006.

WINGINGTON, P. J.; RANDALL, C. W.; GRIZZARD T. J. **Accumulation of selected trace metals in soil of urban runoff detention basin.** Water Resources Bulletin, 1983.

ZHAO, J. Q.; YU, Y.; YUAN, W. N. Water Quality of Storm Runoff from an Urban Highway. **Proc. the Eighth International Conference on Urban Storm Drainage.** August 30 – September 3, 1999, Sydney, Australia. Edited by IB Joliffe and JE Ball. The Institution of Engineers Australia, The International Association for Hydraulic Research, and The International Association on Water Quality, 1570.

APÊNDICE A

A.1. PROJETO DO SISTEMA F-V-T

A.1.1. Dimensionamento

A.1.1.1. Coeficiente de permeabilidade do solo

O coeficiente de permeabilidade do solo foi calculado pelo método utilizado na Grã-Bretanha, denominado capacidade de absorção (q_{as}), estimada pelo tempo de injeção de água de modo que o seu nível no poço perfurado passe de 75% para 25% da profundidade real do ensaio, conforme equação A.1, (PRATT *et al.*, 1992, *apud* BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005):

$$q_{as} = \frac{S_{75-25}}{a_{50} \times t_{75-25}} \quad \text{Equação (A.1)}$$

Onde:

q_{as} = capacidade de absorção (m/s)

S_{75-25} = volume de água compreendido entre 25% e 75% da altura de ensaio;

a_{50} = superfície interna do furo até 50% da altura do ensaio e considerando o fundo;

t_{75-25} = tempo que o nível de água passa de 75% para 25% da altura do ensaio.

Apresentam-se nas figuras A.1 e A.2 registros fotográficos da coleta de amostra de solo e ensaio de infiltração, respectivamente.



Figura A.1. Extração de amostra de solo (área da vala) para análises físicas laboratoriais durante a construção do sistema de infiltração.



Figura A.2. Infiltrômetro de duplo-anel utilizado no ensaio de infiltração.

A.1.1.2. Intensidade e altura precipitada

Para o cálculo das intensidades de chuvas e das alturas precipitadas foi utilizada a equação de chuva da cidade de São Carlos, desenvolvida por Barbassa (1991), apresentada na equação A.2. A curva de precipitação foi traçada variando-se a duração de chuva. O período de retorno adotado é de 10 anos.

$$i = \frac{28,03 \times Tr^{0,199}}{(t + 16)^{0,936}} \quad \text{Equação (A.2)}$$

Onde:

i = intensidade de precipitação (mm/min)

Tr = período de retorno (10 anos)

t = duração da precipitação (variando de 10 a 360 minutos)

A.1.1.3. Vazão de infiltração

O produto do coeficiente de permeabilidade pela área de infiltração permite determinar a vazão de infiltração da estrutura. Alguns países adotam o coeficiente de redução de permeabilidade como estimativa do efeito da colmatação nas trincheiras, principalmente quando não há manutenção do sistema de drenagem ao longo do tempo.

Neste trabalho, adotou-se o fator de segurança conforme o método proposto por Azzout *et al.* (1994 *apud* BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005, p.182), considerando que as águas pluviais não são limpas, não existem dispositivos de depuração e a manutenção é periódica, em que considera metade da área da superfície das paredes como superfície de infiltração, ou seja, $2(L \times 0,5p)$, onde L é o comprimento e p a profundidade da trincheira. Portanto, para calcular a vazão da infiltração utiliza-se a equação A.3:

$$Q = A_{inf} \times K \quad \text{Equação (A.3)}$$

Onde:

Q = vazão de infiltração (m^3/s)

A_{inf} = área da superfície de infiltração (m^2)

K = coeficiente de permeabilidade (m/s)

A vazão de infiltração constante Q para os diferentes valores de K pode ser expressa em altura específica de infiltração h_{inf} , através da relação Q/Ad , sendo Ad a área de drenagem, neste caso:

- Área construída do prédio da Medicina = 1701,3 m²
- Área de entorno gramada = 2230 m²

A.1.1.4. Volumes a armazenar no sistema de infiltração

A obtenção dos volumes máximos de armazenamento das águas pluviais, provenientes da área do edifício da Medicina e área gramada no entorno, na vala conjugada à trincheira de infiltração foram obtidos pelo Método da Curva Envelope (*Rain-Envelope Method*). O método baseia-se na determinação dos volumes (a armazenar) acumulados da entrada e saída do dispositivo de infiltração, a partir do cálculo da diferença obtida entre a entrada e saída, considerando a porosidade de 47% do material de preenchimento usado – brita nº 3.

A lâmina de água máxima a ser armazenada pela trincheira de infiltração é obtida pela máxima diferença entre a altura precipitada e a altura infiltrada. Essa altura pode ser convertida em volume quando multiplicada pela área de drenagem. Desta forma o volume da trincheira pode ser expresso pela equação A.4:

$$V = n \times l \times L \times p \quad \text{Equação (A.4)}$$

Onde:

V = volume de armazenamento da trincheira (m³)

l = largura da trincheira (m)

p = profundidade da trincheira (m)

L = comprimento da trincheira (m)

n = porosidade do material de preenchimento (0,47 ou 47%) de acordo com resultado de ensaio de porosidade da brita

As dimensões adotadas para o sistema de infiltração foram:

Filtro: 4,30 m de largura e 43,50 m de comprimento.

Vala de infiltração: 8 m de largura, 0,45 m de profundidade, com taludes de 12,5% de inclinação e 4 m de extensão, 43,50 m de comprimento, resultando um volume de

armazenamento de 75,15 m³ (calculado em função da geometria da vala, pois são 4 metros de cada lado mais 0,8 m no meio da largura da trincheira).

Trincheira de infiltração: 0,80 m de largura, 1,30 m de profundidade e 40 m de comprimento, comportando um volume útil de 19,55 m³ (considerando porosidade da brita de 47%).

A.1.1.5. Tempo de esvaziamento da trincheira de infiltração

O cálculo do tempo de esvaziamento da estrutura é feito através da relação do volume máximo a armazenar, expresso em mm, pela vazão de infiltração, expressa em mm/h. O tempo de esvaziamento depende do K e para este caso em específico, do comprimento da trincheira de infiltração. De acordo com Baptista, Nascimento e Barraud (2005), o tempo de esvaziamento não deve ultrapassar 24 horas. Já, segundo Lowndes (2000), o tempo de esvaziamento nas trincheiras pode ocorrer entre 48 e 72 horas.

Desta forma o tempo de esvaziamento da trincheira foi calculado pela equação A.5:

$$T_e = \frac{h_{\max}}{q_s} \quad \text{Equação (A.5)}$$

Onde:

t_e = tempo de esvaziamento (h)

h_{\max} = altura máxima a armazenar (mm)

q_s = vazão específica (mm/min)

O volume máximo a armazenar calculado foi obtido em 8 horas, o que resultou em um tempo de esvaziamento de aproximadamente 71 horas.

APÊNDICE B

B.1. CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO DO SISTEMA FILTRO-VALA-TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO

Iniciou-se em prazo definido no cronograma a construção do sistema filtro-vala-trincheira de infiltração, ressaltando que foram realizados testes iniciais de funcionamento e, em conjunto, a manutenção do sistema.

A construção do sistema foi executada três vezes, sendo duas vezes no ano de 2008 e uma vez no ano de 2009, devido a erros cometidos pela empresa executora, vencedora da licitação do edital comunicado pelo EDF.

A autora, pesquisadora dos aspectos qualitativos, e o colega do grupo de pesquisa, pesquisador dos aspectos quantitativos, acompanharam o terceiro período de execução do sistema, de 09 de março a 12 de maio de 2009. A manutenção do sistema foi contínua e condicionada ao monitoramento.

Descrevem-se, em paralelo, as etapas de construção e manutenção, representadas por registros fotográficos do grupo de pesquisa G-HIDRO.

B.1.1. Instalação da canaleta que conecta o sistema de coleta predial do DMed ao sistema F-V-T, instalação das tampas de concreto da canaleta (figura B.1) e substituição por tampas de metal, como medida de manutenção (figura B.2), para facilitar o acesso dos pesquisadores durante o período de monitoramento.



Figura B.1. Canaleta com tampas de concreto instaladas no período de construção.



Figura B.2. Canaleta com tampas de metal durante o funcionamento do sistema.

B.1.2. Construção do abrigo dos equipamentos abaixo do nível do terreno e mudança de local do abrigo para um tambor acima do nível do terreno

O abrigo construído para abrigar os equipamentos medidor de vazão (pesquisa quantitativa) e amostrador sequencial (pesquisa qualitativa) foi inundado em quatro ocasiões de eventos intensos: primeira vez em 12/01/2011, segunda vez em 18/01/2011 (figuras B.3 e B.4), terceira vez em 21/02/2011 e quarta vez em 27/02/2011. As causas foram a deficiência da capacidade do conduto do distribuidor *manifold* (etapa 3, Figura 3).



Figura B.3. Abrigo durante evento intenso de chuva.



Figura B.4. Extravazão do abrigo após evento intenso em 18/01/2011.

