



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Gabrielle Nunes da Silva

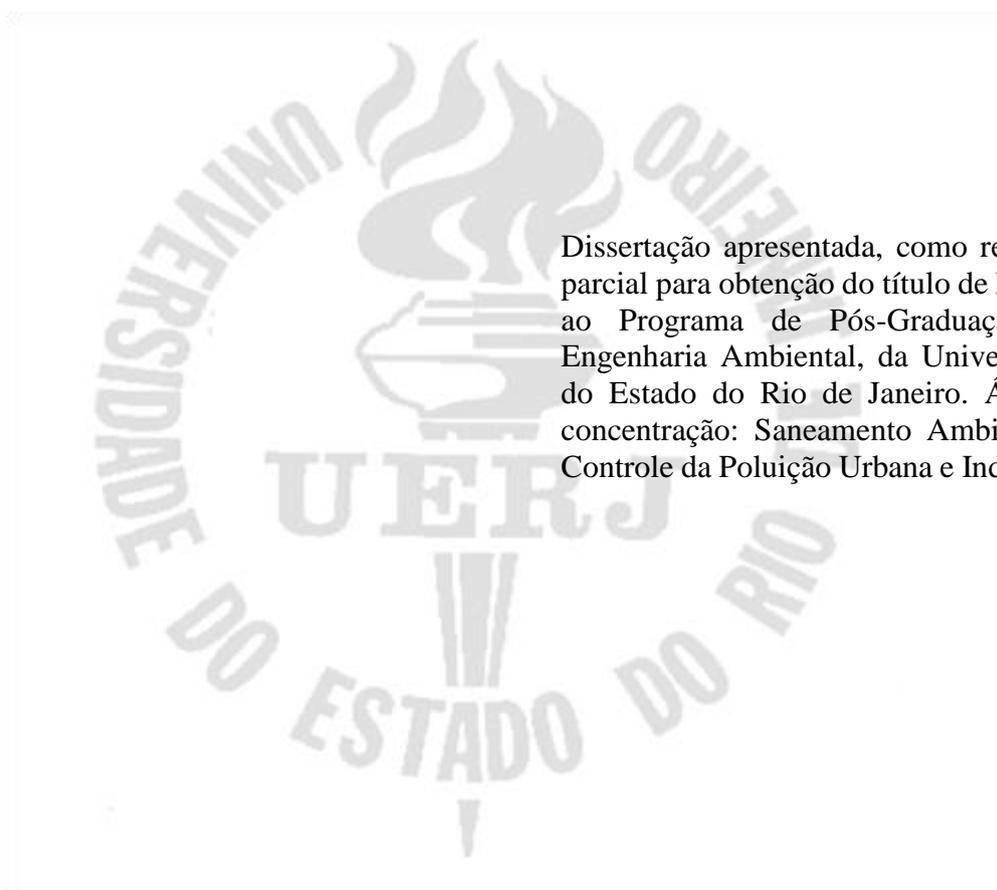
**Avaliação localizada de metais em águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro**

Rio de Janeiro

2019

Gabrielle Nunes da Silva

**Avaliação localizada de metais em águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Jr.

Coorientador: Prof. Dr. Sergio Machado Corrêa

Rio de Janeiro

2019

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

S586 Silva, Gabrielle Nunes da.  
Avaliação localizada de metais em águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro / Gabrielle Nunes da Silva. – 2019.  
114f.

Orientador: Alfredo Akira Ohnuma Jr.  
Coorientador: Sergio Machado Corrêa.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Águas pluviais - Teses. 3. Compostos orgânicos - Teses. 4. Água - Captação - Teses. 4. Metais - Teses. I. Ohnuma Jr., Alfredo Akira. II. Corrêa, Sérgio Machado. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 628.222

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Gabrielle Nunes da Silva

**Avaliação localizada de metais em águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de mestre, ao programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: saneamento ambiental – controle da poluição urbana e industrial.

Aprovado em: 25 de janeiro de 2019.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Jr. (Orientador)

Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof. Dr. Sergio Machado Corrêa (Coorientador)

Faculdade de Tecnologia – UERJ

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Daniele Maia Bila

Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Adriana Gioda

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2019

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais Arlete e Ricardo com todo o meu amor e gratidão.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por guiar meu caminho.

Ao meu pai Ricardo por todo o carinho, compreensão e suporte. A minha mãe Arlete que sempre apoiou as minhas escolhas, seu afeto, dedicação e generosidade são exemplos que levarei por toda a minha vida.

Ao meu irmão Pedro e ao Jean pela força e apoio incondicional.

Ao meu noivo José pelo conforto nos momentos difíceis, pela ajuda nos trabalhos e por entender os momentos de ausência.

Aos meus amores Thor e Mick que ficaram do meu lado durante a escrita e tornaram esse momento tão solitário mais leve e divertido.

Ao meu orientador professor Alfredo Akira Ohnuma Jr. pela sugestão do tema, pela atenção, paciência, disponibilidade, incentivo e pelo apoio que sempre demonstrou. Agradeço também pelos conhecimentos transmitidos ao longo do mestrado e pela oportunidade de participar do grupo de pesquisas de águas pluviais, sou muito grata por tudo.

Ao meu orientador professor Sergio Machado Corrêa pela ajuda com as análises químicas, pelos ensinamentos desde a graduação e pela orientação impecável. Agradeço pela sua dedicação, competência, apoio e por acreditar que eu ainda posso ir além, sem dúvidas o caminho teria sido muito mais difícil sem a sua orientação.

A professora Daniele Maia Bila e a professora Adriana Gioda por aceitarem o convite para participar da banca e pelas contribuições para este trabalho.

Aos alunos de iniciação científica júnior e ao Marquinhos pelo apoio no CAp. Aos técnicos dos laboratórios e aos alunos de iniciação científica da graduação pela ajuda com as análises físico-químicas. Agradeço em especial a aluna Isabella Escobar que ajudou com as análises de metais em Resende.

Agradeço a UERJ que mesmo enfrentando momentos difíceis continua sendo referência no ensino e na pesquisa e a todos os professores que fizeram parte da minha vida acadêmica, por ensinarem com tanto amor e dedicação.

/

O correr da vida embrulha tudo. A vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa,  
sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem.

*Guimarães Rosa*

## RESUMO

NUNES DA SILVA, G. *Avaliação localizada de metais em águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro*. 2019. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

Na medida em que ocorre a precipitação pluviométrica sobre áreas de cobertura de telhados, poluentes atmosféricos decorrentes da urbanização são carreados na superfície e direcionados aos sistemas convencionais de drenagem urbana. Quando disponíveis nos sistemas de armazenamento, esses poluentes podem ser captados e observados de modo a se obter a qualidade do volume efetivo precipitado. Este trabalho tem como objetivo caracterizar a água de chuva para verificar a qualidade da água e destiná-la para uso potável. Deste modo, determinados metais e parâmetros físico-químicos presentes nas amostras de águas pluviais captadas e armazenadas no Instituto Fernando Rodrigues da Silveira (CAp-UERJ), localizado no bairro Rio Comprido, na cidade do Rio de Janeiro-RJ foram investigados. Os pontos de coleta de amostras incluem: Precipitação Direta (PD), *First-Flush* (FF) e Reservatório (RR) no período de novembro de 2017 a outubro de 2018. A metodologia consiste em análises dos metais Cálcio (Ca), Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Potássio (K), Manganês (Mn), Sódio (Na), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn), análise de condutividade, pH, cloreto, turbidez e compostos orgânicos voláteis. A análise dos dados foi realizada por meio da linguagem R com tratamento estatístico multivariado incluindo análise de componentes principais, correlação linear de *pearson*, análise de agrupamentos hierárquicos, teste de *tukey* e *boxplot*. Os resultados indicam características acentuadas de chuva ácida na PD e turbidez elevada no ponto do FF. O cloreto está dentro do recomendado de 250 mg L<sup>-1</sup> pela Portaria no. 05/2017 do Ministério da Saúde para potabilidade de água. O sódio atende as diretrizes de água potável (200 mg L<sup>-1</sup>) contudo, os demais metais apresentaram desconformidade ao longo do estudo, indicando influências naturais e antropogênicas provavelmente atribuídas às emissões veiculares próximas ao local. O sistema de descarte não é eficiente para reduzir a concentração de metais no RR, ultrapassando os limites de potabilidade. Cobre, potássio e sódio apresentam maiores concentrações no período úmido, exibindo um comportamento sazonal, já no período seco é observado maiores concentrações de cálcio. Foram encontrados hidrocarbonetos aromáticos como: Tolueno, Etilbenzeno e Xileno (TEX), além de clorofórmio e etano nos pontos de RR e FF, possivelmente por emissões provenientes da combustão de combustíveis fósseis. Desta forma, o aproveitamento das águas pluviais para consumo humano não é recomendado.

Palavras-chave: Água da chuva; Metais; Compostos orgânicos; Deposição úmida; Qualidade; Águas pluviais urbanas.

## ABSTRACT

NUNES DA SILVA, G. *Localized evaluation of metals in rainwater in the city of Rio de Janeiro*. 2019. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

As pluviometric precipitation occurs over roofing areas, atmospheric pollutants resulting from urbanization are carried on the surface and directed to conventional urban drainage systems. When available in storage systems, these pollutants can be collected and observed in order to obtain the quality of the precipitated effective volume. This work aims to characterize the rainwater to verify the quality of the water and destine it for drinking use. Thus, some metals and physicochemical parameters present in the rainwater samples collected and stored at the Instituto Fernando Rodrigues da Silveira (CAp-UERJ), located in Rio Comprido neighborhood, in the city of Rio de Janeiro-RJ, were investigated. Sample collection points include: Direct Precipitation (PD), First-Flush (FF) and Reservoir (RR) from November 2017 to October 2018. The methodology consists of analyzes of the metals Calcium (Ca), Cadmium (Cd), Copper (Cu), Iron (Fe), Potassium (K), Manganese (Mn), Sodium (Na), Nickel (Ni), Lead (Pb), and Zinc (Zn), conductivity analysis, pH, chloride, turbidity and volatile organic compounds. Data analysis was performed using R language with multivariate statistical treatment including principal components analysis, pearson linear correlation, hierarchical grouping analysis, tukey test and boxplot. The results indicate accentuated characteristics of acid rain at the PD and high turbidity at the FF point. The chloride is within the recommended 250 mg L<sup>-1</sup> by Ordinance no. 05/2017 of the Ministry of Health for water potability. Sodium meets drinking water guidelines (200 mg L<sup>-1</sup>), however, the other metals presented nonconformity throughout the study, indicating natural and anthropogenic influences probably attributed to vehicular emissions close to the site. The disposal system is not efficient to reduce the concentration of metals in the RR, exceeding the limits of potability. Copper, potassium and sodium present higher concentrations in the wet period, exhibiting a seasonal behavior, whereas in the dry period higher concentrations of calcium were observed. Aromatic hydrocarbons such as Toluene, Ethylbenzene and Xylene (TEX) were found, as well as chloroform and ethane at the RR and FF points, possibly due to emissions from the combustion of fossil fuels. In this way, the use of rainwater for human consumption is not recommended.

Keywords: Rain water; Metals; Organic compounds; Wet deposition; Quality; Urban pluvial waters.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Precipitação, vazão e disponibilidade médias por região hidrográfica.....   | 19 |
| Figura 2 - Comparação entre água retirada x água consumida no Brasil por setor usuário .....   | 20 |
| Figura 3 - Ciclo hidrológico .....   | 22 |
| Figura 4 - Média histórica da precipitação mensal no Brasil .....  | 23 |
| Figura 5 - Localização das 33 estações pluviométricas do Sistema Alerta Rio e detalhe hipsométrico da cidade do Rio de Janeiro ..... | 25 |
| Figura 6 - Precipitação média mensal e anual das estações pluviométricas do Rio de Janeiro – RJ.....                                 | 25 |
| Figura 7 - Precipitação anual e número de dias secos consecutivos na estação da Tijuca (1997 - 2017).....                            | 26 |
| Figura 8 - Processo de deposição seca e úmida na atmosfera .....   | 31 |
| Figura 9 - Sistema de aproveitamento de água pluvial.....  | 33 |
| Figura 10 - Esquema de espectrômetros de chama: (a) configuração com feixe simples e (b) configuração com feixe duplo .....          | 40 |
| Figura 11 - Mapeamento de cidades com legislação própria relacionada à captação de águas pluviais ou manejo da água. ....            | 44 |
| Figura 12 - Localização do CAP-UERJ na cidade do Rio de Janeiro (A) e imagem 3D do CAP-UERJ (B).....                                 | 46 |
| Figura 13 - Planta do telhado da quadra poliesportiva do CAP-UERJ e detalhes do sistema de captação de águas pluviais.....           | 47 |
| Figura 14 - Pontos de amostragem no sistema de captação e armazenamento de águas pluviais do CAP-UERJ.....                           | 48 |
| Figura 15 - Pluviômetro instalado no bloco B do CAP-UERJ .....   | 52 |
| Figura 16 - <i>Boxplot</i> de cloreto para o período úmido (U) e seco (S) .....  | 57 |
| Figura 17 - Gráfico de <i>Tukey</i> para condutividade nos pontos de PD, FF e RR no período úmido .....                              | 59 |
| Figura 18 - Gráfico de <i>Tukey</i> para condutividade nos pontos de PD, FF e RR no período seco .....                               | 59 |
| Figura 19 - <i>Boxplot</i> de condutividade para o período úmido (U) e seco (S).....   | 60 |
| Figura 20 - <i>Boxplot</i> de pH para o período úmido (U) e seco (S).....  | 61 |
| Figura 21 - Gráfico de <i>Tukey</i> para pH nos pontos de PD, FF e RR no período úmido.....  | 63 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 22 - Gráfico de <i>Tukey</i> para pH nos pontos de PD, FF e RR no período seco .....   | 63 |
| Figura 23 - <i>Boxplot</i> de turbidez para o período úmido (U) e seco (S) .....  | 65 |
| Figura 24 - Análise de componentes principais de parâmetros físico-químicos no período úmido .....  | 67 |
| Figura 25 - Correlação linear de <i>Pearson</i> com dendrograma no período úmido .....  | 68 |
| Figura 26 - Análise de componentes principais de parâmetros físico-químicos no período seco .....   | 69 |
| Figura 27 - Correlação linear de <i>Pearson</i> com dendrograma no período seco. ....   | 70 |
| Figura 28 - <i>Boxplot</i> de Cálcio para o período úmido (U) e seco (S) .....  | 72 |
| Figura 29 - <i>Boxplot</i> de Cádmiu para o período úmido (U) e seco (S).....   | 73 |
| Figura 30 - <i>Boxplot</i> de Cobre para o período úmido (U) e seco (S).....  | 74 |
| Figura 31 - <i>Boxplot</i> de Ferro para o período úmido (U) e seco (S).....  | 76 |
| Figura 32 - <i>Boxplot</i> de Potássio para o período úmido (U) e seco (S). ....  | 77 |
| Figura 33 - <i>Boxplot</i> de Manganês para o período úmido (U) e seco (S) .....  | 78 |
| Figura 34 - <i>Boxplot</i> de Sódio para o período úmido (U) e seco (S) .....   | 79 |
| Figura 35 - <i>Boxplot</i> de Níquel para o período úmido (U) e seco (S).....   | 80 |
| Figura 36 - <i>Boxplot</i> de Chumbo para o período úmido (U) e seco (S).....   | 82 |
| Figura 37 - <i>Boxplot</i> de Zinco para o período úmido (U) e seco (S) .....   | 83 |
| Figura 38 - Precipitação direta – Análise de componentes principais e correlação linear de <i>Pearson</i> com dendrograma para o período úmido..... | 85 |
| Figura 39 - Precipitação direta – Análise de componentes principais e correlação linear de <i>Pearson</i> com dendrograma para o período seco.....  | 87 |
| Figura 40 - <i>First Flush</i> - Análise de componentes principais e correlação linear de <i>Pearson</i> com dendrograma para o período úmido.....  | 88 |
| Figura 41 - <i>First Flush</i> - Análise de componentes principais e correlação linear de <i>Pearson</i> com dendrograma para o período seco .....  | 90 |
| Figura 42 - Reservatório- Análise de componentes principais e correlação linear de <i>Pearson</i> com dendrograma para o período úmido .....        | 91 |
| Figura 43 - Reservatório - Análise de componentes principais e correlação linear de <i>Pearson</i> com dendrograma para o período seco .....        | 92 |
| Figura 44 - Cromatograma de água da chuva coletada no CAp-UERJ .....  | 93 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 - Balanço hídrico no país - 1.000 m <sup>3</sup> .....                 | 21 |
| Quadro 2 - Principais poluentes atmosféricos, fontes, processos e efeitos ..... | 28 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Parâmetros analisados em águas de chuva.....   | 37 |
| Tabela 2 – Parâmetros para verificação de padrão da qualidade de água conforme a Portaria no. 05/2017 do MS ..... | 43 |
| Tabela 3 - Parâmetros, equipamentos e métodos de análise das amostras de águas pluviais. .                        | 50 |
| Tabela 4 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos no período úmido (U).....                        | 56 |
| Tabela 5 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos no período seco (S) .....                        | 56 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAH - Análise de Agrupamento Hierárquico  
ACP - Análise de Componentes Principais  
ANA - Agência Nacional de Águas  
APHA - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*  
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
COV - Compostos Orgânicos Voláteis  
CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
EAA - Espectroscopia de Absorção Atômica  
FF - *First Flush*  
GEO-RIO - Fundação Instituto de Geotécnica  
HPA - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
Int\_sub - Intensidade Sub-diária  
CAp-UERJ - Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira  
INEA - Instituto Estadual do Ambiente  
LQ - Limite de Quantificação  
MP<sub>10</sub> - Material Particulado Inalável  
MS - Ministério da Saúde  
CO - Monóxido de Carbono  
NBR - Norma Brasileira  
OMS - Organização Mundial da Saúde  
PTS - Partículas Totais em Suspensão  
PVC - Policloreto de Polivinila  
PD - Precipitação Direta  
PROCONVE - Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores  
RH - Regiões Hidrográficas  
RR - Reservatório  
SAP - Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais  
TEX - Tolueno Etil Benzeno Xileno