Nos dias 12/01 e 18/01 não houve amostragem por nível porque o atuador de nível só chegou aos primeiros dias de fevereiro de 2011. Em janeiro, a autora estava testando amostrar em função da vazão. Após a segunda vez, elevou-se a parede que conecta o canal ao abrigo, em razão do nível d'água ter atingido uma altura de mais de 0,76 m no canal. Na terceira vez, em 21/02, perdeu-se a amostragem porque o abrigo ficou inundado e o amostrador 6712C virou no próprio abrigo. Após isto, o grupo de pesquisa instalou um tambor no dia 23/02, razão pela não perdeu-se a amostragem da quarta vez que inundou o abrigo, em 27/02, além do que o amostrador 6712C havia amostrado no dia anterior (26/02).

B.1.3. Instalação do vertedor

A autora não tem registro fotográfico da instalação do vertedor triangular no canal, o qual também foi reinstalado (figura B.5) por ter sido posicionado indevidamente.



Figura B.5. Vertedor triangular reinstalado no canal retangular.

B.1.4. Instalação da canaleta de distribuição de água pluvial (*manifold*)

A autora não tem registro fotográfico da instalação do canal diafragma, pois esta etapa foi executada pela empresa antes da autora entrar no Mestrado. Os registros que o grupo de pesquisa tem são de 04/05/2009, logo após a finalização da construção do sistema, conforme figura B.6, onde nota-se grande quantidade de finos na superfície do canal, detectado como um problema construtivo ao preencher o canal com brita já suja. Outro registro, em 21/01/2010, conforme figura B.7, observou-se acúmulo de água no canal, durante período chuvoso.



Figura B.6. Canal diafragma (*manifold*), com brita suja e acúmulo de sedimentos, logo após a construção do sistema.



Figura B.7. Canal diafragma durante funcionamento do sistema em período chuvoso de 2010.

Após o período chuvoso do ano de 2010, executou-se a manutenção no canal diafragma pelo grupo de pesquisa, seguindo-se as etapas descritas abaixo:

- 1º) retirou-se toda a brita do canal diafragma, por carrinho de pedreiro, e encaminhou-se para uma área adjacente ao sistema de infiltração e ao prédio;
- 2º) desconectou-se o tubo perfurado do canal diafragma com a canaleta que conecta o prédio ao sistema F-V-T, retirou-se o tubo, lavou-se com mangueira e esponja e descartaram-se os resíduos encontrados no tubo (figura B.8);
- 4º) executou-se lavagem e limpeza da canaleta que conecta o prédio ao diafragma;
- 5º) executou-se lavagem e limpeza da brita, durante 5 dias, utilizando-se jato de água, mangueira, pá, rastelo e cama de arame (fabricada pelo G-Hidro);
- 6º) colocação de uma lona permeável toda a extensão do canal diafragma;
- 7º) posicionamento do tubo perfurado no canal diafragma e perfuração de mais furos na região lateral em toda a extensão do tubo;
- 8º) recolocação da brita limpa no canal diafragma, por carrinho de pedreiro;
- 9º) espalhamento da brita em toda a extensão do canal diafragma;
- 10º) colocação de limitador de grama no canal (figura B.9).



Figura B.8. Resíduos encontrados dentro do tubo diafragma.



Figura B.9. Canal diafragma (manifold), após medida de manutenção.

B.1.5. Escavação da vala e da trincheira de infiltração

A escavação da vala e da trincheira de infiltração foi executada mecanicamente por retroescavadeira. Esta etapa foi registrada no dia 09/03/2009 pelo G-Hidro, conforme figuras B.10 e B.11.



Figura B.10. Abertura da área da trincheira.



Figura B.11. Interior da trincheira escavada.

B.1.6 Revestimento interno da área da trincheira com geotêxtil

O revestimento foi iniciado no dia 04/03/2009 (figuras 5.19 e 5.20) e concluído no dia 09/03/2009 (figuras 5.21 e 5.22). Utilizou-se geotêxtil não-tecido de gramatura 300 m²/g.



Figura B.12. Detalhe da colocação do geotêxtil na extremidade da trincheira.



Figura B.13. Colocação do geotêxtil na extremidade da trincheira.



Figura B.14. Detalhe da colocação do geotêxtil na extensão da trincheira.



Figura B.15. Colocação do geotêxtil na extensão da trincheira.

B.1.7. Preenchimento da trincheira com brita

A colocação da camada de brita (1,15 m) foi executada por trator com escavadeira (B.16 e B.17), sendo iniciada no dia 09/03/2009.



Figura B.16. Colocação da brita por trator com escavadeira.



Figura B.17. Colocação da brita por trator com escavadeira.

B.1.8. Instalação e adaptação dos poços de monitoramento qualitativo e quantitativo

Foram instalados dois poços de monitoramento em dois tubos de PVC na área da trincheira de infiltração: um para monitoramento da qualidade da água do escoamento superficial direto na saída da trincheira de infiltração (\varnothing 200 mm) e

outro para monitoramento da quantidade do ESD (\varnothing 150 mm), dispostos 10,37 m de distância um do outro. A seguir, relatam-se as instalações de ambos os poços, bem como as considerações escolhidas para a amostragem qualitativa.

- Instalação do poço de monitoramento qualitativo de coleta de amostra de água, 30 cm abaixo do fundo da trincheira

Estava previsto nas especificações técnicas do projeto “Dispositivo de Controle Local Experimental para Drenagem - Edifício Medicina Campus São Carlos”, conforme desenho técnico (figura B.18) e item 5.8 (Tubo de PVC perfurado – \varnothing 200 mm - Poço de coleta) do Edital de Especificações Técnicas (EDF, 2008):

“Deverá ser instalado, conforme indicado no projeto executivo, folha 01/02, detalhe 4, um tubo de PVC branco, série leve, com diâmetro de \varnothing 200 mm e comprimento de 225 cm. Junto ao fundo da trincheira deverá ser escavado um poço, com dimensões conforme projeto executivo, para a instalação do tubo do poço de coleta. Posteriormente, o poço deverá receber manta geotêxtil, gramatura 300 g/m². Além de cobrir toda área do poço a manta deverá ser estendida no fundo da trincheira, junto ao poço, por mais 70 cm, conforme projeto executivo. Em seguida, o tubo deverá ser inserido junto ao poço e o espaço vazio deverá ser preenchido com brita nº 3. A brita e o tubo deverão ser cobertos com manta geotêxtil, gramatura 300g/m². Junto ao tubo a manta geotêxtil deverá ser vedada com fita adesiva plástica, resistente à ação da água, conforme projeto executivo, para evitar a percolação de água junto ao tubo. A extremidade inferior do tubo deverá ser perfurada manualmente com furos de \varnothing 1/2”. O mesmo procedimento de vedação junto ao tubo, com o uso de manta geotêxtil e fita adesiva plástica, deverá ser feito junto à camada de areia, conforme projeto executivo, folha 01/02, detalhe 4.” (EDF, 2008, p. 5)

O grupo de G-Hidro não acompanhou esta etapa porque a empresa não comunicou ao grupo que iria realizar a instalação no dia 05/03/2009.

A empresa de engenharia, executora do projeto, não instalou o poço de monitoramento qualitativo adequadamente, deixando de inserir o geotêxtil na parte inferior do quadrado delimitado para a instalação deste tubo, antes do preenchimento com brita, conforme figuras B.19 e B.20, o que inviabilizou realizar as análises qualitativas neste poço, em razão da coleta se dar na saída da trincheira de infiltração, ou seja, após passagem pelo geotêxtil do fundo da estrutura.

Após a escavação do quadrado, a próxima etapa deveria ser a inserção de geotêxtil, com sobreposição de 70 cm nas laterais, conforme especificação do projeto, e não o preenchimento do quadrado com brita, conforme executado.

Este erro só foi percebido pela autora quando ela estava planejando a amostragem e decidiu confirmar em campo a situação do poço qualitativo. Detectou-se grande quantidade de terra e decidiu-se investigar as etapas de instalação. A autora e o colega entraram em contato com o engenheiro responsável para requerer os registros fotográficos do dia da instalação (05/03/2009). Como havia passado vários meses desde a instalação, só foi possível conseguir os registros fotográficos do celular do engenheiro, mostrados pelas figuras B.21 a B.28, após muita insistência no dia 21/10/2009.



Figura B.21. Perfurações manuais com furos de \varnothing 1/2" nos 10 cm inferiores do tubo.



Figura B.22. Posicionamento do tubo de PVC de \varnothing 200 mm e 225 cm de comprimento no quadrado delimitado.



Figura B.23. Término de preenchimento do quadrado com brita.



Figura B.24. Início do fechamento do quadrado com geotêxtil.



Figura B.25. Medição da extensão do geotêxtil (70 cm) do fundo da trincheira ao tubo de PVC.



Figura B.26. Fixação do geotêxtil no tubo de PVC com fita adesiva plástica.



Figura B.27. Detalhe da vedação com fita adesiva.



Figura B.28. Retomada do preenchimento com brita na área da trincheira.

Diante do erro detectado na instalação do tubo de amostragem qualitativa, decidiu-se adaptar o tubo quantitativo como objeto de estudo de ambas as pesquisas: quantitativa e qualitativa, conforme figuras do próximo item.

- Instalação do poço de monitoramento quantitativo da vazão e nível de água na mesma altura da trincheira

Estava previsto nas especificações técnicas do projeto “Dispositivo de Controle Local Experimental para Drenagem - Edifício Medicina Campus São Carlos”, conforme desenho técnico (figura B.29) e item 5.36 (Tubo de PVC perfurado – Ø 150 mm - Poço de inspeção) do Edital de Especificações Técnicas (EDF, 2008):

“Deverá ser instalado, conforme indicado no projeto executivo, um tubo de PVC branco, série normal, com diâmetro de \varnothing 150 mm e comprimento de 225 cm. Junto ao fundo da trincheira deverá ser escavado um poço, com dimensões conforme projeto executivo, para a instalação do tubo do poço de inspeção. Posteriormente, o poço deverá receber manta geotêxtil, gramatura 300 g/m². Além de cobrir toda área do poço a manta deverá ser estendida no fundo da trincheira, junto ao poço, por mais 70 cm, conforme projeto executivo. Em seguida, o tubo deverá ser inserido junto ao poço. O tubo deverá ser perfurado manualmente com furos aleatórios de \varnothing 1/2”. Na camada de areia junto ao tubo deverá ser executado o mesmo procedimento de vedação realizado junto ao tubo do poço de coleta, com o uso de manta geotêxtil e fita adesiva plástica, conforme projeto executivo, folha 01/02, detalhe 5. (EDF, 2008, p. 5)

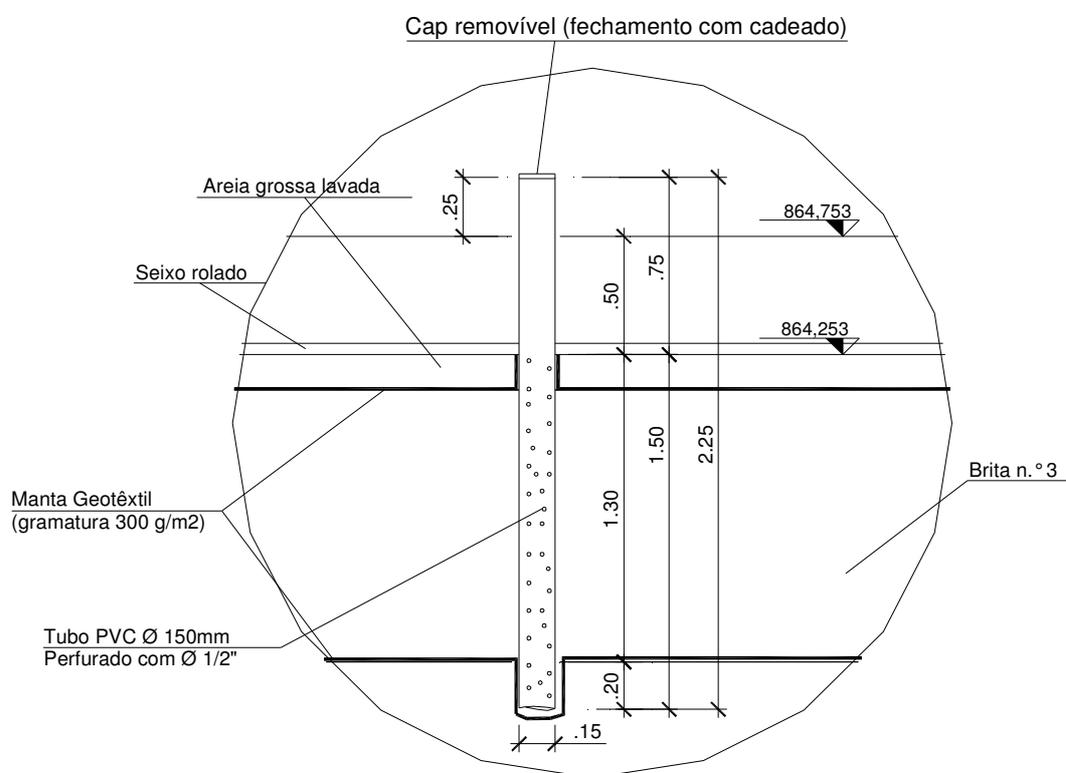


Figura B.29. Detalhe do poço de inspeção projetado (sem escala).

A instalação do poço de monitoramento quantitativo ocorreu no dia 09/03/2009 e foi acompanhada e registrada pelo G-Hidro, conforme figura B.30. Depois da confirmação da instalação inadequada do poço qualitativo, adaptaram-se, em campo, a altura e o raio do tubo de PVC, com o corte do tubo de 150 mm a 10 cm acima do nível da trincheira, a instalação de uma bolsa e a conexão desta com 50 cm de um tubo de 100 mm, conforme figura B.31, para facilitar a amostragem qualitativa.



Figura B.30. Instalação do poço de monitoramento quantitativo.



Figura B.31. Poço de monitoramento quali-quantitativo após adaptação da altura.

B.1.9. Espalhamento manual da brita

O espalhamento manual da brita ocorreu no dia 09/03/2009 e foi acompanhada e registrada pelo G-Hidro, conforme figura B.32.



Figura B.32. Espalhamento manual da brita.

B.1.10. Encapsulamento da trincheira com geotêxtil e colocação da lona

O encapsulamento da trincheira com geotêxtil e colocação da lona ocorreu logo após o preenchimento com brita, no dia 09/03/2009, e manteve-se assim até 08/04/2009, aguardando-se um período sem chuva para continuar a execução da próxima etapa (escarificação do solo e plantio de grama), devido à construção ter ocorrido em período chuvoso. Esta etapa foi acompanhada e registrada pelo G-Hidro, conforme figura B.33.



Figura B.33. Locação de madeira para proteção superficial.

B.1.11. Plantio de grama

O plantio de grama tipo batatais, iniciado no dia 09/04/2009 (figura B.36) e concluído no dia 15/04/2009 (figura B.37), foi executado após a conferência do nível (figura B.34) ocorrida no dia 07/04/2009, e a escarificação do solo (figura B.35) ocorrida no dia 08/04/2009. O limitador de grama foi instalado ao pé do talude.



Figura B.34. Conferência do nível com estacas.



Figura B.35. Escarificação do solo.



Figura B.36. Início do plantio de grama em placas.



Figura B.37. Término do plantio de grama em placas.

B.1.12. Preenchimento da camada de areia e seixo rolado na trincheira

O preenchimento das camadas de areia grossa lavada (10 cm) e seixo rolado (5 cm) foi executado no dia 08/05/2009, conforme figuras B.38 e B.39, respectivamente. Esta etapa foi concluída no mesmo dia, conforme figura B.40.



Figura B.38. Preenchimento da trincheira com areia.



Figura B.39. Preenchimento da trincheira com seixo rolado.



Figura B.40. Vista do preenchimento finalizado da camada de seixo rolado.

B.1.13. Manutenção do corte e da irrigação da grama

Cuidou-se para que a grama do sistema de infiltração estivesse sempre em condições de baixa altura e sob constante irrigação, conforme figura B.41. O corte da grama foi feito pelos jardineiros da UFSCar. A irrigação durante o período de estiagem foi realizada pela autora e pelo colega do grupo de pesquisa.



Figura B.41. Grama cortada e irrigada.

APÊNDICE C

C.1. INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E MATERIAIS DE COLETA

C.1.1. Instalação do *Wet only* (MTX, Italy)

O local escolhido para a instalação do equipamento foi o telhado de uma casa de força (8,80 m x 6,00 m), localizada em frente ao prédio do DMed e ao sistema de infiltração. Adotou-se como primeira medida segurança e acesso a substituição da escada de madeira por uma de alumínio, conforme figura C.2.

O equipamento foi instalado pelo grupo de pesquisa após a conclusão das seguintes etapas: (i) manutenção eletrônica do equipamento no Laboratório de Engenharia Elétrica da UFSCar; (ii) ligar energia elétrica na casa de força e instalar tomada no telhado pelos técnicos em elétrica da prefeitura do campus da UFSCar; (iii) instalar um tablado de madeira, no Laboratório de Hidráulica da UFSCar, para fixar o equipamento em uma das extremidades do telhado de zinco da casa de força (figura C.1).



Figura C.1. Instalação do tablado de madeira com furadeira.



Figura C.2. Substituição da escada de madeira pela escada de alumínio.

Apresentam-se nas figuras C.3 a C.6 os detalhes das etapas de instalação do conjunto do equipamento e dos materiais de amostragem *in loco*.

C.1.2. Conexão, programação, funcionamento e instalação do *Sampler 6712c* (ISCO, EUA)

Os testes iniciais de conexão e funcionamento foram realizados no Laboratório de Hidráulica da UFSCar.

Investigou-se, primeiramente, a possibilidade de conexão do amostrador sequencial (*Portable Sampler*, marca ISCO, série 6712) com os medidores de vazão (*Area Velocity Flow Module and Sensor*, marca ISCO, série 2150 e 4200) para amostrar em função da vazão. Esta conexão não funcionou em razão: (i) da incapacidade dos equipamentos 2150 e 4250 de medirem vazão; (ii) do dimensionamento de pulsos em função das condições de amostragem (frascos de coleta de 500 mL) e vazão que passa no canal, o que resultou no dimensionamento de menos 1 pulso.