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | 15 |
| <b>1. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....   | 18 |
| 1.1 <b>Disponibilidade e Consumo de Água no Brasil</b> .....                        | 18 |
| 1.2 <b>Águas Pluviais</b> .....   | 22 |
| 1.2.1 <u>Precipitação no Rio de Janeiro</u> .....                                   | 24 |
| 1.2.2 <u>Precipitação no Bairro da Tijuca, Rio de Janeiro-RJ</u> .....              | 26 |
| 1.2.3 <u>Composição Química da Chuva</u> .....                                      | 27 |
| 1.3 <b>Poluentes Atmosféricos, Influências Meteorológicas e Efeitos</b> .....       | 28 |
| 1.4 <b>Deposição Úmida e Deposição Seca</b> .....                                   | 30 |
| 1.5 <b>Sistemas de Águas Pluviais</b> .....   | 32 |
| 1.5.1 <u>Componentes Principais de Sistemas de Captação de Águas Pluviais</u> ..... | 33 |
| 1.6 <b>Qualidade da Água de Chuva</b> .....   | 34 |
| 1.7 <b>Características dos Metais e Efeitos no Meio Ambiente</b> .....              | 38 |
| 1.8 <b>Espectroscopia de Absorção Atômica</b> .....                                 | 39 |
| 1.9 <b>Estatística Aplicada por meio da Linguagem R</b> .....                       | 41 |
| 1.10 <b>Legislação e Norma</b> .....  | 42 |
| <b>2 METODOLOGIA</b> .....  | 45 |
| 2.1 <b>Caracterização do Local de Estudo</b> .....                                  | 45 |
| 2.1.1 <u>Sistema de Captação e Armazenamento de Águas Pluviais (SAP)</u> .....      | 46 |
| 2.1.2 <u>Determinação dos Pontos de Coleta e Amostragem da Água da Chuva</u> .....  | 48 |
| 2.2 <b>Análises Físico-químicas</b> .....   | 49 |
| 2.2.1 <u>Coleta e Preservação de Amostras</u> .....                                 | 49 |
| 2.2.2 <u>Análises de pH, Condutividade, Cloreto e Turbidez</u> .....                | 49 |
| 2.2.3 <u>Metais</u> .....   | 50 |
| 2.2.4 <u>Compostos Orgânicos</u> .....  | 51 |
| 2.3 <b>Período Amostral</b> .....   | 51 |
| 2.4 <b>Dados Pluviométricos</b> .....   | 52 |
| 2.5 <b>Tratamento dos Dados</b> .....   | 53 |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....  | 55 |
| 3.1 <b>Parâmetros Físico-químicos</b> .....   | 55 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 3.1.1  | <u>Cloreto</u> .....   | 56  |
| 3.1.2  | <u>Condutividade elétrica</u> .....  | 58  |
| 3.1.3  | <u>Potencial Hidrogeniônico (pH)</u> .....   | 61  |
| 3.1.4  | <u>Turbidez</u> .....  | 64  |
| 3.1.5  | <u>Análise de Componentes Principais e Correlação Linear de Pearson – Parâmetros físico-químicos</u> ..... | 66  |
| 3.2    | <b>Metais</b> .....  | 71  |
| 3.2.1  | <u>Cálcio (Ca)</u> .....   | 71  |
| 3.2.2  | <u>Cádmio (Cd)</u> .....   | 72  |
| 3.2.3  | <u>Cobre (Cu)</u> .....  | 74  |
| 3.2.4  | <u>Ferro (Fe)</u> .....  | 75  |
| 3.2.5  | <u>Potássio (K)</u> .....  | 76  |
| 3.2.6  | <u>Manganês (Mn)</u> .....   | 77  |
| 3.2.7  | <u>Sódio (Na)</u> .....  | 79  |
| 3.2.8  | <u>Níquel (Ni)</u> .....   | 80  |
| 3.2.9  | <u>Chumbo (Pb)</u> .....   | 81  |
| 3.2.10 | <u>Zinco (Zn)</u> .....  | 83  |
| 3.3    | <b>Análise de Componentes Principais e Correlação Linear de Pearson – Metais e Outros Parâmetros</b> ..... | 84  |
| 3.3.1  | <u>Precipitação Direta</u> .....   | 84  |
| 3.3.2  | <u>First Flush</u> .....   | 88  |
| 3.3.3  | <u>Reservatório</u> .....  | 90  |
| 3.4    | <b>Compostos Orgânicos em Águas Pluviais do CAp</b> .....  | 93  |
|        | <b>CONCLUSÃO</b> .....   | 95  |
|        | <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | 97  |
|        | <b>APÊNDICE A – TABELA DE TUKEY PERÍODO ÚMIDO</b> .....  | 111 |
|        | <b>APÊNDICE B – TABELA DE TUKEY PERÍODO SECO</b> .....   | 112 |
|        | <b>APÊNDICE C - ESTATÍSTICA DESCRITIVA PERÍODO ÚMIDO METAIS E PARÂMETROS METEOROLÓGICOS</b> .....          | 113 |
|        | <b>APÊNDICE D - ESTATÍSTICA DESCRITIVA PERÍODO SECO METAIS E PARÂMETROS METEOROLÓGICOS</b> .....           | 114 |

## INTRODUÇÃO

### Problemática e Justificativa

O Brasil possui uma das maiores reservas hídricas do mundo. Contudo os recursos hídricos estão disponíveis de forma desigual no território nacional, com diferentes usos da água nas atividades econômicas e domésticas. A água é fundamental para a sobrevivência dos seres vivos. No planeta apenas 0,3 % da água doce está disponível em rios e lagos (MMA, 2013).

Falhas na gestão e deficiência na informação sobre a situação atual dos recursos naturais, aliadas ao desenvolvimento não sustentável, comprometem a disponibilidade e a qualidade da água, e reduz os benefícios sociais e econômicos. A demanda por água doce aumenta de forma desproporcional ao crescimento da população, causando um desequilíbrio entre o consumo e a disponibilidade dos recursos hídricos, de modo a provocar no futuro uma deficiência global no uso.

Cerca de 20 % dos aquíferos têm sido sobre explorados no mundo todo. Entre os fatores que interferem na qualidade da água potável estão: a urbanização, a poluição, o desmatamento e as práticas agrícolas inadequadas (UNESCO, 2015). Esses fatores, somados ao aumento no consumo dos recursos hídricos, evidenciam a necessidade de fontes alternativas de captação e aproveitamento.

Cerca de 3,6 bilhões de pessoas no mundo todo vivem em áreas com potencial de escassez de água pelo menos um mês por ano e estima-se que esse número pode aumentar para 4,8 a 5,7 bilhões até 2050 (UN-WATER, 2018).

No ciclo da água, a chuva é a forma mais eficaz de limpeza da atmosfera. No processo de condensação e precipitação, o material particulado e os gases presentes na atmosfera são dissolvidos em gotas de chuva e depositados na superfície terrestre. Águas pluviais são compostas de fontes marinhas, partículas do solo, emissões vulcânicas e atividades antrópicas, tais como o uso de: combustíveis fósseis, agricultura, mineração, incineração de resíduos e emissões industriais.

A qualidade da água apresenta uma acentuada degradação na região hidrográfica do Atlântico Sudeste, agravada pela poluição industrial e baixos índices de tratamento de esgoto, além de elevada carga poluidora lançada nos corpos d'água (ANA, 2015). Determinadas regiões não realizam o monitoramento da qualidade da água, e também apresentam deficiências em relação a sua representatividade (ANA, 2017).

A mudança no sistema atmosférico por meio das ações antrópicas interfere nos poluentes encontrados na água da chuva. As regiões sul e sudeste são áreas potencialmente problemáticas devido a intensa urbanização e as atividades industriais (CONCEIÇÃO *et al.*, 2011).

A qualidade da água é um dos tópicos mais importantes na química ambiental, sobretudo a preocupação com micropoluentes que estão presentes no meio ambiente em concentrações na ordem de  $\mu\text{g L}^{-1}$  e  $\text{ng L}^{-1}$  (MAIA; DEZOTTI, 2007). Elevados níveis de Zinco (Zn) e Chumbo (Pb) têm sido encontrados em águas pluviais, podendo ser oriundos da lixiviação de telhados metálicos, tanques de armazenamento ou através da poluição atmosférica (OMS, 2008).

O efeito dos metais no meio ambiente e na atmosfera tornaram-se uma das principais questões ambientais, pois a acumulação de metais tóxicos nos tecidos humanos por meio da inalação e cadeia alimentar pode causar lesões nos órgãos internos, no sistema nervoso humano (KAMANI *et al.*, 2014) e em outros organismos.

A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (CANCER ENVIRONNEMENT, 2018) atribuiu os elementos como Arsênio (As) e seus compostos inorgânicos, como Cromo (Cr), Níquel (Ni) e Cádmio (Cd) ao grupo de substâncias cancerígenas aos seres humanos.

Os impactos dos poluentes na água de chuva podem agravar a vulnerabilidade da população menos favorecida e aumentar os gastos com o sistema de saúde, devido ao maior número de doenças de veiculação hídrica. Esses impactos podem ocasionar danos ao ecossistema, tais como a bioacumulação de metais nos organismos aquáticos e a acidificação de solos e lagos.

A caracterização física e química da água da chuva ajuda a avaliar a influência de diferentes fontes e a compreensão da dispersão regional e local de gases e partículas, além dos possíveis impactos nos ecossistemas (LAOUALI *et al.*, 2012).

No Brasil, não existe uma rede de monitoramento estabelecida capaz de mensurar a composição química da chuva. Os resultados existentes são de pesquisas isoladas em regiões específicas e por tempo determinado (FORNARO, 2006).

Estratégias apropriadas para mitigar os impactos adversos dos contaminantes de águas pluviais envolvem a tomada de decisão de níveis local, regional e nacional. Nesse sentido, compreender as relações entre a poluição atmosférica e a água, os compostos presentes na chuva, suas concentrações e fontes é imprescindível, visto que os dados disponíveis são limitados (GASPERI *et al.*, 2014).

Desta forma, é fundamental a ampliação do conhecimento sobre componentes químicos com ênfase em metais presentes em amostras coletadas no sistema de captação e armazenamento de águas pluviais no Rio de Janeiro.

### **Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a qualidade físico-química das águas de chuva captadas e armazenadas no Instituto Fernando Rodrigues da Silveira (CAp-UERJ), localizado na cidade do Rio de Janeiro - RJ.

### **Objetivos Específicos**

- Analisar a composição físico-química, a presença de metais e os compostos orgânicos voláteis nas águas de chuva em área urbana.
- Aplicar a estatística multivariada para avaliar o comportamento dos parâmetros físico-químicos e meteorológicos nos períodos seco e úmido.
- Comparar a concentração dos parâmetros físico-químicos e metais com os padrões de potabilidade da Portaria no. 05/2017 do Ministério da Saúde para propor a utilização da água pluvial em fins potáveis.

## 1. REVISÃO DA LITERATURA

### 1.1 Disponibilidade e Consumo de Água no Brasil

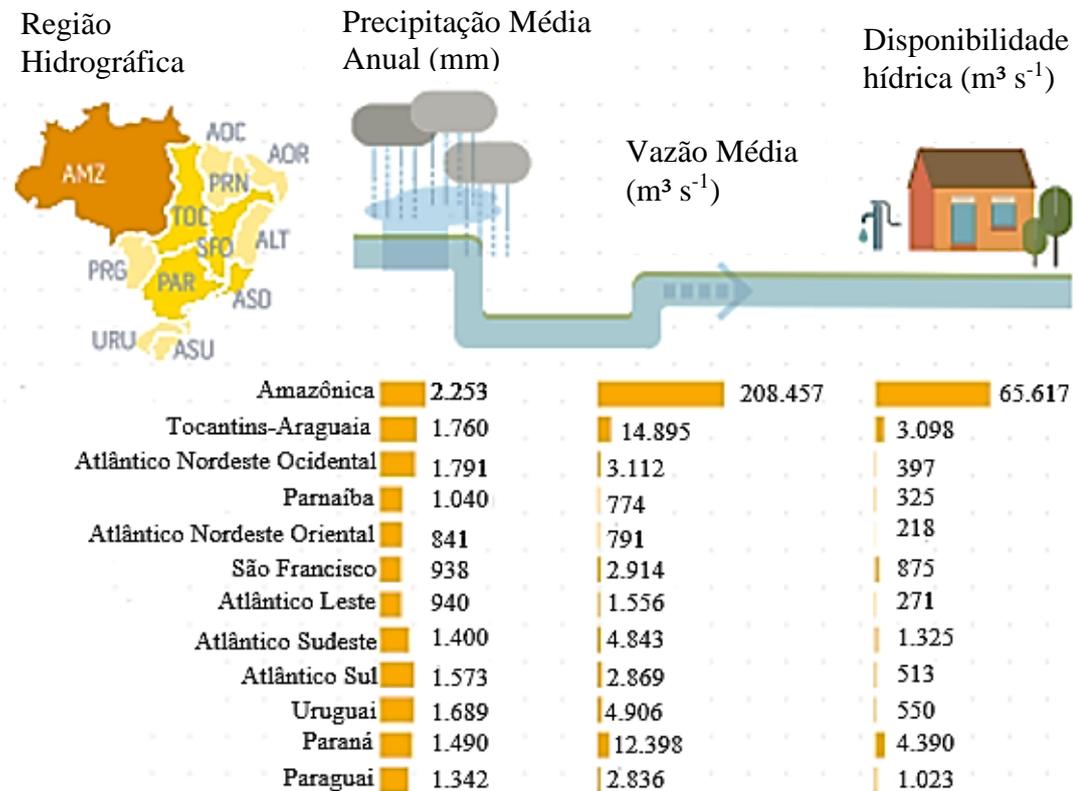
O Brasil possui uma grande variabilidade climática e os recursos hídricos estão dispostos principalmente nas regiões em que a demanda é baixa. A maior parcela da população está localizada em aglomerados urbanos que possuem como característica alto consumo de água e baixa disponibilidade hídrica. O desenvolvimento econômico não sustentável gera maior poluição ao meio ambiente, com ênfase aos corpos hídricos receptores da carga orgânica lançada diariamente, de modo a tornar a qualidade da água ruim para o abastecimento público e causar o estresse hídrico.