Após isto, foi necessária a compra de outro cabo – atuador de nível (*Liquid Level Actuator*, marca ISCO, série 1640) – para amostrar em função do nível que passa no canal. Este processo durou de dezembro de 2010 a fevereiro de 2011. Por isso, a amostragem somente começou no início de fevereiro de 2011.

Substituiu-se o local de instalação do abrigo do equipamento em concreto, situado abaixo do terreno, para um tambor acima do terreno, conforme figuras C.7 e C.8.



Imagem externa do tambor



Entrada da peça no tambor



Dimensão da peça



Imagem interna do tambor



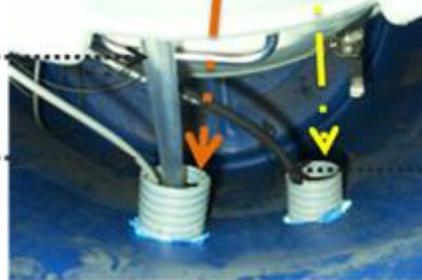
Saída da peça no tambor

Figura C.7. Detalhes da instalação do amostrador dentro do tambor.



Mangueira de vinil

Cabo atuador de nível



Cabo de conexão amostrador-bateria

Detalhe da passagem dos cabos nos dois eletrodutos

Figura C.8. Detalhes da conexão do tambor com o canal para passagem dos cabos de conexão do amostrador através de eletrodutos.

A seguir, na figura C.9, apresentam-se detalhes das conexões do amostrador 6712C para funcionamento em função do nível.



Connecting Teledyne Isco Instruments to the Sampler

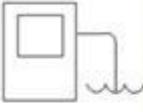
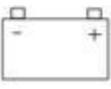
Connector Icon	Pin Location Diagram	Pin Function	Connect These Instruments:
 <p>Flow Meter</p>	<p>6-PIN MALE, SEALED</p> 	<p>A +12 volts DC B Ground C Flow Pulses In D Bottle Number Out Dual Sampler Out E Event Mark Out F Inhibit In</p>	 <p>1640 Liquid Level Actuator</p>
 <p>Interrogator</p>	<p>6-PIN FEMALE, SEALED</p> 	<p>A Switched +12 volts DC B Ground C Connection Sense D Transmit E Receive F NC</p>	 <p>USB Communication Cable PC running FLOWLINK</p>
 <p>Power Source</p>	<p>2-PIN MALE, SEALED</p> 	<p>A Ground B +12 volts DC</p>	 <p>12 volt power source</p>

Figura C.9. Detalhes das conexões feitas no amostrador 6712C (ISCO, USA).

Nota:

As fotos foram registradas pela autora.

Diagrama feito com base em informações de *Installation and Operation Guide* (ISCO, 2005).

A seguir, na figura C.10, apresentam-se, o display e a descrição dos comandos do amostrador 6712C (ISCO, EUA)



	Liga-Desliga	Liga ou desliga o amostrador.
	Parar	Pára a bomba ou o distribuidor. Faz uma pausa na execução do programa de amostragem. Quando estiver nas telas de programação, retorna para a tela anterior.
	Entra	Aceita uma opção de menu ou entrada de um número e vai para a próxima tela.
	Ajuda	Quando estiver nas telas de programação, exibe uma breve mensagem de ajuda.
	Seta Para a Direita ou Esquerda	Seleciona a opção de menu à direita ou abaixo da opção atual.
	Seta Para Cima ou Para baixo	Seleciona a opção de menu à esquerda ou acima da opção atual.
	Números	Digita um número.
	Ponto Decimal	Digita um ponto decimal.
	Funcionamento Reverso da Bomba	Pressionar, quando estiver no menu principal, para que a bomba funcione em modo reverso.
	Funcionamento Normal da Bomba	Pressionar, quando estiver no menu principal, para que a bomba funcione em modo normal.

Figura C.10. Descrição dos comandos do display do amostrador 6712C.
Fonte: Adaptado de Hexis (2008)

Realizou-se uma programação estendida dividida em duas partes (digitou-se 6712.2 no display do 6712C e seguiram-se as etapas apresentadas na figura C.11).

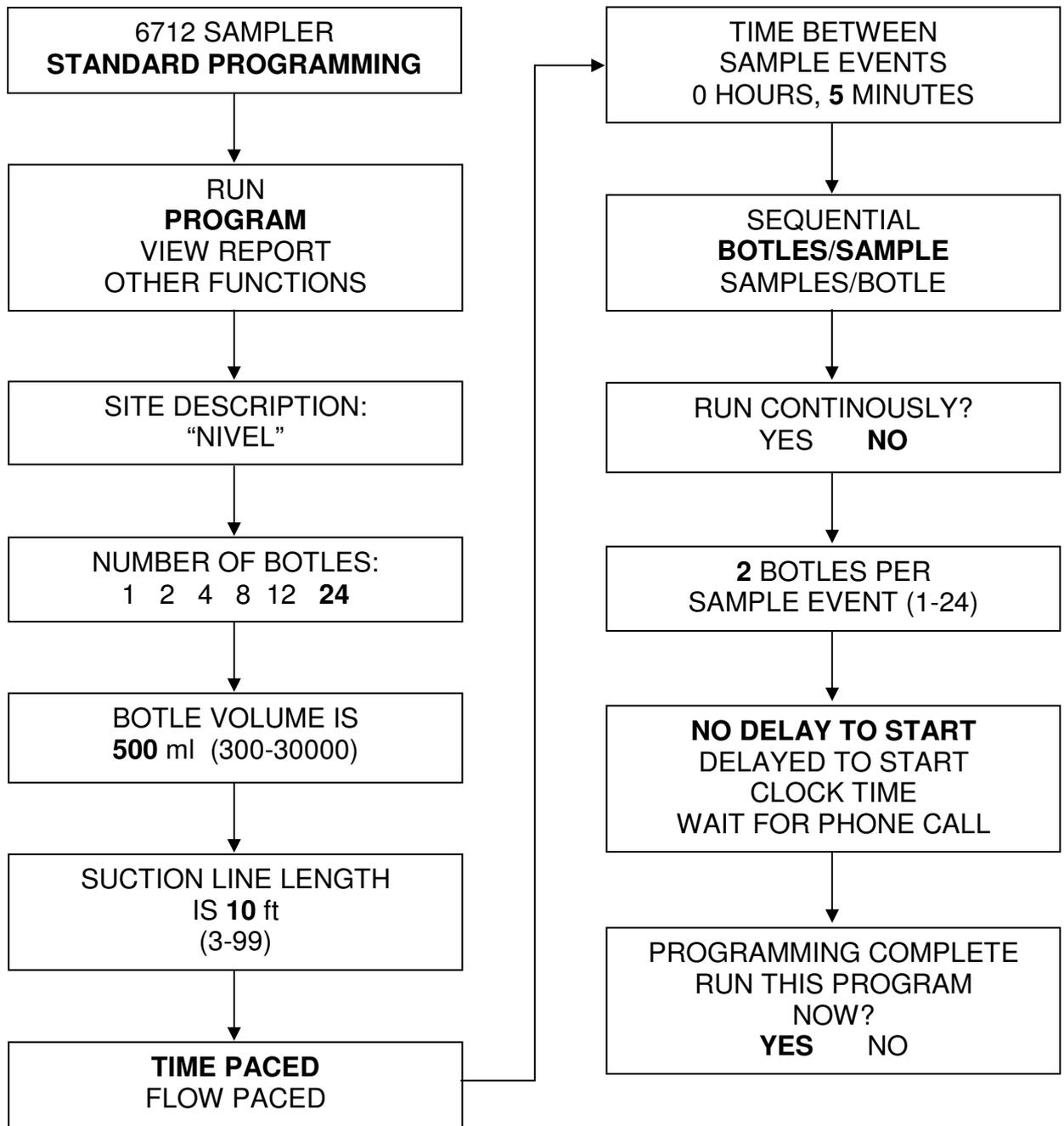


Figura C.11. Etapas da programação estendida "Parte B: amostragem por tempo".

A seguir, na figura C.12, apresenta-se o esquema das etapas de calibração do volume do amostrador 6712C realizado no Laboratório de Hidráulica.