O país é dividido em 12 Regiões Hidrográficas (RH), de acordo com o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) na Resolução no. 32 de 2003. A RH do Atlântico Sudeste ocupa 2,5 % do território brasileiro, contudo abrange os estados com maior densidade demográfica, cerca de seis vezes maior que a média do Brasil (ANA, 2017) e economicamente mais desenvolvidos como: São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Paraná.

O Brasil detém uma vazão média de recursos hídricos de  $177.900 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , que corresponde a 53 % da vazão da América do Sul. Comparado ao mundo, o país possui 12 % da produção hídrica em superfície (TOMAZ, 2010).

Segundo a Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2017), cerca de 80 % da água superficial está localizada na RH da Amazônia, que possui baixa densidade demográfica e pouco consumo dos recursos hídricos. Estima-se que dos  $78.600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  da disponibilidade hídrica superficial no Brasil,  $65.617 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  correspondem a bacia amazônica (Figura 1).

Figura 1 - Precipitação, vazão e disponibilidade médias por região hidrográfica



Fonte: Adaptado de ANA, 2017.

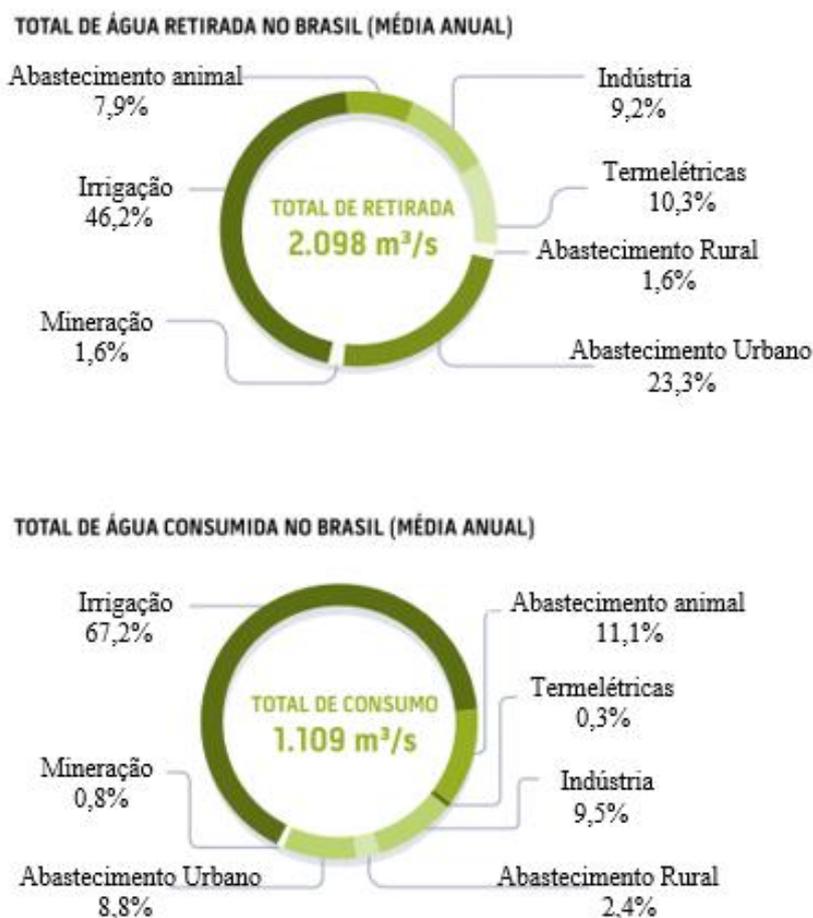
Apesar do alto potencial hídrico do país, a maioria das regiões sofrem com o abastecimento de água, seja por falta de água, baixa qualidade dos corpos hídricos ou por serviços de distribuição precários. Os principais desafios para o abastecimento no país de acordo com o Atlas de Abastecimento Urbano (2010, p. 14) são:

- Oferta de água em quantidade insuficiente para o atendimento da demanda, devido à distribuição espacial irregular dos recursos hídricos, à baixa produção hídrica de mananciais utilizados em períodos de estiagem, e à deficiência de investimentos para aproveitamento de novos mananciais;
- Abastecimento intermitente, provocado pela produção de água em quantidades inferiores às demandas, em função da precariedade e deterioração dos sistemas de captação, adução e tratamento de água e de elevados índices de perdas;
- Ocorrência de águas poluídas devido, em grande parte, à inexistência ou ineficiência de sistemas de coleta e tratamento de esgotos sanitários e de outras medidas de proteção de mananciais, com implicações negativas para o atendimento da demanda por água para diversos usos, em particular o abastecimento humano;
- Conflitos existentes e potenciais pelo uso da água, associados a mananciais e sistemas que atendem a mais de um município ou setor usuário e que, normalmente, abrangem transferências hídricas entre bacias hidrográficas, cujo processo de planejamento e tomada de decisão requer estratégias diferenciadas e ações coordenadas para a viabilização de empreendimentos e recursos.

O total de água retirada no Brasil (média anual) é de  $2.098 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e o consumido é de  $1.109 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (ANA, 2017). Um elevado volume de água é perdido durante o sistema de distribuição para os consumidores. Dentre os setores usuários da água, a irrigação se destaca

como a principal consumidora dos recursos hídricos, seguida do setor de abastecimento animal, justificado pelo país ser um dos maiores produtores de alimentos que são exportados para diversos países (Figura 2).

Figura 2 - Comparação entre água retirada x água consumida no Brasil por setor usuário



Fonte: Adaptado de ANA, 2017.

Do total de municípios brasileiros, 39 % são abastecidos por águas subterrâneas, 47 % são abastecidos exclusivamente por mananciais superficiais e 14 % pelos dois tipos de mananciais. O uso intensivo de mananciais superficiais é observado nos Estados do Espírito Santo, Paraíba, Rio de Janeiro e Pernambuco em que mais de 75 % dos municípios são abastecidos somente por águas superficiais devido ao baixo potencial hídrico dos aquíferos (ANA, 2010).

O abastecimento por águas subterrâneas possui um custo e esforço menor que outras formas de captação como a dessalinização e/ou o transporte de geleiras contudo, a maior parte

da água doce está em repouso há milhões de anos em regiões subterrâneas e quando utilizada não ocorre a devolução imediata pela natureza, sendo considerada um recurso não renovável (ANA, 2012). Alguns aquíferos, como os aquíferos não-confinados ou freáticos, possuem recarga mais rápida e se forem utilizados de forma sustentável podem oferecer água com qualidade e por longos períodos.

Durante o processo de abastecimento de água, através das redes de distribuição, podem ocorrer perdas significativas, como consumo não autorizado, vazamentos nas tubulações e erros de medição. Apesar do aumento das regiões que fazem a cobrança da água, um valor significativo do consumo faturado ainda não é medido e no balanço hídrico do país há elevadas perdas comerciais devido às: ligações clandestinas, perdas físicas no sistema e no volume de serviços. Cerca de 38,52 % do balanço hídrico não é cobrado aos usuários, conseqüentemente o valor que deveria ser cobrado não retornará na forma de investimento na gestão dos recursos hídricos (Quadro 1).

Quadro 1 - Balanço hídrico no país - 1.000 m<sup>3</sup>

|   |   |   |                                      |
|---|---|---|--------------------------------------|
| <b>Água que entra no sistema (16.557.927)</b> | <b>Consumo autorizado faturado (10.178.863)</b> | Consumo faturado medido (7.832.545)     | <b>Água faturada (10.178.863)</b>    |
|   |   | Consumo faturado não medido (2.346.318) |                                      |
|   | Volume de serviços (593.127)                    |   | <b>Água não faturada (6.379.064)</b> |
|   | Perdas comerciais (2.314.375)                   |   |                                      |
|   | Perdas físicas (3.471.562)                      |   |                                      |

Fonte: TRATA BRASIL e GO ASSOCIADOS, 2018.

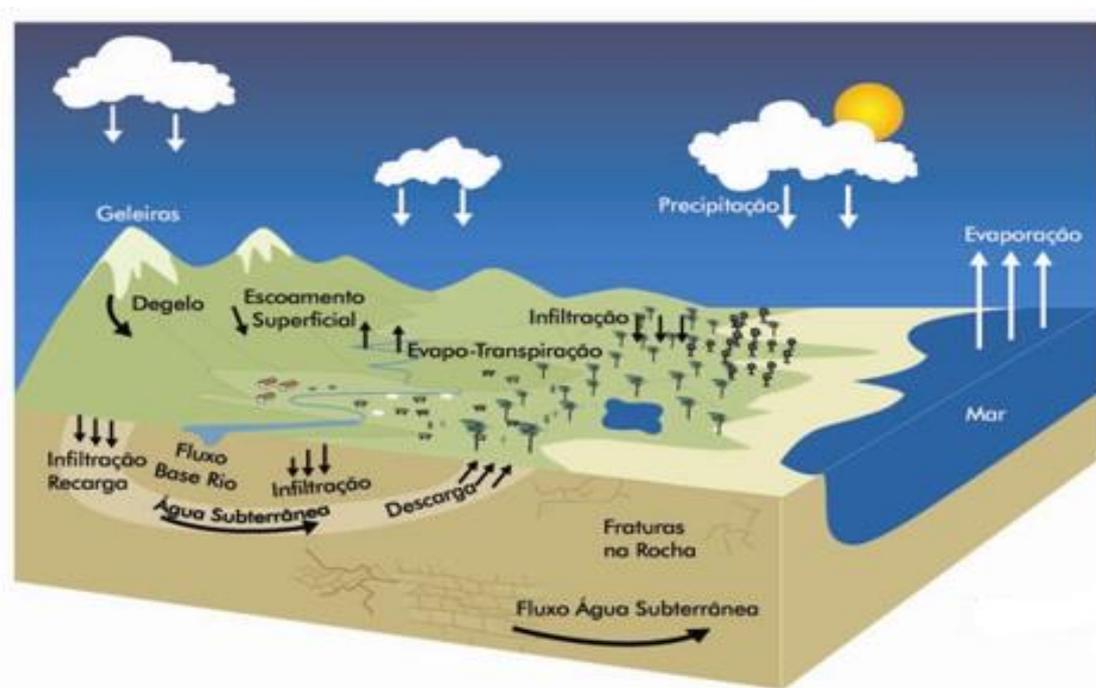
A perda de distribuição de água no país é de 38,1 %. Quando comparado entre as regiões geográficas, a região Norte detém 47,3 %, já na comparação de perdas por ligação todas as regiões estão acima do nível de referência de 250 L dia<sup>-1</sup> lig<sup>-1</sup> (TRATA BRASIL; GO ASSOCIADOS, 2018). Esses fatores aumentam a pressão sobre os mananciais, elevam os custos de produção e principalmente aumentam o desperdício de água, afetando o meio ambiente e a sociedade.

## 1.2 Águas Pluviais

A energia solar aquece a superfície terrestre, e auxilia na evaporação da água na superfície. A maior parte está localizada nos rios e oceanos e transforma-se em vapor d'água em direção a atmosfera. Ao subir para a troposfera, o vapor se torna cada vez mais frio e as gotículas se chocam e unem-se em gotas maiores formando as nuvens. Os ventos levam as nuvens para locais distantes do ponto de origem e quando atingem determinado tamanho, até o momento sustentadas pelas correntes de ar, as gotas tornam-se pesadas e, por meio da atração gravitacional, ocorre a precipitação, voltando à superfície na forma de chuva, granizo ou neve (ANA, 2012).

A chuva recarrega os oceanos imediatamente, na terra firme como em áreas urbanas a água escoar pelos telhados das casas, vias públicas e sistemas de drenagem, desembocando nos rios. Nas áreas rurais a água é absorvida pelas plantas e infiltra no solo, recarregando as reservas subterrâneas como aquíferos e lençóis freáticos, e ao atingir a saturação do solo, a precipitação efetiva segue em direção aos rios abastecidos pelo escoamento superficial e pelas águas subterrâneas (Figura 3).

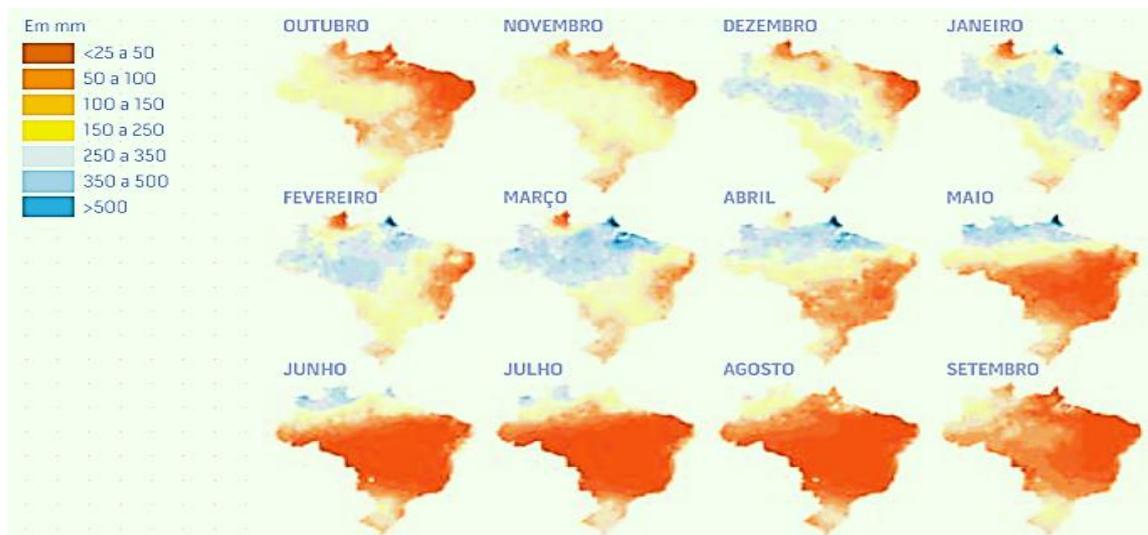
Figura 3 - Ciclo hidrológico



Fonte: MMA, 2018.

A resolução no. 2.081/17 da Agência Nacional de Águas (ANA) define para a operação na região hidrográfica do São Francisco como período chuvoso os meses de dezembro a abril e período seco de maio até novembro. No período chuvoso a precipitação em determinadas regiões do país pode chegar a 500 mm na região norte e abaixo de 50 mm principalmente no nordeste (Figura 4).

Figura 4 - Média histórica da precipitação mensal no Brasil



Fonte: Adaptado de ANA, 2017.

Apesar da água de chuva ser uma das fontes mais limpas de água natural, pode ocorrer a absorção de gases presentes na atmosfera como o: oxigênio, nitrogênio, dióxido de enxofre e dióxido de carbono (IGBINOSA; AIGHEWI, 2017).

O processo mais eficaz no transporte e remoção de diferentes compostos iônicos, poluentes e gases solúveis da atmosfera para a superfície terrestre é por meio da precipitação pluviométrica (SZÉP *et al.*, 2019).