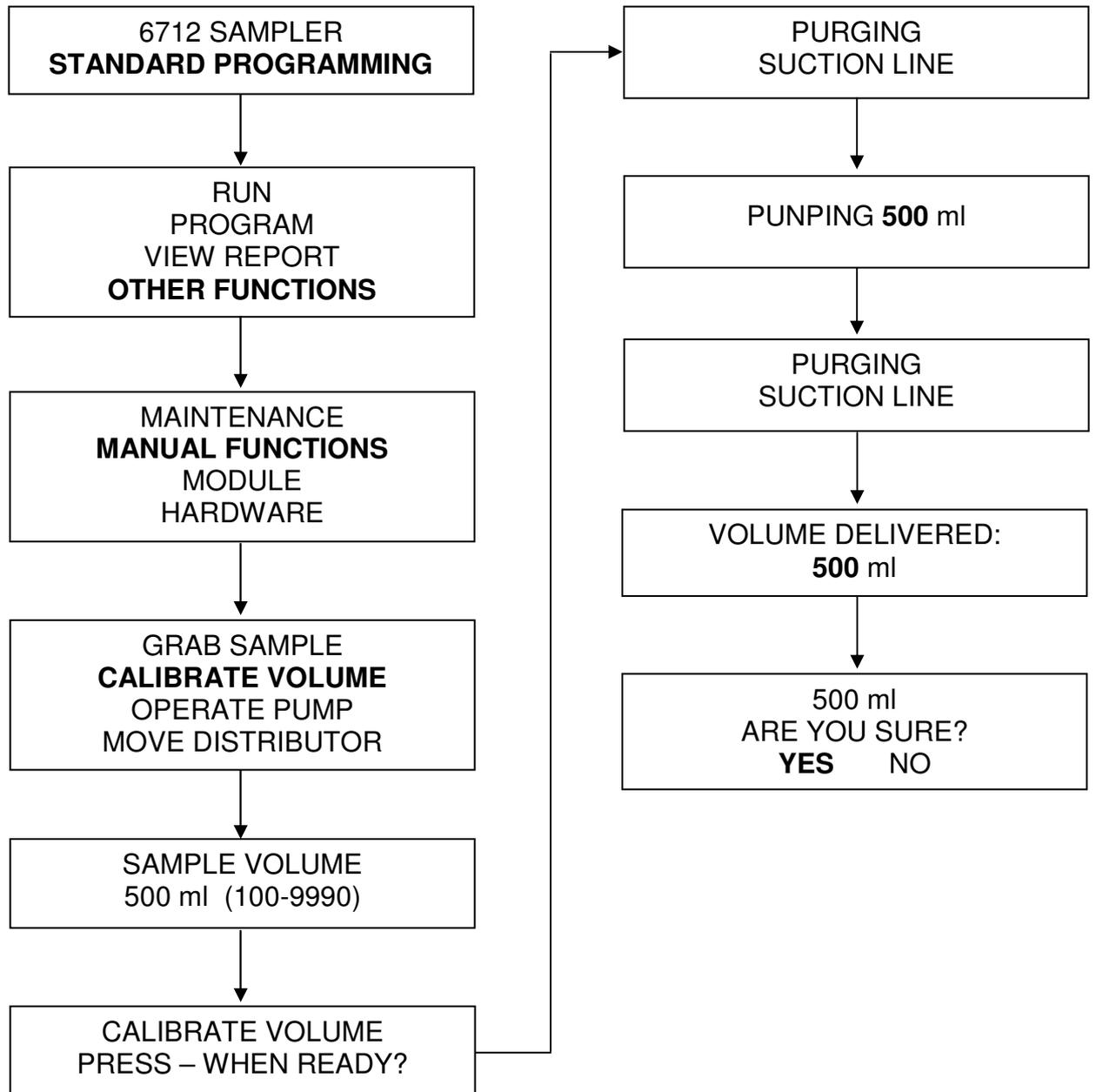


Figura C.12. Etapas da calibração do volume no amostrador 6712C.

APÊNDICE D

D.1. PROCEDIMENTOS DAS ANÁLISES FÍSICAS

D.1.1 Sólidos Totais (ST)

- Materiais de consumo necessários:
 - Cápsulas de porcelana
 - Luvas
 - Água destilada/deionizada
 - Proveta 100 mL
 - Espátula para pegar a cápsula

- Equipamentos:
 - Balança analítica (mínimo de 4 casas decimais)
 - Dessecador
 - Mufla
 - Estufa

- Procedimentos do Método 2540 B. Sólidos Totais 103° a 105°C (APHA, 2005):
 1. Calcinar a cápsula de porcelana em uma mufla a durante horas.
 2. Após este processo, retirar a cápsula calcinada da mufla com uma espátula e encaminhá-la em uma bandeja para um dessecador para esfriá-la durante, no mínimo, 2 horas.
 3. Ligar a balança analítica. Zerar. Pesar a cápsula de porcelana limpa na balança analítica.
 4. Avolumar 100 mL da amostra em uma proveta de 100 mL.
 5. Transferir este volume para a cápsula anteriormente pesada, posicionada em uma bandeja de material que suporte até 105°C.
 6. Encaminhar a bandeja com a cápsula para a estufa para secagem 103° a 105°C durante 24 horas.

D.1.2 Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

- Materiais de consumo necessários:
 - Cápsulas de porcelana
 - Luvas
 - Membranas de microfibras de vidro (47 mm, porosidade 0,45 mm)
 - Água destilada/deionizada
 - Proveta 100 mL,
 - Erlenmeyer
 - Espátula para pegar a cápsula, espátula para pegar a membrana

- Equipamentos:
 - Balança analítica (mínimo de 4 casas decimais)
 - Bomba a vácuo
 - Dessecador
 - Mufla
 - Estufa

- Procedimentos do Método 2540 C. Sólidos Totais Dissolvidos 180°C (APHA, 2005):
 7. Calcinar a cápsula de porcelana em uma mufla a durante horas.
 8. Após este processo, retirar a cápsula calcinada da mufla com uma espátula e encaminhá-la em uma bandeja para um dessecador para esfriá-la durante, no mínimo, 2 horas.
 9. Ligar a balança analítica. Zerar. Pesar a cápsula de porcelana limpa na balança analítica.
 10. Instalar o conjunto: erlenmeyer + funil + membrana de microfibras de vidro + mangueira que conecta com a bomba à vácuo.
 11. Avolumar 100 mL da amostra em uma proveta de 100 mL.
 12. Ligar a bomba a vácuo. Transferir o volume medido para o conjunto instalado. Aguardar a passagem de toda a amostra pela membrana.
 13. Desconectar a mangueira da bomba à vácuo do conjunto. Retirar a membrana com a espátula.

14. Transferir este volume para a cápsula anteriormente pesada, posicionada em uma bandeja de material que suporte 180 °C.
15. Encaminhar a bandeja com a cápsula para a estufa para secagem a 180 °C durante 24 horas.

D.2 ANÁLISES QUÍMICAS

D.2.1 Condutividade Elétrica

- Materiais de consumo necessários:
 - Soluções padrão de cloreto de potássio nas concentrações de 1,0 mmol L⁻¹
 - Água deionizada

- Equipamento:
 - Condutímetro (Digimed, Brasil)

- Procedimentos do Método 2510B. Eletrométrico (APHA, 2005):
 16. Ligar o equipamento: pressionar “Entra” e aguardar o autocontrole.
 17. Pressionar “Seleção” até indicação de “Condutividade”.
 18. Pressionar “Entra”.
 19. Pressionar “Seleção” até indicação de “Calibrar”.
 20. Pressionar “Entra”.
 21. Mergulhar o eletrodo na solução de cloreto de potássio na concentração de 1,0 mmol L⁻¹.
 22. Pressionar “Entra” e aguardar a estabilização até aparecer a indicação de “Lave o Eletrodo: Pronto?”
 23. Lavar o eletrodo com água deionizada e enxugá-lo levemente com papel absorvente.
 24. Pressionar “Entra” e aguardar a estabilização até aparecer a indicação de “Vamos à amostra?”
 25. Transferir pelo menos 10 mL de amostra em um béquer de 25 mL. Inserir o eletrodo na amostra.
 26. Pressionar “Entra” e aguardar 5 minutos de estabilização até aparecer o resultado em µS/cm.

D.2.2 Cloreto (Cl⁻)

- Materiais de consumo necessários:
 - Reagente Tiocianato de Mercúrio (HACH)
 - Reagente Íon Férrico, procedência (HACH)
 - Água deionizada

- Equipamento:
 - Espectrofotômetro DR 2100 (HACH)

- Procedimentos do Método 8113 Chloride (HACH, 2005):
 1. Ligar o equipamento: pressionar “Start”.
 2. Acionar o comando “70” e o display confirmará “Chloride”.
 3. Ajustar o comprimento de onda para 455 nm e acionar “Enter”.
 4. Transferir 25 mL de água deionizada para uma proveta de 25 mL (proveta 1).
 5. Transferir 25 mL de amostra para uma proveta de 25 mL (proveta 2).
 6. Pipetar 2,0 mL de Solução de Tiocianato de Mercúrio e 1,0 mL de Solução de Íon Férrico em cada proveta.
 7. Tampar as duas provetas e inverter várias vezes para misturar. Se o nitrito estiver presente na amostra (proveta 2), aparecerá cor laranja.
 8. Pressionar “Shift + Enter” para começar a reação de 2 minutos. Quando o tempo finalizar o display mostrará: 0,0 mg/L Cl⁻-N.
 9. Quando o tempo expirar preencher uma célula com 25 mL da proveta 1. Limpar a célula externamente com papel absorvente suave. Inserir a célula na porta do equipamento. Fechar o suporte. Este será o branco.
 10. Zerar o instrumento. O display mostrará: 0,0 mg/L Cl⁻-N.
 11. Após o cronômetro expirar, preencher outra célula com 25 mL da proveta 2. Limpar a célula por fora, tampar e inseri-la na porta do equipamento. Fechar o suporte.
 12. Pressionar “Read + Enter”. Ler o resultado em mg/L Cl⁻-N.

D.2.3 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

- Materiais de consumo necessários
 - Ultra Low Reagent (HACH)
 - Água deionizada

- Equipamento:
 - Incubadora COD (HACH)
 - Espectrofotômetro DR 2800 (HACH)

- Procedimentos do Método 8000 COD (HACH, 2008):
 1. Pipetar 2,0 mL de amostra e transferir para um cilindro de Ultra Low Reagent.
 2. Pipetar 2,0 mL de água deionizada e transferir para um cilindro de Ultra Low Reagent. Este será o branco.
 3. Tampar os dois cilindros e inverter várias vezes para homogeneizar.
 4. Ligar a incubadora e aguardar atingir temperatura de 150°.
 5. Inserir os cilindros. Começará um tempo de reação de 120 minutos (2 h).
 6. Quando o tempo expirar, retirar os cilindros e deixá-los esfriar em uma grade.
 7. Ligar o espectrofotômetro: pressionar “Start”.
 8. Acionar o comando “431” e o display confirmará “COD, Reactor Digestion”.
 9. Ajustar o comprimento de onda para 350 nm e acionar “Enter”.
 10. Zerar o instrumento. O display mostrará: 0,0 mg/L COD.
 11. Limpar o cilindro por fora, tampar e inseri-lo na porta do equipamento. Fechar o suporte.
 12. Pressionar “Read + Enter”. Ler o resultado em mg/L COD.

D.2.4 Nitrato (NO_3^-)

- Materiais de consumo necessários:
 - Reagente Nitrover 5 Nitrate Accuvac[®] Ampuls (HACH)
 - Água deionizada

- Equipamento:
 - Espectrofotômetro DR 2100 (HACH)

- Procedimentos do Método 8171 Nitrate HR (HACH, 2005):
 1. Ligar o equipamento: pressionar “Start”.
 2. Acionar o comando “361” e o display confirmará “Nitrate HR AC”.
 3. Ajustar o comprimento de onda para 507 nm e acionar “Enter”.
 4. Transferir pelo menos 40 mL de amostra em um béquer de 50 mL.
 1. Encher uma ampola de Nitrover 5 Reagent com amostra, mantendo a ponta da ampola imersa para baixo, enquanto preenche completamente.
 2. Pressionar “Shift + Enter” para começar o tempo de reação de 1 minuto.
 3. Inverter a ampola várias vezes até o equipamento emitir um sinal sonoro para o término do tempo. Limpe qualquer líquido ou impressão digital com palha de aço e papel absorvente suave.
 4. Quando o tempo expirar, iniciar o tempo novamente pressionando “Shift + Enter” e um segundo tempo de reação de 5 minutos começará.
 5. Quando o tempo expirar, preencher uma cubeta com 10 mL da amostra. Limpar o frasco com papel absorvente suave. Inserir a célula no suporte. Este será o branco.
 6. Zerar o instrumento. O display mostrará: 0,0 mg/L NO_3^- -N.
 7. Após o cronômetro expirar, limpar a ampola e inseri-la no suporte da célula.
 8. Pressionar “Read + Enter”. Ler o resultado em mg/L NO_3^- -N.

D.2.5 Nitrito (NO_2^-)

- Materiais de consumo necessário:
 - Reagente Nitriver 3 Nitrite Powder Pillows (HACH)
 - Água deionizada

- Equipamento:
 - Espectrofotômetro DR 2100 (HACH)

- Procedimentos do Método 8507 Nitrite LR (HACH, 2005):
 1. Ligar o equipamento: pressionar “Start”.
 2. Acionar o comando “371” e o display confirmará “Nitrite LR PP”.
 3. Ajustar o comprimento de onda para 507 nm e acionar “Enter”.
 4. Transferir 25 mL de amostra para uma proveta de 25 mL.
 5. Adicionar o conteúdo de um Nitriver 3 Reagent na proveta com amostra.
 6. Tampar e inverter várias vezes para misturar. Se o nitrito estiver presente na amostra, aparecerá cor rosa.
 7. Pressionar “Shift + Enter” para começar o tempo de reação de 20 minutos. Quando este finalizar o display mostrará: 0,0 mg/L NO_2^- -N.
 8. Quando o tempo expirar preencher uma célula com 25 mL da proveta (1). Este será o branco.
 9. Limpar a célula externamente com papel absorvente suave. Inserir a célula na porta do equipamento. Este será o branco.
 10. Zerar o instrumento. O display mostrará: 0,0 mg/L NO_2^- -N.
 11. Após o cronômetro expirar, limpar a célula por fora, tampar e inseri-la na porta do equipamento. Fechar o suporte.
 12. Pressionar “Read + Enter”. Ler o resultado em mg/L NO_2^- -N.

D.2.6 Nitrogênio amoniacal (NH_4^+)

- Materiais de consumo necessários:
 - Nessler Reagent (HACH)
 - Mineral Stabilizer (HACH)
 - Polyvinyl Alcohol (HACH)
 - Água deionizada

- Equipamento:
 - Espectrofotômetro DR 2100, procedência HACH.

- Procedimentos do Método 8038 Nessler (HACH, 2005):
 13. Ligar o equipamento: pressionar “Start”.
 14. Acionar o comando “380” e o display confirmará “Ammonia, Ness”.
 15. Ajustar o comprimento de onda para 425 nm e acionar “Enter”.
 16. Transferir 25 mL de água deionizada para uma proveta de 25 mL (proveta 1).
 17. Transferir 25 mL de amostra para uma proveta de 25 mL (proveta 2).
 18. Adicionar 3 gotas de *Mineral Stabilizer* e 3 gotas de *Polyvinyl Alcohol* em cada proveta.
 19. Pipetar 1,0 mL de *Nessler Reagent* em cada proveta.
 20. Tampar as duas provetas e inverter várias vezes para misturar.
 21. Pressionar “Shift + Enter” para começar a reação de 20 minutos. Quando o tempo finalizar o display mostrará: 0,0 mg/L NO_2^- -N.
 22. Quando o tempo expirar preencher uma célula com 25 mL da proveta 1. Limpar a célula externamente com papel absorvente suave. Inserir a célula na porta do equipamento. Fechar o suporte. Este será o branco.
 23. Zerar o instrumento. O display mostrará: 0,0 mg/L NH_3 -N.
 24. Após o cronômetro expirar, preencher outra célula com 25 mL da proveta 2. Limpar a célula por fora, tampar e inseri-la na porta do equipamento. Fechar o suporte.
 25. Pressionar “Read + Enter”. Ler o resultado em mg/L NH_3 -N.

D.2.7 Sulfato (SO_4^{2-})

- Materiais de consumo necessários:
 - Sulvaver 4 Accuvac Ampuls (HACH)
 - Água deionizada

- Equipamento:
 - Espectrofotômetro DR 2100 (HACH)

- Procedimentos do Método 8051 Sulfate (HACH, 2005):
 1. Ligar o equipamento: pressionar “Start”.
 2. Acionar o comando “685” e o display confirmará “Sulfate AV”.
 3. Ajustar o comprimento de onda para 450 nm e acionar “Enter”.
 4. Transferir pelo menos 40 mL de amostra em um béquer de 50 mL.
 5. Encher uma ampola de Sulvaver 4 Reagent com amostra, mantendo a ponta da ampola imersa para baixo, enquanto preenche completamente.
 6. Pressionar “Shift + Enter” para começar o tempo de reação de 5 minutos.
 7. Inverter a ampola várias vezes até o equipamento emitir um sinal sonoro para o término do tempo. Limpe qualquer líquido ou impressão digital com palha de aço e papel absorvente suave. Se houver sulfato na amostra, a cor ficará branca.
 8. Quando o tempo expirar, preencher uma cubeta com 10 mL da amostra. Limpar o frasco com papel absorvente suave. Inserir a célula no suporte. Este será o branco.
 9. Zerar o instrumento. O display mostrará: 0,0 mg/L SO_4^{2-} -N.
 10. Após o cronômetro expirar, limpar a ampola e inseri-la no suporte da célula.
 11. Pressionar “Read + Enter”. Ler o resultado em mg/L SO_4^{2-} -N.

D.2.8 Metais pesados (Cd, Cu, Pb e Zn)

A técnica escolhida para a análise de metais pesados foi espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente (ICP/MS) por ser indicada para concentrações menores do que 1 ppb ou 1 µg/L.

Alguns procedimentos de referência para o uso do equipamento são apresentados no método n° 3125 apresentado no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA e WCPF, 1999).

- Possibilidades analíticas:

Pesquisou-se os limites de detecção (LD) permitidos para os quatro elementos traço na qualidade das águas pluviais para fins potáveis – Portaria n° 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2005) – e os limites de detecção dos elementos no espectrômetro utilizado (ICP-MS), especificados no quadro D.1.

Quadro D.1. Limites de detecção para os elementos traço propostos.