Segundo a Agência Nacional de Águas (2017), a precipitação média anual brasileira é de 1760 mm com uma variação significativa de 500 mm na região semiárida do nordeste chegando a 3000 mm na Amazônia. As mudanças climáticas podem alterar o padrão da precipitação, com potencial de se tornarem mais frequentes e intensas no Sudeste e no Sul do país, e no Nordeste com secas mais regulares.

### 1.2.1 Precipitação no Rio de Janeiro

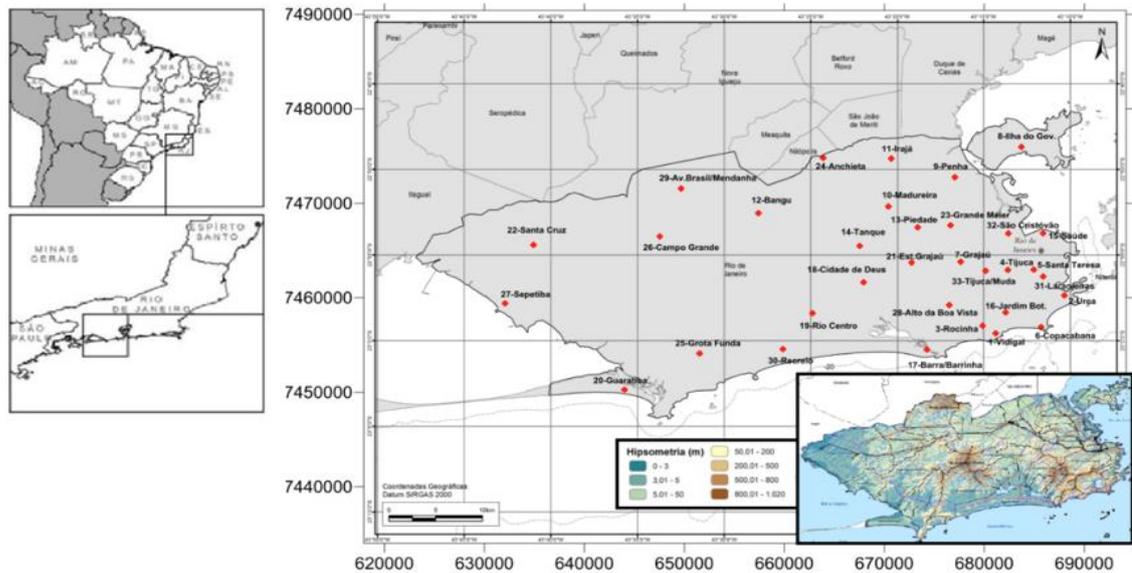
O Rio de Janeiro está localizado na região hidrográfica do Atlântico Sudeste. É o segundo estado com maior número de habitantes e com grande parte das atividades ligadas à indústria e ao setor de serviços (IBGE, 2018). As características do relevo, somada à localização próximo ao litoral, propicia as chuvas frontais com elevada duração e intensidade. Os solos são arenosos ou argilosos com diferentes capacidades de absorção de águas pluviais (MMA, 2006).

O clima é caracterizado como quente, com áreas úmidas, semiúmidas e secas. A distribuição da chuva e a temperatura variam de acordo com a proximidade do mar e o relevo desta forma, é encontrado diversos tipos de clima, destacando-se o tropical de altitude e o tropical em áreas de baixas altitudes (CEPERJ, 2018).

Os dados de águas pluviais são obtidos pelas estações de monitoramento que armazenam os dados pluviométricos e disponibilizam para diversos usos, como estudos hidrológicos, definição de margem de proteção e obras hidráulicas (INEA, 2014). Diversos órgãos possuem estações meteorológicas que medem a quantidade de chuva no estado, como o: setor de energia elétrica, governo federal, municipal e outras instituições.

A Fundação Instituto de Geotécnica (GEO-RIO) possui o Sistema Alerta Rio que realiza o monitoramento da precipitação na cidade do Rio de Janeiro - RJ por meio de 33 estações pluviométricas distribuídas estrategicamente (Figura 5). É um sistema de alerta de deslizamentos de encostas e de chuvas intensas para a cidade do Rio de Janeiro. De acordo com a série histórica de 1997 a 2016 do Alerta Rio, o total anual médio do local é de 1.212,4 mm. As maiores chuvas ocorrem no mês de janeiro com precipitação média de 176,6 mm e agosto é definido como o período mais seco com 39,8 mm (GEO-RIO, 2018).

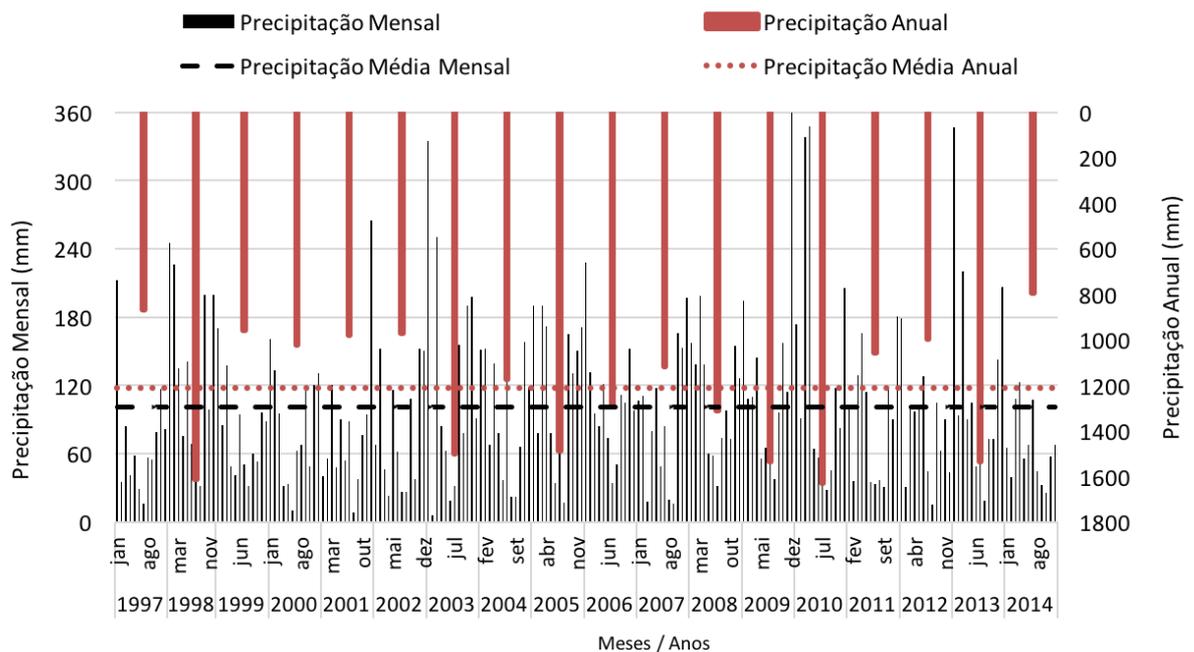
Figura 5 - Localização das 33 estações pluviométricas do Sistema Alerta Rio e detalhe hipsométrico da cidade do Rio de Janeiro



Fonte: ALERTA RIO, 2017; PMRJ, 2011.

No Rio de Janeiro, as chuvas mais acentuadas ocorrem a partir de outubro, com maior intensidade nos meses de dezembro a março. A partir de abril a precipitação acumulada decai significativamente, dando início ao período de estiagem (Figura 6).

Figura 6 - Precipitação média mensal e anual das estações pluviométricas do Rio de Janeiro – RJ.



Fonte: SICILIANO *et al.*, 2018.

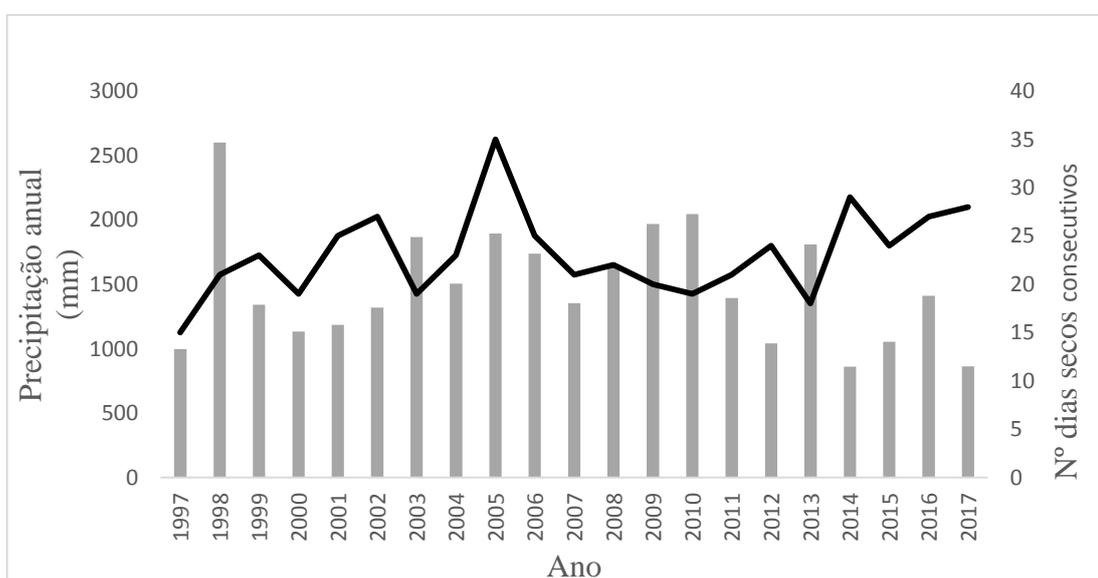
Cerca de 70 a 80 % das chuvas ocorrem no verão e são mais intensas nas regiões serranas e parte sul do estado. Baixos índices pluviométricos são registrados no norte, noroeste e região dos lagos (ANDRÉ *et al.*, 2008). As regiões com maiores precipitações são: o maciço do Gericinó (norte), maciço da Pedra Branca (oeste) e maciço da Tijuca (leste) (DERECZYNSKI; DE OLIVEIRA; MACHADO, 2014). A topografia do estado, associada à posição geográfica, resulta em diversos padrões de chuva (BRITO *et al.*, 2017). Além disso, fatores de uso e ocupação do solo, presença de grandes maciços geográficos contribuem para a padronização da precipitação em determinadas regiões da cidade e na formação de chuvas de verão e orográficas (SICILIANO *et al.*, 2018).

### 1.2.2 Precipitação no Bairro da Tijuca, Rio de Janeiro-RJ

O bairro da Tijuca está localizado na cidade do Rio de Janeiro, situado na área de planejamento nº 2 com 62,82 % da área urbanizada, possui 163.805 habitantes em área territorial de 1.006,56 ha, totalizando cerca de 162 hab ha<sup>-1</sup> (DADOS DO RIO, 2018). O bairro pertence a zona norte da cidade, com intenso fluxo de pessoas e veículos.

Os dados de precipitação no bairro da Tijuca são monitorados pelo Sistema Alerta Rio por pluviômetro instalado na Estrada do Sumaré nº 670. Os dados pluviométricos do período de 1997 – 2017 e o número de dias secos consecutivos (precipitação < 1 mm) estão apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Precipitação anual e número de dias secos consecutivos na estação da Tijuca (1997 - 2017)



Fonte: ALERTA RIO, 2017.

### 1.2.3 Composição Química da Chuva

Segundo Tomaz (2010), a composição da chuva varia de acordo com a localização:

- próximo ao oceano: a água de chuva apresenta elementos influenciados pelo *spray* marinho, como: Sódio (Na), Magnésio (Mg), Cloro (Cl), Cálcio (Ca) e Potássio (K), em concentrações similares a água do mar.
- distante da costa: elementos que possuem origem terrestre como: Alumínio (Al), Ferro (Fe), compostos de sílica e elementos de origem biológica como: Fósforo (P), Enxofre (S) e Nitrogênio (N).
- polos industriais e áreas urbanizadas: alterações nas concentrações da água devido aos poluentes atmosféricos como: Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>), Zinco (Zn) e Chumbo (Pb).

Várias fontes de atividades antrópicas e naturais podem influenciar a composição química da precipitação (LAOUALI *et al.*, 2012). As características químicas podem ser controladas por fontes, como: poeira do solo, emissões industriais e fósseis e queima de biomassa. Os contaminantes do ar podem modificar quimicamente a chuva, principalmente durante a estação seca (MIMURA *et al.*, 2016).

Outros fatores como circulações em mesoescala, topografia e fontes locais diferem significativamente de região para região e, portanto, também sobre a composição química da precipitação (VIEIRA-FILHO; PEDROTTI; FORNARO, 2013).

Pelas águas pluviais ocorre o transporte de longo alcance de elementos químicos (BERTRAND *et al.*, 2009). Gases como NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> e Amônia (NH<sub>3</sub>) podem ser incorporados em nuvens e gotas de chuva. As chuvas ácidas podem conter significativo nível de poluentes (ANIL; ALAGHA; KARACA, 2017) favorecendo a biodisponibilidade e a dissolução de metais traços e metais majoritários (OLIVEIRA; FIGUEIREDO; CARDOSO, 2012).

Na atmosfera, os óxidos de nitrogênio e enxofre reagem com o radical hidroxila (OH•) formando ácido nítrico e sulfúrico, que incorporados às gotas de chuva, reduzem o pH tornando a chuva menos alcalina. A presença desses componentes pode ser atribuída à queima de combustíveis fósseis, especificamente de emissões veiculares e processos industriais (NOVAK *et al.*, 2014). A acidez mineral na precipitação pluviométrica está relacionada principalmente aos ácidos HNO<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> formados a partir dos precursores gasosos de NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub> (LAOUALI *et al.*, 2012).

Espécies químicas em águas pluviais podem diferir das emissões originais, partículas alcalinas ( $\text{NH}_3$  gasoso, poeira) podem influenciar significativamente a acidez da chuva, neutralizando uma parte dos ácidos (KHEMANI *et al.*, 1987).

### 1.3 Poluentes Atmosféricos, Influências Meteorológicas e Efeitos

A poluição do ar é uma consequência do aumento da urbanização e do adensamento populacional, sendo uma preocupação comum nas megacidades (KUMAR *et al.*, 2016).

As fontes emissoras de poluentes atmosféricos são variadas, podendo ser produzidas pelo homem (antropogênicas) ou naturais (biogênicas). Essas fontes são classificadas em: fixas (mineração, geração de energia e indústrias), móveis (veículos automotores) e agrossilvopastoris (agricultura e queimadas) (IBGE, 2006). O Quadro 2 sintetiza os principais poluentes, efeitos e fontes.

Quadro 2 - Principais poluentes atmosféricos, fontes, processos e efeitos

| Poluentes                             | Fontes         | Processos  | Efeitos  |
|---------------------------------------|----------------|--|--|
| Óxidos de enxofre (SOx)               | Antropogênicas | Combustão (refinarias, centrais térmicas, veículos, processos industriais).              | Afeta o sistema respiratório, chuva ácida, danos em materiais.   |
|                                       | Naturais       | Vulcanismo, processos biológicos.  |  |
| Óxidos de nitrogênio (NOx)            | Antropogênicas | Combustão (veículos e indústrias).   | Afeta o sistema respiratório e chuva ácida.  |
|                                       | Naturais       | Emissões da vegetação.   |  |
| Compostos orgânicos voláteis          | Antropogênicas | Refinarias, petroquímicas, veículos, evaporação de combustíveis e solventes.             | Poluição fotoquímica; inclui compostos tóxicos e carcinogênicos.   |
| Monóxido de carbono (CO)              | Antropogênicas | Combustão (veículos).  | Reduz a capacidade de transporte de oxigênio no sangue.  |
|                                       | Naturais       | Emissões da vegetação.   |  |
| Dióxido de carbono (CO <sup>2</sup> ) | Antropogênicas | Combustão.   | Efeito estufa  |
|                                       | Naturais       | Fogos florestais.  |  |
| Chumbo (Pb)                           | Antropogênicas | Gasolina com chumbo, incineração de resíduos   | Tóxico acumulativo. Anemia e destruição de tecido cerebral.  |
| Partículas                            | Antropogênicas | Combustão, processos industriais, condensação de outros poluentes, extração de minerais. | Alergias respiratórias. Vetor de outros poluentes (metais pesados, compostos orgânicos carcinogênicos-). |
|                                       | Naturais       | Erosão eólica, vulcanismo.   |  |
| CFC                                   | Antropogênicas | Aerossóis, sistemas de refrigeração, espumas, sistemas de combate a incêndios.           | Destruição da camada de ozônio. Contribuição para o efeito estufa.                                       |

Fonte: RADICCHI, 2012.

Na atmosfera há diversos tipos de poluentes classificados como: poluentes primários, emitidos diretamente pelas fontes como  $\text{SO}_2$ , NO,  $\text{NH}_3$ , hidrocarbonetos e material particulado,

e poluentes secundários, formados na atmosfera por meio de reação química entre poluentes primários e constituintes naturais da atmosfera e a luz solar como  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ , ácidos sulfúrico e nítrico (FORNARO, 2006).

Compostos e substâncias podem permanecer em suspensão no ar por longos períodos de tempo e percorrer grandes distâncias com potencial transfronteiriço, devido às características da circulação, velocidade e intensidade dos ventos e/ou das chuvas (MMA, 2009).

O tempo de residência desses componentes no ar depende da altura de formação e as condições micro meteorológicas, com destaque para a turbulência atmosférica (OMRANI *et al.*, 2017).

Certos fatores influenciam a qualidade do ar, como a taxa de emissões de poluentes, a localização geográfica, tipo da fonte, as características físico-químicas dos poluentes, a dispersão na atmosfera e as reações químicas influenciadas pelas condições climáticas e meteorológicas (IEMA, 2014).

Os poluentes que interferem na qualidade do ar com impacto negativo na saúde humana são: Ozônio ( $\text{O}_3$ ), Dióxido de Nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), Monóxido de Carbono (CO), Partículas Totais em Suspensão (PTS) e o Material Particulado Inalável ( $\text{MP}_{10}$ ) (INEA, 2016).

Substâncias que podem ter impactos adversos são retiradas do ar durante eventos de precipitação pluviométrica, contudo compostos perigosos podem ser formados impactando tanto o ambiente natural quanto o construído pelo homem (ABDEMANAFI *et al.*, 2016).

O poluente mais complexo e difícil de ser controlado é o ozônio, pois é formado na baixa atmosfera por meio de reações fotoquímicas entre os compostos orgânicos voláteis (COV) e os  $\text{NO}_x$  na presença de luz solar (DAPPER; SPOHR; ZANINI, 2016).

A Amônia ( $\text{NH}_3$ ) é uma espécie alcalina que pode neutralizar a acidez atmosférica e a produção de aerossóis inorgânicos secundários, porém o  $\text{NH}_3$  aumenta a alcalinidade e a eutrofização em ecossistemas naturais, sendo o  $\text{NH}_3$  classificado como poluente atmosférico tóxico (VIEIRA-FILHO *et al.*, 2016).

O material particulado é constituído de poeiras, fumaça e material líquido e sólido mantido em suspensão na atmosfera. Partículas Inaláveis ( $\text{MP}_{10}$ ), com diâmetro menores que  $10\ \mu\text{m}$  podem causar asma, doenças respiratórias e cardiovasculares e câncer de pulmão (ISS, 2014).

Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) e metais são os principais constituintes tóxicos da poluição do ar que podem estar relacionados ao aumento do risco de problema cardiopulmonares (WANG *et al.*, 2015).

Áreas urbanas e principalmente industriais podem representar um risco para as espécies aquáticas, devido a bioacumulação de elementos como metais tóxicos associados ao material particulado presente nas emissões atmosféricas (MATEUS *et al.*, 2018).

Para diminuir os problemas causados pelas emissões atmosféricas dos veículos automotores foi criado em 1986 a Resolução nº 18 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) a partir da implementação do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). O programa tem por objetivo aumentar a qualidade do combustível com uso de novas tecnologias de catalisadores e padrões restritivos, especialmente para Monóxido de Carbono (CO), partículas inaláveis e NO<sub>x</sub>.

Apesar da diminuição nas emissões atmosféricas, o estudo realizado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) em 2014 observou que 23 % das emissões atmosféricas são de fontes fixas, com destaque para o setor naval, químico, petroquímico, alimentício e transformação de energia, além das emissões veiculares que correspondem a 77 %.

#### **1.4 Deposição Úmida e Deposição Seca**

Os poluentes são removidos da atmosfera por meio da deposição úmida e seca e por mecanismos de limpeza como a chuva (SZÉP *et al.*, 2019), processos atmosféricos e meteorológicos considerados fundamentais no controle dos elementos biogeoquímicos na atmosfera (LAOUALI *et al.*, 2012).

Partículas ressuspensas e contaminantes podem ser transportados por toda a atmosfera, responsáveis por diversos processos químicos e físicos, dependendo das condições atmosféricas pode ocorrer a deposição úmida ou seca (MARTINS *et al.*, 2014b). Outros componentes, como a umidade relativa do ar, influencia na solubilização de poluentes solúveis em água na forma de aerossóis, proporcionando a deposição úmida e a reação em fase aquosa mais efetiva (GIODA *et al.*, 2018).

As deposições são fatores de redistribuição e ciclagem dos elementos químicos por meio da remoção das partículas e gases pela neve, chuva ou neblina na fase úmida ou na ausência de águas pluviais na fase seca (OHNUMA *et al.*, 2014).

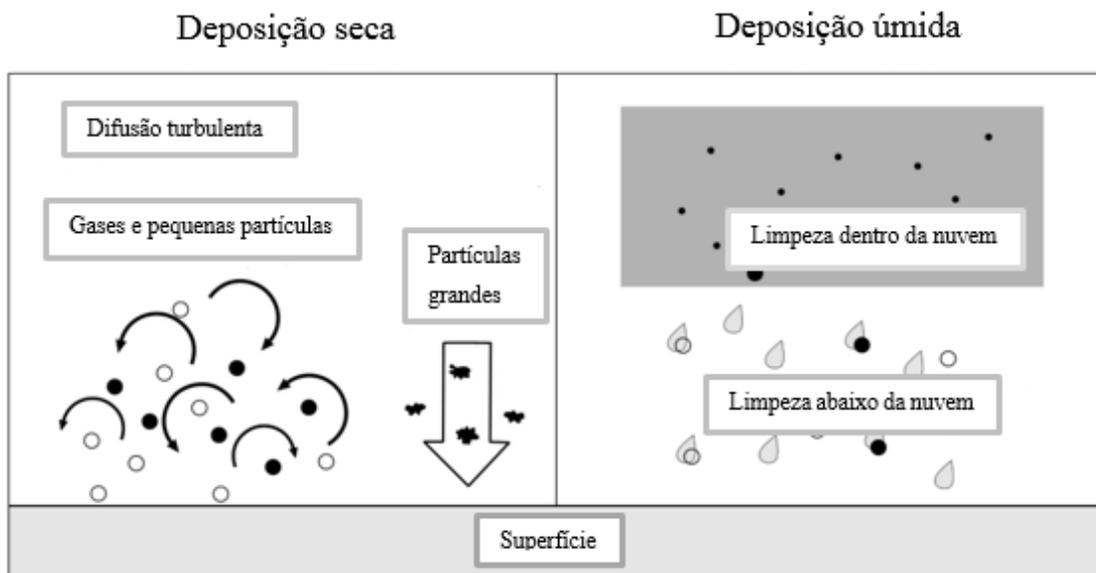
Na deposição úmida, os gases e aerossóis são dissolvidos, suspensos em cristais de gelo ou gotículas de água (AZIMI *et al.*, 2003). A deposição seca de partículas ocorre por impacto direto e assentamento gravitacional (SORIANO *et al.*, 2012) com absorção de gases ou do

material particulado depositado nas superfícies do solo, vegetação e edificações (FORNARO, 2006).

A deposição úmida possui partículas menores do que a deposição seca e maior área de dispersão devido a influência gravitacional da precipitação pluviométrica, e das forças de empuxo tornarem-se dominantes para partículas menores em comparação com a influência da gravidade (GUNAWARDENA *et al.*, 2013).

O material particulado e os gases presentes na atmosfera, durante a condensação (*rainout*) e a precipitação (*washout*), são incorporados nas gotas de água que atua como um destilador (CONCEIÇÃO *et al.*, 2011), chegando a superfície terrestre e aos corpos hídricos (Figura 8).

Figura 8 - Processo de deposição seca e úmida na atmosfera



Fonte: Adaptado de LEELŐSSY *et al.*, 2014.

Os vestígios de metais no ar adsorvidos na precipitação são depositados no solo na forma de deposição úmida (KAMANI *et al.*, 2014). Mais de 80 % desses metais são dissolvidos na água da chuva atingindo o dossel da vegetação na forma mais favorável de absorção (VALENTA; NGUYEN; NORNBORG, 1986). A deposição úmida afeta o transporte de várias partículas e produtos químicos depositados da atmosfera nas superfícies do solo (NIU *et al.*, 2014).

## 1.5 Sistemas de Águas Pluviais

Um dos primeiros registros de utilização de captação e armazenamento de água de chuva é datado de 830 a.C no oriente médio, escritas na Pedra Moabita, onde sugere que seja criado um reservatório nas residências com o objetivo de aproveitar águas pluviais (TOMAZ, 2010).

A captação de água de chuva é uma fonte disponível de forma gratuita, até o momento, para suprir as demandas por água em diversas regiões do mundo, sobretudo nos locais em que há escassez ou falta de acesso à água de qualidade. Além disso, o sistema de águas pluviais reduz a demanda por recursos hídricos, o consumo municipal e mitiga as consequências prejudiciais do escoamento das águas pluviais urbanas em eventos extremos (GHAFFARIANHOSEINI *et al.*, 2015).

Apesar da elevada oferta hídrica disponível no Brasil, muitas regiões sofrem com a falta de abastecimento e distribuição de água e com longos períodos de estiagem, principalmente no semiárido do país. Nas áreas rurais a água de chuva é geralmente utilizada para suprir as demandas básicas, incluindo o consumo humano, enquanto nas zonas urbanas as águas pluviais são utilizadas como fonte suplementar em demandas secundárias (GOMES *et al.*, 2014).

As pesquisas sobre sistemas de águas pluviais abordam temas difusos, como a questão da qualidade da água e seus efeitos na saúde, o potencial de economia de água potável, o impacto da utilização no manejo de águas pluviais e o impacto nas mudanças climáticas. O cenário brasileiro está voltado para as questões de mitigar os problemas de seca, mas também como alternativa de abastecimento de água em prédios e redução do impacto ambiental (TESTON *et al.*, 2018).

As águas pluviais possuem uma infinidade de usos como (ENHEALTH, 2011; GWA, 2011):

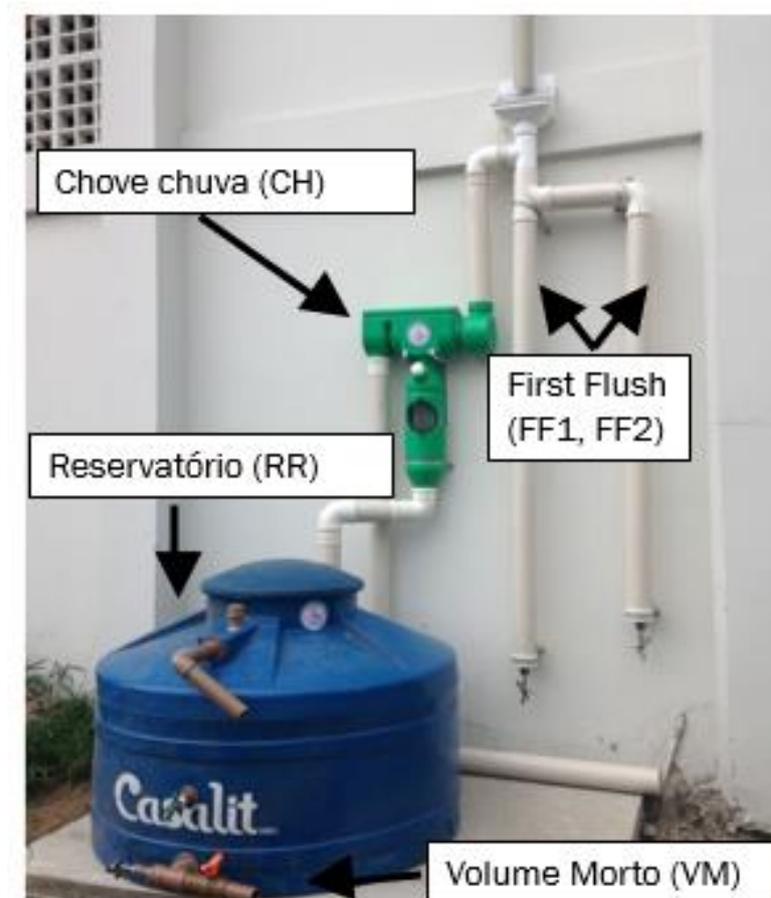
- água potável;
- descargas sanitárias;
- rega de jardins;
- lavanderia;
- lavagem de carros;
- reabastecimento de piscinas domésticas;
- combate à incêndios;
- redução dos caudais e volumes de pico das águas pluviais e de abastecimento de água;

- adaptação em edificações, inclusive em áreas urbanas de alta densidade e
- redução dos efeitos de ilhas de calor em paisagens urbanas de alta densidade.

### 1.5.1 Componentes Principais de Sistemas de Captação de Águas Pluviais

Sistemas de aproveitamento de águas pluviais (SAP) constituem-se de instalações hidráulicas prediais a partir do uso de coberturas em edificações e coleta das precipitações pluviométricas efetivas ou escoadas de determinadas áreas impermeáveis, com o devido armazenamento em reservatórios de acumulação, para uso imediato ou ao longo do tempo, nas instalações que conduzem a água até o ponto de consumo (TOMAZ, 2010) (Figura 9).

Figura 9 - Sistema de aproveitamento de água pluvial



Fonte: Próprio autor, 2018.

Segundo Novak *et al.* (2014) o SAP é composto de componentes principais que incluem:

- área de captação: telhados de prédios, caso outra superfície seja utilizada pode ser necessária filtração;
- calhas e condutores: o escoamento do telhado é transportado para um sistema de coleta de água da chuva por meio de calhas, sendo que outras tubulações podem ser incluídas, e o material pode ser metálico ou de policloreto de polivinila (PVC);
- *first flush*: separação dos primeiros milímetros de chuva que contém altos níveis de poluentes provenientes do telhado e são incorporados durante o evento de precipitação, cujo descarte ocorre por meio de sistemas de filtração com tubulações de modo que a chuva inicial é desviada do reservatório;
- tela: utilizada para remover os sólidos mais grosseiros e
- reservatório: tanques ou cisternas utilizados para armazenar a água de chuva, podendo ser enterrado, elevado ou apoiado.

Determinados sistemas utilizam a etapa de filtragem, considerada essencial no controle de partículas e sedimentos, sendo necessário realizar a limpeza e a troca de filtros de acordo com as recomendações dos fabricantes para garantir o controle dos níveis de turbidez (TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD, 2006).

A sujeira causada pelo vento, fezes de pássaros e outros animais, folhas, insetos e lixo nas áreas de captação, como telhados e cisternas, podem contaminar a água da chuva, assim como partículas da atmosfera como fuligem de pneus. A limpeza regular das superfícies de captação e calhas deve ser realizada para minimizar o acúmulo de detritos (OMS, 2011).