Elemento	ICP/MS (µg/L - ppb) (VARIAN, 2005)	Absorção Atômica (mg/L - ppm)	Potabilidade Portaria 518 (BRASIL, 2005)	Aceitação Portaria 518 (BRASIL, 2005)
Cu	0,004**		2	-
Cd	0,003 0,0001*	0,05 – 2	0,005	-
Pb	0,005 0,005**	1 – 20	0,01	-
Zn	0,0017 0,002*	0,05 – 2	--	5

Fonte: *(PERKIN ELMER, 2009); ** método n° 3010 (APHA, AWWA, WPC, 1999)

Os limites de detecção dos analitos é função do método utilizado e do processo de tratamento da amostra. Os métodos clássicos são os que apresentam menor sensibilidade, ou seja, a faixa de detecção é da ordem de miligramas por litro (mg/L). Os métodos instrumentais são mais sensíveis e possibilitam obter resultados na faixa de microgramas ou nanogramas por litro (µg/L ou ng/L). O LOD é igual a 3 vezes o desvio padrão do Branco, dividido pela inclinação (m_4), enquanto quem o LOQ é igual a 10 x o desvio padrão do Branco (Br água + HNO₃ 0,1%), dividido pelo coeficiente angular (a) da equação da reta da curva de calibração. Fazer leitura do Br para calcular o LOD, para que o LQ < LD.

- Materiais de consumo necessários:
 - Soluções padrões dos 4 elementos (Cd, Cu, Pb e Zn), 1000 ppm, 125 mL, procedência QHEMIS HIGH PURITY, com certificado de rastreabilidade NIST-USA (National Institute of Standards and Technology) e grandezas físicas rastreáveis à RBC (Rede Brasileira de Calibração);
 - Tubos falcon de 10 e 15 mL;
 - Pipetas automáticas de volume variável;
 - Ácido nítrico concentrado e P.A.

- Equipamentos:
 - Centrífuga Labnet (Hermle Z 200A)
 - ICP-MS (Varian)

- Procedimentos da técnica analítica Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS):

1. Digestão ácida das amostras

Como o equipamento ICP-MS é sensível à presença de finos, transferiu-se 10 mL de cada amostra, já acidificada com HNO₃, para tubo falcon de 15 mL, para serem digeridas em centrífuga Labnet (Hermle Z 200A), conforme figura D.1, a 3500 rpm durante 5 min.



Figura D.1. Centrífuga utilizada na digestão das amostras.
Fonte: Registro em 31/03/2011 no Lab. GAIA – DQ/UFSCar

2. Proposição das concentrações iniciais para as curvas de calibração

Propuseram-se as concentrações iniciais dos quatro elementos traço na construção das curvas de calibração para cada elemento (ver quadro D.2).

Quadro D.2. Concentrações iniciais (em µg/L - ppb) propostas para os quatro elementos traço para a construção das curvas de calibração.

Elemento	Branco	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Cu	-	0,05	0,5	1,0	2,5	5,0	10,0	20,0	30,0	
Cd	-	0,05	0,5	1,0	2,5	5,0	10,0	20,0	30,0	
Pb	-	0,5	1,0	2,5	5,0	10,0	20,0	30,0	50,0	100,0
Zn	-	1,0	10,0	30,0	50,0	100,0	200,0	300,0	500,0	1000,0

3. Cálculo das soluções padrões

O cálculo das soluções padrões foi caracterizado pelo preparo de soluções intermediárias, em meio de ácido nítrico, utilizando-se a fórmula da diluição (equação 5). Nas tabelas D.1, D.2, D.3 e D.4 apresentam-se os cálculos para os elementos Cd, Cu, Pb e Zn, respectivamente, e na figura x uma síntese para todos os elementos.

$$C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f$$

Equação (5)

onde:

C_i : concentração original (mg/L)

V_i : volume original (mL)

C_f : concentração final (mg/L)

V_f : volume final (mL)

Tabela D.1. Soluções de trabalho para o elemento Cádmiu.

	Solução estoque de Cd		Solução intermediária	Balão
	C_i	V_i		
P₁	1,0 µg/L	2,5 mL	0,05 µg/L	50 mL
P₂	1000,0 µg/L	25,0 µL	0,5 µg/L	50 mL
P₃	1000,0 µg/L	50,0 µL	1,0 µg/L	50 mL
P₄	1000,0 µg/L	125,0 µL	2,5 µg/L	50 mL
P₅	1000,0 µg/L	250,0 µL	5,0 µg/L	50 mL
P₆	1000,0 µg/L	500,0 µL	10,0 µg/L	50 mL
P₇	1000,0 µg/L	1,0 mL	20,0 µg/L	50 mL
P₈	1000,0 µg/L	1,5 mL	30,0 µg/L	50 mL

Nota: Varredura de 0,07 a 34,5 ppb;

Material certificado de referência (água = 6,565 µg/L, diluiu-se 6x)

Tabela D.2. Soluções de trabalho para o elemento Cobre.

	Solução estoque de Cu		Solução intermediária	Balão
	C_i	V_i	$C_f = [Cu]$	V_f
P₁	1,0 µg/L	2,5 mL	0,05 µg/L	50 mL
P₂	1000,0 µg/L	25,0 µL	0,5 µg/L	50 mL
P₃	1000,0 µg/L	50,0 µL	1,0 µg/L	50 mL
P₄	1000,0 µg/L	125,0 µL	2,5 µg/L	50 mL
P₅	1000,0 µg/L	250,0 µL	5,0 µg/L	50 mL
P₆	1000,0 µg/L	500,0 µL	10,0 µg/L	50 mL
P₇	1000,0 µg/L	1,0 mL	20,0 µg/L	50 mL
P₈	1000,0 µg/L	1,5 mL	30,0 µg/L	50 mL

Nota: Varredura de 0,24 a 0 ppb; material certificado de referência (água = 22,76 µg/L)

Tabela D.3. Soluções de trabalho para o elemento Chumbo.

	Solução estoque de Pb		Solução intermediária	Balão
	C_i	V_i	$C_f = [Pb]$	V_f
P₁	1000,0 µg/L	25,0 µL	0,5 µg/L	50 mL
P₂	1000,0 µg/L	50,0 µL	1,0 µg/L	50 mL
P₃	1000,0 µg/L	125,0 µL	2,5 µg/L	50 mL
P₄	1000,0 µg/L	250,0 µL	5,0 µg/L	50 mL
P₅	1000,0 µg/L	500,0 µL	10,0 µg/L	50 mL
P₆	1000,0 µg/L	1,0 mL	20,0 µg/L	50 mL
P₇	1000,0 µg/L	1,5 mL	30,0 µg/L	50 mL
P₈	1000,0 µg/L	2,5 mL	50,0 µg/L	50 mL
P₉	1000,0 µg/L	5,0 mL	100,0 µg/L	50 mL

Nota: Varredura de 7,69 a 34,0 ppb.

Material certificado de referência (água = 19,63 µg/L)

Tabela D.4. Soluções de trabalho para o elemento Zinco.

	Solução estoque de Zn		Solução intermediária	Balão
	C_i	V_i	$C_f = [Zn]$	V_f
P₁	1000,0 µg/L (ppb)	50,0 µL	1,0 µg/L	50 mL
P₂	1000,0 µg/L (ppb)	500,0 µL	10,0 µg/L	50 mL
P₃	1000,0 µg/L (ppb)	1,5 mL	30,0 µg/L	50 mL
P₄	1000,0 µg/L (ppb)	2,5 mL	50,0 µg/L	50 mL
P₅	1000,0 µg/L (ppb)	5,0 mL	100,0 µg/L	50 mL
P₆	1000,0 µg/L (ppb)	10,0 mL	200,0 µg/L	50 mL
P₇	1000,0 µg/L (ppb)	15,0 mL	300,0 µg/L	50 mL
P₈	1000,0 mg/L (ppm)	25,0 µL	500,0 µg/L	50 mL
P₉	1000,0 mg/L (ppm)	50,0 µL	1000,0 µg/L	50 mL

Nota: Varredura de 25,0 a 1700 ppb.

Material certificado de referência (água = µg/L)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
[0,05 µg/L] Cd; Cu	[0,5 µg/L] Cd; Cu	[1,0 µg/L] Cd; Cu	[2,5 µg/L] Cd; Cu	[5,0 µg/L] Cd; Cu	[10,0 µg/L] Cd; Cu	[20,0 µg/L] Cd; Cu	[30,0 µg/L] Cd; Cu	
$C_1 = 1 \text{ ppb}$ $V_1 = 2,5 \text{ mL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 25 \text{ µL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 50 \text{ µL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 125 \text{ µL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 250 \text{ µL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 500 \text{ µL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 1,0 \text{ mL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 1,5 \text{ mL}$	
[0,5 µg/L] Pb	[1,0 µg/L] Pb	[2,5 µg/L] Pb	[5,0 µg/L] Pb	[10,0 µg/L] Pb	[20,0 µg/L] Pb	[30,0 µg/L] Pb	[50,0 µg/L] Pb	[100,0 µg/L] Zn
$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 25 \text{ µL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 50 \text{ µL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 125 \text{ µL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 250 \text{ µL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 500 \text{ µL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 1,0 \text{ mL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 1,5 \text{ mL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 2,5 \text{ mL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 5 \text{ mL}$
[1,0 µg/L] Zn	[10,0 µg/L] Zn	[30,0 µg/L] Zn	[50,0 µg/L] Zn	[100,0 µg/L] Zn	[200,0 µg/L] Zn	[300,0 µg/L] Zn	[500,0 µg/L] Zn	[1000,0 µg/L] Zn
$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 50 \text{ µL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 500 \text{ µL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 1,5 \text{ mL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 2,5 \text{ mL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 5 \text{ mL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 10 \text{ mL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppb}$ $V_1 = 15 \text{ mL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppm}$ $V_1 = 25 \text{ µL}$	$C_1 = 10^3 \text{ ppm}$ $V_1 = 50 \text{ µL}$

Figura D.2. Síntese das concentrações e volumes calculados para os elementos analisados.