## 1.6 Qualidade da Água de Chuva

Um dos desafios na utilização das águas de chuva é a introdução de sistemas de captação e armazenamento de águas pluviais na comunidade. A percepção dos usuários é que esta fonte de abastecimento não é segura.

Outra barreira é a ausência de legislação que defina os parâmetros de qualidade de água de chuva para fins potáveis, apenas a água dos sistemas municipais de abastecimento possuem parâmetros definidos desta forma, a utilização da água de chuva é reduzida para fins menos nobres.

Águas pluviais contém contaminantes assim como em outras fontes de captação contudo, a partir do tratamento a água torna-se própria para a utilização para fins potáveis e não potáveis em todo o mundo (NOVAK *et al.*, 2014). A qualidade dessa água é alterada de acordo com a poluição atmosférica, os materiais utilizados na construção do sistema de captação e a limpeza desse sistema.

A qualidade da água de chuva é considerada boa e geralmente igual à água tratada na rede pública nos países em desenvolvimento, com poucos casos de doenças ligadas ao consumo de águas armazenadas em cisternas (HEIJNEN, 2012).

Segundo Tomaz (2010), a qualidade da água de chuva é dividida em quatro etapas:

- antes de atingir o solo: Influência dos aerossóis marinhos, terrestre ou de atividades antrópicas de acordo com a localização;
- após a passagem pela superfície de captação: A água entra em contato com o revestimento do telhado como telhas fibrocimento, chapas metálicas e tinta, além da contaminação pelas fezes de pássaros e outros animais, folhas de árvores e poeiras e
- qualidade da água de chuva no reservatório: A chuva pode conter metais pesados que podem ser depositados no fundo do tanque de armazenamento, os microorganismos presentes no telhado e nos condutores podem chegar ao reservatório além disso, é necessário evitar a entrada de luz para impedir o crescimento de algas e tampar o reservatório. A limpeza periódica é importante e caso a água de chuva seja utilizada para fins potáveis deverá atender a legislação de potabilidade de água.

A Norma Brasileira (NBR) nº 15527 de 2007 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define alguns parâmetros de qualidade de água de chuva como: coliformes totais e termotolerantes, cloro residual, turbidez, cor e pH.

As bactérias coliformes termotolerantes são indicadoras de poluição por esgoto doméstico e ocorrem no trato intestinal de animais com sangue quente. A sua presença em altas concentrações pode indicar a existência de microorganismos que transmitem doenças de veiculação hídrica (ANA, 2018).

Coliformes totais são constituídos por bacilos gram-negativos, anaeróbios facultativos ou aeróbios, oxidase negativos, não formadores de esporos, e podem desenvolver na presença

de agentes tensoativos ou de sais biliares que fermentam a lactose produzindo gás, aldeído e ácido e capaz de apresentar atividade enzimática  $\beta$  galactosidase (FUNASA, 2013).

O cloro é um produto químico utilizado na desinfecção da água e a turbidez é definida como a redução da transparência de uma amostra aquosa devido à presença de material em suspensão (ANA, 2011).

A cor indica a presença de substâncias dissolvidas na água, sendo um parâmetro de aspecto estético e o pH determina se a água é alcalina ou ácida sendo recomendado acompanhar este parâmetro para preservar as tubulações contra entupimentos ou corrosões. Este parâmetro não traz risco sanitário (SABESP, 2018), a Tabela 1 apresenta alguns parâmetros analisados em águas pluviais.

Tabela 1 – Resultados da caracterização de águas pluviais de acordo com a literatura

| Local                           | Referência                     | Cl <sup>-</sup> | Condutividade | pH        | Turbidez | Ca         | Cd    | Cu     | Fe       | K        | Mn   | Na       | Ni       | Pb        | Zn           |
|---------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------|-----------|----------|------------|-------|--------|----------|----------|------|----------|----------|-----------|--------------|
| Juiz de Fora - Brasil           | Cerqueira <i>et al.</i> , 2014 |                 | 11,3          | 5,77      |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
|                                 | GUIMARÃES <i>et al.</i> ,      |                 |               |           |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
| Rio de Janeiro - Brasil         | 2016                           |                 | 25-398        | 5,65±0,7  | 0-800    |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
| Rio de Janeiro - Brasil         | De Mello, 2001                 |                 |               | 4,77      |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
|                                 | De Mello; De Almeida,          |                 |               |           |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
| Itatiaia - Brasil               | 2004                           |                 |               | 4,9       |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
| Ilha Grande - Brasil            | SOUZA <i>et al.</i> , 2006     |                 |               | 5,22      |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
| São Paulo - Brasil              | LEAL <i>et al.</i> , 2004      |                 | 13            | 5,19      |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
|                                 | PAULIQUEVIS <i>et al.</i> ,    |                 |               |           |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
| Amazônia - Brasil               | 2007                           |                 |               | 4,9       |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
| Juiz de Fora - Brasil           | MIMURA <i>et al.</i> , 2016    |                 | 17,1          | 6,6       | 0        |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
| Juazeiro - Brasil               | SILVA <i>et al.</i> , 2017     |                 |               | 6,8       |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
|                                 | MIGLIAVACCA <i>et al.</i> ,    |                 |               |           |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
| Guafba - Brasil                 | 2005                           |                 | 8,21          | 5,72      |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
|                                 | VIEIRA-FILHO;                  |                 |               |           |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
|                                 | LEHMANN;                       |                 |               |           |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
| Cubatão - Brasil                | FORNARO, 2015                  |                 |               | 4,8       |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
| Londrina - Brasil               | PELICHO <i>et al.</i> , 2006   |                 |               | 5,79      |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
| Marais Vernier - França         | CONNAN <i>et al.</i> , 2013    |                 |               |           |          |            |       |        |          |          |      |          | 0,3-1,15 | 0,08-0,73 | 2,4-22,9     |
| Mekong Delta - Vietnã           | WILBERS <i>et al.</i> , 2013   |                 |               | 7,1       | 2        |            | 0,2   | 0,9    | 13,2     |          | 2    | 124,6    | 0,4      | 5         | 83,8         |
| Teerã – Iran                    | KAMANI <i>et al.</i> , 2014    |                 |               | 5,1       |          |            | 0,67  | 21,42  | 234,9    |          |      |          | 7,14     | 69,72     | 80,93        |
| Campo de Cartagena –<br>Espanha | ALCOLEA <i>et al.</i> , 2015   | 4000-23000      | 76-930        | 7,0-7,9   |          |            |       | 0,07-7 | 3-88     |          |      |          | 0,1-8    | 0,01-24   | 0,0001-0,027 |
| Malásia                         | NADZIR <i>et al.</i> , 2017    |                 |               |           |          | 390        |       | 2,39   | 19,7     | 230      | 2,43 | 150      | 1,56     | 2,19      | 28,12        |
|                                 | ANIL; ALAGHA;                  |                 |               |           |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
| Istambul - Turquia              | KARACA, 2017                   |                 |               |           |          | 2180       | 1,08  | 11,6   | 316      | 484      | 14,3 | 2140     | 10,1     | 3,77      | 104          |
|                                 | IGBINOSA;                      |                 |               |           |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
| Edo - Nigéria                   | AIGHEWI, 2017                  | 29330-46040     | 5-130         | 4,55-6,75 | 1,5-20,5 | 3250-33500 | 0-750 | 0-70   | 250-6650 | 185-4335 |      | 50-11200 |          |           | 150-750      |
|                                 | AL-KHASHMAN,                   |                 |               |           |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |
| Eshidiya - Jordânia             | 2005                           | 121,5±29,94     | 194,10±142,84 | 6,62±0,68 |          |            |       |        |          |          |      |          |          |           |              |

Unidade: Metais e Cl<sup>-</sup> (µg L<sup>-1</sup>), Turbidez (UNT), Condutividade (µS cm<sup>-1</sup>).

## 1.7 Características dos Metais e Efeitos no Meio Ambiente

As fontes principais de metais na atmosfera são especialmente o refino de produtos derivados do petróleo, incineradores de resíduos, queima de carvão, indústrias e tratamento com metais (níquel), tráfego rodoviário (chumbo e cádmio) (CONNAN *et al.*, 2013) e fontes naturais.

Os metais não são totalmente degradáveis em formas não tóxicas, no entanto podem ser transformados em formas insolúveis, diversos organismos aquáticos bioconcentram metais como peixes e seus consumidores (BAIRD, 2011).

A presença de metais é significativa em áreas urbanas, na forma de óxidos e cloretos. Alguns elementos são tóxicos para a população como: cromo hexavalente, cádmio, chumbo, níquel, mercúrio, berílio e arsênio. No entanto, possuem efeitos favoráveis ao sistema imunológico e funções celulares nos seres humanos certos elementos, como: cobre, ferro, zinco e manganês (MARTINS, 2008).

O chumbo (Pb) é utilizado em telhados, isolamento acústico, munições, pigmentos e chapas, sendo a sua presença na água potável responsável por cerca de um quinto do chumbo ingerido por norte-americanos via alimentação, podendo causar a deterioração nos ossos em adultos ou interferir no desenvolvimento do cérebro em crianças (BAIRD, 2011).

O quinto elemento mais encontrado no planeta correspondendo a 3,5 % da composição na crosta terrestre, o cálcio (Ca), é considerado o elemento mais abundante no corpo humano, importante no crescimento dos ossos, dentes, coagulação do sangue e contração muscular. No meio ambiente, o cálcio reage com o oxigênio, ar e água, sendo encontrado principalmente na forma de rochas (PEIXOTO, 2004a).

Utilizado na produção de plásticos, na siderurgia e baterias, o cádmio (Cd) é liberado no meio ambiente por meio das águas residuais, pela poluição do ar e fertilizantes. Na água potável, impurezas nos tubos e soldas podem levar a contaminação, além disso, as principais fontes de exposição a este elemento é pela alimentação e pelo fumo (OMS, 2011).

No meio aquático o cobre na forma livre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) e na forma lipossolúvel são as frações mais biodisponíveis, com maior facilidade de penetrar na membrana celular dos organismos. Em baixas concentrações, o cobre na forma livre é um elemento necessário aos organismos aquáticos, porém, em altas concentrações pode ocasionar alterações no metabolismo dos organismos até a morte.

Um dos elementos mais conhecidos presentes na crosta terrestre é o ferro (Fe), necessário ao corpo humano e à indústria. O íon  $\text{Fe}^{2+}$  é constituinte da hemoglobina, responsável pelo transporte de oxigênio até os pulmões. O ferro possui alta resistência mecânica e baixo custo e está presente em ligas metálicas como o aço e em diversos produtos do cotidiano (MEDEIROS, 2010).

O potássio (K) é encontrado com facilidade na forma de sais como o nitrato de potássio e clorato de potássio na produção de explosivos, além da presença em fertilizantes como cloreto de potássio substituto do sal de mesa (PEIXOTO, 2004b).

O manganês (Mn) atua no crescimento das plantas, no processo de fotossíntese e na fabricação de ligas metálicas. O Mn é o terceiro metal mais importante na dieta humana após ferro (Fe) e zinco (Zn), e quimicamente é altamente reativo. O íon  $\text{Mn}^{2+}$  é o mais estável, contudo, o consumo excessivo de  $\text{Mn}^{2+}$  pode causar problemas respiratórios e desordens motoras e neurológicas (ROCHA; AFONSO, 2012).

Presente no organismo dos seres vivos e em processos que envolvem membranas pelo equilíbrio dos íons de potássio e sódio, o sódio (Na) faz parte da composição do sal de cozinha que consumido em excesso pode causar danos à saúde como hipertensão. Este elemento também encontra-se na indústria de: medicamentos, têxtil, vidros, tintas, papel e alimentos (PEIXOTO, 1999).

Elemento abundante encontrado nos solos, em emissões vulcânicas, oceanos e em ligas com outros metais, e no ar, o Níquel (Ni) adere nas partículas de poeira depositadas no solo ou são removidas na chuva, cujos efeitos adversos são as reações alérgicas (ATSDR, 2018). A Agência Internacional para Pesquisa do Câncer (2018) relata que alguns compostos de níquel são cancerígenos em humanos.

Biologicamente o Zinco (Zn) é um dos metais necessários para a manutenção de várias formas de vida, participando na síntese de proteínas, manutenção do equilíbrio ácido-base no organismo e nas percepções de sabor e odor. O Zn é encontrado em combinações de oxigênio, enxofre, ligas metálicas (MEDEIRO, 2012), em alimentos e na água potável (OMS, 2011).

## **1.8 Espectroscopia de Absorção Atômica**

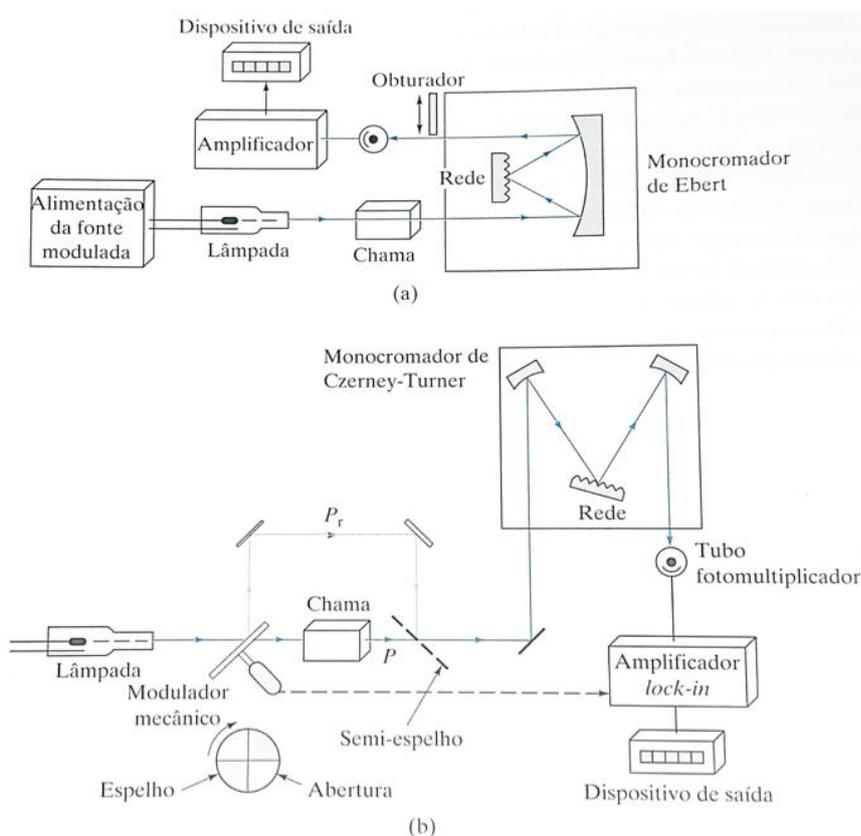
Segundo Vogel (2013), no momento em que uma solução contendo íons de um metal é introduzida em uma chama forma-se um vapor com átomos do metal. Alguns átomos na fase gasosa podem emitir radiação, entretanto a maioria dos átomos não sofre excitação, permanecendo no estado fundamental. Esses átomos absorvem energia em determinado

comprimento de onda de ressonância, e a quantidade de luz absorvida é proporcional ao número de átomos que estão no estado fundamental na chama, este é o princípio da Espectroscopia de Absorção Atômica (EAA).

A EAA com atomização em chama é uma técnica robusta e bem estabelecida, implantada em laboratórios para análises químicas em grande escala (FERNANDES; MORAES; GOMES NETO, 2003), sendo considerada uma das principais técnicas utilizadas na determinação de baixa concentrações de elementos (RIBEIRO; ARRUDA; CADORE, 2002).

Os instrumentos utilizados na absorção atômica são: uma fonte de radiação, um suporte para amostra, um processador de sinais e um detector e dispositivo de saída. A lâmpada de cátodo oco é a fonte para medição mais utilizada nesta técnica, constituída de ânodo de tungstênio e de um ânodo cilíndrico selado em tubo de vidro preenchido com neônio ou argônio. O catodo é feito com o metal a ser analisado ou com uma cama desse metal, a mistura de ar e acetileno é utilizada para análise de cerca de 30 metais (HOLLER, 2009) (Figura 10).

Figura 10 - Esquema de espectrômetros de chama: (a) configuração com feixe simples e (b) configuração com feixe duplo



Fonte: HOLLER, 2009.

Apesar do alto custo inicial da aquisição do equipamento, é uma técnica de baixo custo operacional, sendo os principais custos a aquisição dos padrões analíticos, ácidos e gases como: ar comprimido, acetileno e óxido nitroso.

### 1.9 Estatística Aplicada por meio da *Linguagem R*

A Linguagem R (R CORE TEAM, 2018) é aplicada para tratar dados numéricos utilizando a estatística multivariada. O resultado de um experimento químico envolve a análise de diversas variáveis inter-relacionadas. A análise de agrupamento hierárquico e componentes principais são técnicas consideradas fundamentais na análise de dados químicos (MOITA NETO; MOITA, 1998). Para isso, um pacote R denominado de *FactorMineR* é aplicado para dados multivariados. As características deste pacote são a utilização de diferentes estruturas de dados, variáveis quantitativas ou categóricas, além da disponibilidade de vários tipos de gráficos (LÊ; JOSSE; HUSSON, 2008).

A Análise de Componentes Principais (ACP) é o método de análise exploratória que tem como objetivo a redução de dimensão, podendo ser usada para visualização de dados multivariados por transformação de gráficos de dispersão de variáveis altamente correlacionadas em um menor conjunto de variáveis latentes não correlacionadas. Em análises de dados químicos a ACP é considerada adequada e de boa aceitação científica (LUNA *et al.*, 2014).

A ACP promove uma transformação linear nos dados de modo que os valores resultantes dessa transformação tenham seus componentes mais relevantes nas primeiras dimensões, em eixos denominados principais, com menor perda possível da informação (LYRA *et al.*, 2010).

A análise da correlação linear de *Pearson* é um método utilizado na estatística para identificar o comportamento de uma variável em relação à outra, de modo a verificar se as variáveis são independentes ou dependentes (CONCEIÇÃO *et al.*, 2011). Outra forma de análise linear de dados agrupados é por meio do dendrograma com a formação de *clusters*.

A análise de *cluster* é o termo aplicado a um número de técnicas que procuram dividir um conjunto de objetos em várias *clusters* ou grupos, de modo que os objetos dentro do mesmo grupo sejam mais semelhantes entre si do que os objetos em grupos diferentes (BRATCHELL, 1989).

## 1.10 Legislação e Norma

O aproveitamento da água de chuva por meio de sistemas de captação e armazenamento é utilizado em diversas regiões do país. A utilização de águas pluviais no Brasil, apesar do crescente uso para fins menos nobres e para o consumo humano em áreas onde a chuva é a principal fonte de abastecimento, não possui uma legislação específica relacionado aos metais e capaz de definir um padrão único para cada uso final em edifícios.

As cidades de Tóquio, Sidney e Berlim, assim como os estados da Califórnia, Flórida e Texas ou ainda países como Reino Unido, Alemanha e Austrália têm adotado legislação específica para o aproveitamento da água da chuva (GONÇALVES, 2006). Na forma de guia, sendo disponibilizados a sociedade e apoiados pela administração pública.

A utilização de legislação de água potável em análises de águas pluviais é frequentemente aplicada em diversos estudos para a determinação de possíveis usos (ALCOLEA *et al.*, 2015; DESPINS; FARAHBAKHS; LEIDL, 2009; IGBINOSA; AIGHEWI, 2017; MAGYAR *et al.*, 2008; OLAOYE; OLANIYAN, 2012; YAZIZ *et al.*, 1989). Como as Diretrizes para Qualidade de Água Potável da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2011), as Diretrizes Australianas para Gestão da Qualidade da Água ((NHMRC; NRMCC, 2011) e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2009).

Apesar de projetos de utilização da chuva terem sido estabelecidos em muitos países, as recomendações tem como propósito a conservação da água. Sem considerar outros benefícios associados à natureza de múltiplos propósitos de sistemas de captação e armazenamento de águas pluviais (CAMPISANO *et al.*, 2017).

No âmbito nacional, o Conselho Nacional do Meio Ambiente por meio da Resolução no. 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, definindo os parâmetros de qualidade de água para os rios que de acordo com a classe podem ser utilizados como fonte de abastecimento de água potável.

A Portaria no. 05/2017 do Ministério da Saúde trata dos procedimentos de controle e monitoramento da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Além das recomendações da OMS, a portaria padroniza limites para outros metais, dessa forma a legislação do Ministério da Saúde (MS) foi selecionada para a comparação de resultados (Tabela 2).

Tabela 2 – Parâmetros para verificação de padrão da qualidade de água conforme a Portaria no. 05/2017 do MS

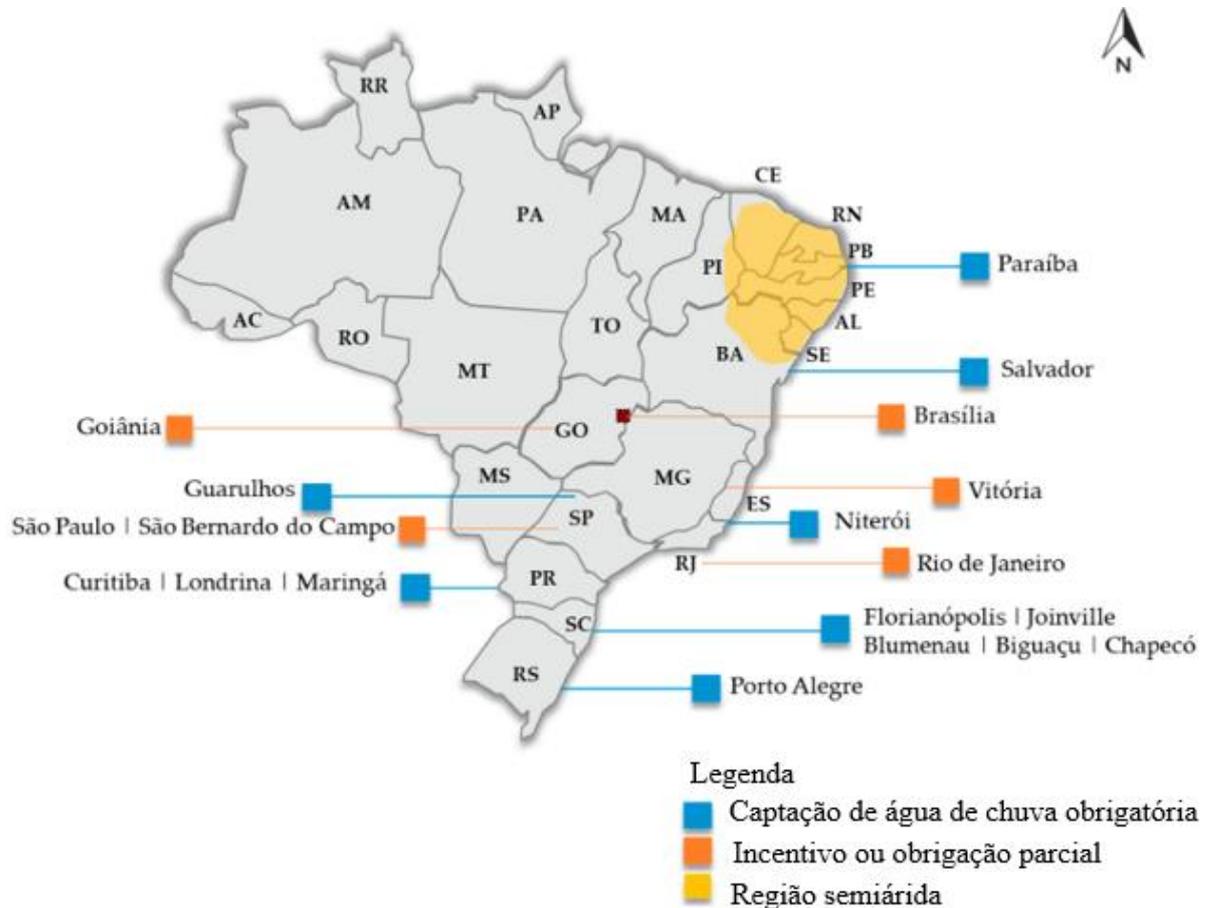
| Parâmetros    | Portaria no. 05/2017 |
|---------------|----------------------|
| Cálcio        | ND                   |
| Cádmio        | 0,005                |
| Cobre         | 2                    |
| Ferro         | 0,3                  |
| Potássio      | ND                   |
| Manganês      | 0,1                  |
| Sódio         | 200                  |
| Níquel        | 0,07                 |
| Chumbo        | 0,01                 |
| Zinco         | 5                    |
| pH            | 6,0 - 9,5            |
| Turbidez      | 5                    |
| Cloreto       | 250                  |
| Condutividade | ND                   |

Legenda: ND: não disponível; unidades em mg L<sup>-1</sup>, exceto para Turbidez (UNT) e pH (adimensional).

Fonte: Adaptado de MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017.

As políticas públicas e a legislação brasileira relacionada à captação de águas pluviais no Brasil estão em fase inicial, necessitando de maior incentivo pelas autoridades, onde em determinadas regiões a utilização da água da chuva ainda é facultativa (Figura 11). Em geral, as iniciativas de uso dessa água tem como objetivo o desenvolvimento da região semiárida e do abastecimento familiar, mas para o restante do país a água da chuva ainda não é parte fundamental da cultura da construção civil (TESTON, 2018).

Figura 11 - Mapeamento de cidades com legislação própria relacionada à captação de águas pluviais ou manejo da água.



Fonte: Adaptado de TESTON, 2018.

A NBR 15527 (2007) apresenta parâmetros de qualidade para sistemas de captação e armazenamento de água de chuva para fins não potáveis, no entanto não trata de todos os parâmetros físico-químicos. A sua utilização não é obrigatória, sendo uma recomendação para a instalação e monitoramento do sistema de águas pluviais.

A Lei no. 4248/2003 instituiu o programa de captação de águas pluviais no estado do Rio de Janeiro, com o objetivo de oferecer aos habitantes educação e treinamento visando a captação de águas pluviais e maior conscientização no ciclo das águas.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Caracterização do Local de Estudo

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), o estado do Rio de Janeiro possui densidade demográfica de 365,23 hab km<sup>-2</sup> e população estimada em 17.159.960 pessoas.

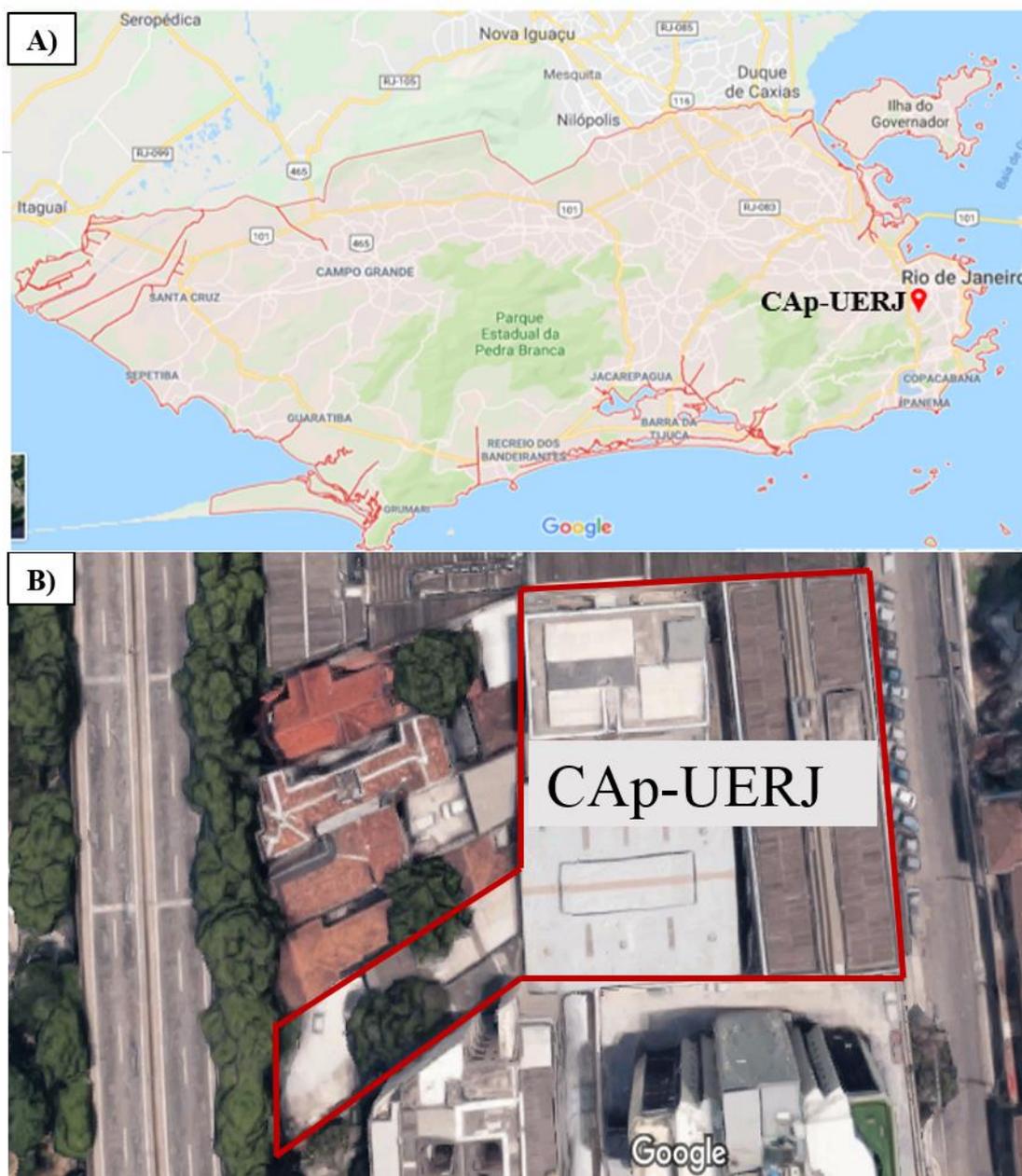
A região metropolitana do Rio de Janeiro possui taxa de urbanização próxima de 99 % e a segunda maior concentração de veículos, indústrias e população do Brasil, responsáveis por graves problemas na qualidade do ar (MARTINS *et al.*, 2014a).

Cerca de 36 % da área da cidade do Rio de Janeiro são cobertas por vegetação, com destaque para o Parque Nacional da Tijuca que possui 39,53 km<sup>2</sup> (BRAGA; ARBILLA; SILVA, 2018). A Floresta da Tijuca é uma área de floresta tropical montanhosa, formando uma barreira natural à circulação de ar (SILVA; SILVA; CORRÊA, 2016). É considerada a maior floresta secundária urbana do mundo (SILVA *et al.*, 2016a, 2016b) e está localizada próximo ao Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira ou Colégio de Aplicação (CAp-UERJ).

O sistema de captação e armazenamento de águas pluviais encontra-se localizado no CAp-UERJ, nas coordenadas geográficas 22° 55' 39,39" S 43° 12' 30,38" W, no bairro do Rio Comprido, região centro-norte da cidade do Rio de Janeiro (Figura 12).

O bairro do Rio Comprido é uma das principais zonas de transição entre as regiões norte e sul da cidade através da Avenida Paulo de *Frontin* e do Elevado Engenheiro *Freyssinet* ambos com intenso tráfego de veículos. A estação pluviométrica da Tijuca vizinha ao bairro, apresenta elevadas precipitações pluviométricas anuais, ocupando a 13<sup>a</sup> posição em relação as maiores precipitações acumuladas no ano de 2015, comparado as 33 estações telemétricas da cidade do Rio de Janeiro (ALERTA RIO, 2017).