4. Preparo das soluções padrões

- Primeiramente, preparou-se 10 mL de solução 10% (v/v) de HNO₃ concentrado: 1 mL HNO₃ P.A. conc. + 9 mL água deionizada.
- Para que a solução intermediária tenha 0,1% de acidez em 50 mL, calculou-se o volume da solução 10% (v/v) de HNO₃ concentrado para adicionar em cada solução intermediária de 50 mL:
Se 2 mL HNO₃ --- 20 mL
10% v --- 0,1% de 50 mL (0,5 mL)
 $[(0,01 \times 50 \text{ mL}) \times 2 \text{ mL HNO}_3] / 20 \text{ mL} \times 10\% = 0,5 \text{ mL}$ de solução de HNO₃
- Preparou-se 1 solução intermediária:
 $1000,0 \text{ µg/L} \times V_i = 1,0 \text{ µg/L} \times 50 \text{ mL} \Rightarrow V_i = 50,0 \text{ µL}$
- Preparou-se 2 soluções intermediárias, uma para Cd e outra para Cu:
 $0,05 \text{ µg/L} \times 50 \text{ mL} = 1,0 \text{ µg/L} \times V_f \Rightarrow V_f = 2,5 \text{ mL}$
 $0,5 \text{ µg/L} \times 50 \text{ mL} = 1,0 \text{ µg/L} \times V_f \Rightarrow V_f = 25,0 \text{ mL}$

- Preparou-se 3 soluções estoque, uma para Cd e Cu, outra para Pb e outra para Zn e depois avolumou-se cada uma com água deionizada até 50 mL:
 1. Cd, Cu -> $C_i = 1000,0 \mu\text{g/L}$ e $V_i = 50,0 \mu\text{L}$
 2. Pb -> $C_i = 1000,0 \mu\text{g/L}$ e $V_i = 50,0 \mu\text{L}$
 3. Zn -> $C_i = 1000,0 \mu\text{g/L}$ e $V_i = 50,0 \mu\text{L}$
- Partindo-se da primeira solução estoque (para Cd e Cu) preparou-se uma quarta solução estoque e depois avolumou-se com água deionizada até 50 mL: Cd, Cu -> $C_i = 1,0 \mu\text{g/L}$ e $V_i = 50,0 \mu\text{L}$

5. Análise no ICP-MS

Utilizou-se um espectrofotômetro, marca Varian, modelo 820-MS (ver figura D.3). Os dados da análise foram processados no programa ICP-MS Expert (version 2.1 b107).



Figura D.3. ICP-MS, modelo 820-MS, procedência Varian (USA).
Fonte: Registro da autora em 01/04/2011 no Lab. GAIA – DQ/UFSCar

No ICP-MS, analisaram-se três isótopos para cádmio, dois para cobre, três para chumbo e dois para zinco (ver elementos destacados no quadro D.3).

Para composição dos resultados finais, adotaram-se os isótopos mais abundantes para cobre (Cu^{+63}), chumbo (Pb^{+208}) e zinco (Zn^{+66}). Para o elemento cádmio adotou-se o segundo mais abundante (Cd^{+112}) porque os resultados finais do mais abundante (Cd^{+114}) apresentaram valores superiores, provavelmente, por alguma contaminação do branco da amostra.

Quadro D.3. Espécies potenciais interferentes para os isótopos dos analitos analisados, com destaque para os isótopos adotados.

Isótopo	Abundância (%)	Interferentes
Cd^{+111}	12,80	$^{96}\text{Mo}^{16}\text{O}^+$, $^{94}\text{Zr}^{16}\text{OH}^+$, $^{39}\text{K}_2^{16}\text{O}_2\text{H}^+$, $^{94}\text{Zr}^{17}\text{O}$
Cd^{+112}	24,13	$^{40}\text{Ca}^{216}\text{O}_2$, $^{96}\text{Ru}^{16}\text{O}$, $^{94}\text{Zr}^{16}\text{O}$, $^{94}\text{Mo}^{18}\text{O}$, $^{96}\text{Mo}^{16}\text{O}$
Cd^{+114}	28,73	$^{98}\text{Mo}^{16}\text{O}^+$, $^{96}\text{Ru}^{16}\text{O}^+$
Cu^{+63}	69,17	$^{46}\text{Ca}^{16}\text{OH}$, $^{44}\text{Ca}^{18}\text{OH}$, $^{47}\text{Ti}^{16}\text{O}$, $^{46}\text{Ti}^{17}\text{O}$
Cu^{+65}	30,83	$^{47}\text{Ti}^{16}\text{O}$, $^{46}\text{Ti}^{17}\text{O}$, $^{47}\text{Ti}^{18}\text{O}$, $^{48}\text{Ca}^{16}\text{OH}$, $^{46}\text{Ca}^{18}\text{OH}$
Pb^{+206}	24,10	$^{190}\text{Pt}^{16}\text{O}$
Pb^{+207}	22,10	$^{191}\text{Ir}^{16}\text{O}^+$
Pb^{+208}	52,40	$^{192}\text{Pt}^{16}\text{O}^+$
Zn^{+66}	27,90	$^{50}\text{Cr}^{16}\text{O}$, $^{48}\text{Ti}^{18}\text{O}$, $^{49}\text{Ti}^{17}\text{O}$, $^{50}\text{Ti}^{16}\text{O}$, $^{50}\text{V}^{16}\text{O}$
Zn^{+67}	4,10	$^{50}\text{Cr}^{17}\text{O}$, $^{49}\text{Ti}^{18}\text{O}$, $^{50}\text{Ti}^{17}\text{O}$, $^{50}\text{V}^{17}\text{O}$, $^{51}\text{V}^{16}\text{O}$
Zn^{+68}	18,80	$^{50}\text{Cr}^{18}\text{O}$, $^{52}\text{Cr}^{16}\text{O}$, $^{50}\text{Ti}^{18}\text{O}$, $^{50}\text{V}^{18}\text{O}$, $^{51}\text{V}^{17}\text{O}$

Fonte: PERKIN-HELMER (2008)

D.3 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

D.3.1 Coliformes Totais e Fecais (*E. coli*)

Colitag™ é um método rápido para detecção simultânea de coliformes totais e *E. coli* em água em 16 a 48 horas com sensibilidade de 1 UFC/100ml. É um sistema exclusivo de detecção de *E. coli* que utiliza a tecnologia patenteada “*acid resuscitation*”, visando elevar a sensibilidade do teste. Nesta tecnologia, o pH baixo, juntamente com nutrientes específicos, auxilia na recuperação das bactérias danificadas, proporcionando condições favoráveis para a recuperação celular e sua identificação.

O método Colitag™ é baseado na detecção de duas enzimas: β -galactosidase e β -glucuronidase, que são características do grupo de bactérias coliformes e da *E. coli*, respectivamente. O teste Colitag™ detecta Coliformes Totais usando um substrato cromogênico ONPG como nutriente. A hidrólise do ONPG produz uma coloração amarela característica confirmando a presença de coliformes totais na amostra. Para a detecção de *E. coli*, Colitag™ utiliza o substrato fluorogênico MUG, que quando hidrolisado pela *E. coli* resulta na produção da cor azul fluorescente quando submetido a luz UV.

- Materiais de consumo necessários:
 - COLITAG (conservação de 4 °C a 7 °C, longe da luz e umidade)
 - Saco plástico estéril 120 mL, com Tiosulfato de sódio

- Teste de presença/ausência de coliformes (CPI International, 2008):
 1. Adicionar Colitag™ em uma amostra de 100 mL de água em um frasco estéril.
 2. Agitar para começar a dissolução.
 3. Incubar a amostra a 35 °C \pm 0,5 C por 24 \pm 2 horas.
 4. Ler os resultados de acordo com o método de interpretação listado abaixo.

- Método de interpretação (CPI INTERNATIONAL, 2008):
 1. Verificar visualmente cada amostra testada comparando com o Colitag™ Comparator (P/A).

- a. Se a cor da amostra for amarela, e de igual ou maior intensidade que a cor amarela do Colitag™ Comparator (P/A), então a amostra é positiva para coliformes TOTAIS.
 - b. Se nenhuma coloração amarela é observada na amostra, a amostra será negativa para coliformes TOTAIS.
2. Examinar a solução em fluorescência usando lâmpada UV (comprimento de onda de 365 nm)
- a. Se apresentar fluorescência sob luz UV 365 nm (azul), a amostra é positiva para presença de *E. coli*.
 - b.** Se não for observada fluorescência, após o período de incubação 24 ± 2 horas, a amostra será negativa para presença de *E. coli*.