Figura 12 - Localização do CAP-UERJ na cidade do Rio de Janeiro (A) e imagem 3D do CAP-UERJ (B)

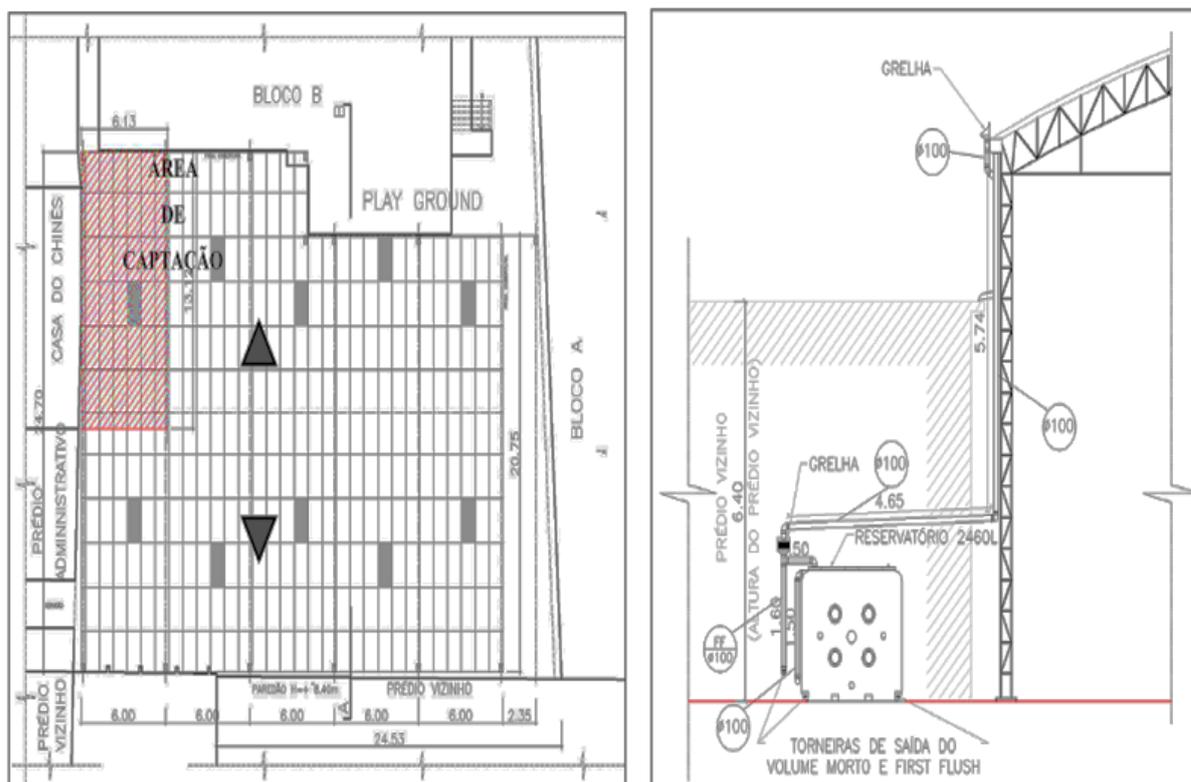


Fonte: (A) GOOGLE, 2018. (B) GOOGLE EARTH, 2018.

### 2.1.1 Sistema de Captação e Armazenamento de Águas Pluviais (SAP)

O sistema de coleta e armazenamento de águas pluviais é composto por telhas de aço galvanizado, calhas de chapa metálica galvanizada e condutores verticais e horizontais em PVC, com área de captação de 80 m<sup>2</sup>, localizada no telhado da quadra poliesportiva do CAP-UERJ (Figura 13).

Figura 13 - Planta do telhado da quadra poliesportiva do CAP-UERJ e detalhes do sistema de captação de águas pluviais



Fonte: GANEM, 2017.

Durante o evento de precipitação, a água da chuva percorre o telhado, seguindo por meio de condutores para o ponto de filtragem de sólidos grosseiros com a utilização de uma malha inox de 1,0 mm. Em seguida, a água é enviada ao volume de descarte do *first flush* (FF) com capacidade de armazenamento acumulado de 0,20 mm de chuva. Ao atingir este limite a água pluvial segue diretamente para o reservatório de 2.460 litros modelo *fatboy slim* com revestimento de polietileno. Caso o volume do reservatório seja atingido o extravasor é acionado.

O SAP possui um coletor de deposição úmida denominado de Precipitação Direta (PD), de modo que a água da chuva não entra em contato com a superfície do telhado, sendo captada diretamente da atmosfera. O sistema possui capacidade de 5,5 litros, sendo composto por um tubo de PVC de 0,7 m de altura e 100 mm de diâmetro com malha inox para impedir a entrada de contaminantes grosseiros.

### 2.1.2 Determinação dos Pontos de Coleta e Amostragem da Água da Chuva

As coletas de águas pluviais armazenadas no sistema de captação originam-se da seleção de 3 (três) pontos distintos, como a (o):

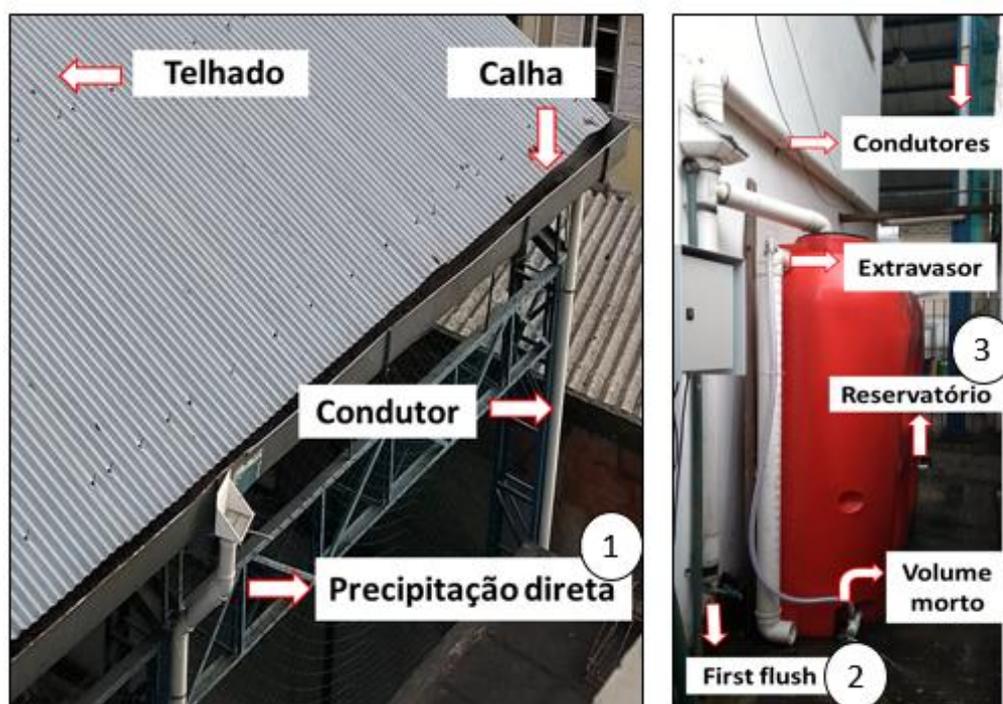
(1) Precipitação Direta (PD): o ponto de coleta sem a interferência do sistema de captação, com influência apenas das condições atmosféricas locais, com capacidade para armazenar até 700,64 mm de precipitação acumulada;

(2) *Fisrt Flush* (FF) a captação inicial da chuva com a mistura da deposição úmida e seca, com capacidade de armazenar 0,2 mm de precipitação e

(3) Reservatório (RR) onde a qualidade da água armazenada avalia a operação do sistema de descarte inicial (FF) e o aproveitamento possível de uso da água para fins menos nobres. O ponto RR está localizado cerca de 0,40 metros da cota de fundo do reservatório com capacidade para armazenar até 23,66 mm de precipitação.

Este trabalho desconsidera análises de amostras do volume morto armazenado no reservatório, por priorizar o potencial do aproveitamento e das condições de operação do sistema (Figura 14).

Figura 14 - Pontos de amostragem no sistema de captação e armazenamento de águas pluviais do CAP-UERJ



Fonte: Próprio autor, 2018.

## 2.2 Análises Físico-químicas

### 2.2.1 Coleta e Preservação de Amostras

Foram realizadas 13 campanhas para coleta de amostras da água de chuva no sistema de águas pluviais do CAP-UERJ no período de novembro de 2017 até outubro de 2018, com amostragem coletadas mensalmente em frascos de polietileno de 1 litro. As etapas de preparação e coleta de amostras tiveram como base o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011).

Os procedimentos das análises químicas de metais constituem-se de lavagem especial dos frascos e tampas imersos em solução de ácido nítrico 10 % por 48 h, e posterior enxague com água *MilliQ* por 5 vezes, secos em papel absorvente e armazenados em local seco e limpo para evitar contaminação. Após cada coleta 1 litro de amostra foi filtrada a vácuo com filtro de fibra de vidro de 47 mm (*Merck Millipore*) com 0,7  $\mu\text{m}$  de porosidade e acidificada com  $\text{HNO}_3$  1:1 até  $\text{pH} < 2$  (ANA, 2011). Com o objetivo de aumentar a precisão na quantificação dos metais presentes, as amostras foram concentradas utilizando placa aquecedora com temperatura de 80 a 90 °C para redução do volume de 250 mL para 10 mL. Imediatamente foi adicionado 40 mL de  $\text{HNO}_3$  (3 mol  $\text{L}^{-1}$ ), para posteriormente as amostras serem transferidas para tubos de *Falcon* de 50 mL, pré-lavados com  $\text{HNO}_3$  e armazenadas na geladeira com temperatura de 4 °C até o momento da análise.

A limpeza da frascaria para as análises de pH, turbidez, cloreto, condutividade e compostos orgânicos constituem-se de lavagem dos frascos e tampas com água destilada. Esse procedimento para frascos novos é suficiente para garantir a limpeza dos recipientes (ANA, 2011). As amostras foram conservadas com gelo até a chegada ao laboratório.

Não foi possível realizar o branco em campo devido ao difícil acesso a área do sistema de captação de águas pluviais. O branco foi realizado no laboratório com a água da chuva coletada e  $\text{HNO}_3$  utilizado na lavagem dos frascos e nas análises físico-químicas.

### 2.2.2 Análises de pH, Condutividade, Cloreto e Turbidez

A metodologia de análise é baseada no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012) de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros, equipamentos e métodos de análise das amostras de águas pluviais.

| Parâmetro     | Equipamento                          | Método                 |
|---------------|--------------------------------------|------------------------|
| pH            | pHmetro <i>Quimis - Q400AS</i>       | 4500 H <sup>+</sup>    |
| Condutividade | Condutivímetro <i>Quimis - Q405M</i> | 2510 B                 |
| Turbidez      | Turbidímetro <i>Tecnopon - 1000</i>  | 2130 B                 |
| Cloreto       | -                                    | 4500 Cl <sup>-</sup> B |

Fonte: Próprio autor, 2018.

Na calibração do pHmetro para amostras na faixa ácida foi utilizada a solução tampão pH 4 e para a faixa básica a solução pH 10. O turbidímetro foi calibrado com os padrões de 0,1 UNT, 8 UNT, 80 UNT e 1000 UNT. O condutivímetro foi calibrado com o padrão de condutividade *Digimed DM-S6A*. O cloreto foi determinado por potenciometria em triplicata utilizando 1 mL da solução de cromato de potássio 50 g L<sup>-1</sup> e solução de nitrato de prata 0,013 mol L<sup>-1</sup> para 50 mL de amostra.

### 2.2.3 Metais

A metodologia de análise é baseada no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Os 10 elementos: Cálcio (Ca), Cádmi (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Potássio (K), Manganês (Mn), Sódio (Na), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) foram analisados por meio de Espectroscopia de Absorção Atômica em chama (EAA) método 3-14 com limite de quantificação entre 0,01 e 0,02 mg L<sup>-1</sup>, no equipamento *PerkinElmer AAnalyst 400*, instalado em Resende - RJ, na Faculdade de Tecnologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Para as curvas analíticas utilizaram-se padrões nas concentrações de 10, 50, 100, 300, 500 e 1000 µg L<sup>-1</sup>. Para o Ferro foi utilizado um padrão adicional de 5000 µg L<sup>-1</sup>. O acetileno foi utilizado como combustível para a determinação da concentração dos metais e como oxidante o ar comprimido, com temperatura da chama de 2100 °C – 2400 °C. Entretanto, para o elemento mais refratário como o Ca foi necessária a substituição do ar comprimido pelo óxido nítrico que possui temperatura da chama de 2500 a 3100 °C. A determinação da concentração foi realizada à temperatura ambiente, com água deionizada utilizada entre as análises.

Quando a leitura das amostras encontrava-se acima do ponto máximo da calibração a amostra era diluída com solução de HNO<sub>3</sub>. A curva analítica foi realizada todos os dias previamente à leitura das amostras.

#### 2.2.4 Compostos Orgânicos

Para a determinação dos compostos orgânicos utilizou-se cartuchos *Supelclean 18 SPE* de 100 mg. Os cartuchos foram ativados com adição de 5 mL de metanol e 5 mL de acetonitrila. Em seguida, ocorreu a extração de 1 L de amostra filtrada por meio de *manifold Agilent Technologies VacElut 12*. Posteriormente, os cartuchos foram secos por 5 minutos com nitrogênio, embalados com papel alumínio e armazenados na geladeira até a eluição. A eluição foi feita por meio de 1000 µL de acetonitrila grau HPLC. A determinação dos compostos orgânicos presentes na água de chuva ocorreu por meio de cromatografia de fase gasosa utilizando o equipamento *Varian 450GC*, detector *Varian 220 MS-IT* como detector de espectrometria de massas por armadilha de íons.

A injeção de 1,0 µL de amostra foi realizada a 300 °C com divisão da amostra de 1:20. Foi empregado Hélio 5.0 como fase móvel e uma coluna *Supelco SLB 5MS* de 30 m, 0,25 mm de diâmetro e 0,25 µm de espessura de filme. A programação da coluna iniciou a 40 °C por 4 minutos seguido de rampa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup> até 300 °C.

O detector de massas operou com a armadilha de íons a 250 °C, o *manifold* a 60 °C e a linha de transferência a 280 °C. Foram monitorados os íons de 10 a 100 m/z.

Para a análise qualitativa dos picos cromatográficos obtidos foi realizada a comparação com padrão analítico Supelco BTEX mix 47993.

### **2.3 Período Amostral**

O período úmido da área situada na região do bairro Rio Comprido - RJ compreende os meses entre novembro e abril e o período seco estabelecido entre maio e outubro (GUIMARÃES *et al.*, 2015).

A análise dos dados físico-químicos e pluviométricos das coletas realizadas de 21 de novembro de 2017 até 24 abril de 2018 foram caracterizadas como período úmido (N= 7) e as amostras obtidas entre 23 de maio de 2018 e 01 de outubro de 2018 definidas como período seco (N= 6). As análises dos compostos orgânicos compreendem o período seco do mês de junho de 2018, devido às condições disponíveis do projeto.

## 2.4 Dados Pluviométricos

O pluviômetro semiautomático de báscula modelo *Onset* foi utilizado para obter os dados de chuva a partir da instalação do equipamento no telhado do prédio do bloco B do CAp-UERJ. O local possui fácil acesso, sem interferências adjacentes e livre de obstáculos. O monitoramento consiste de *datalogger* interno para armazenamento de forma automática de dados de chuva (Figura 15).

Figura 15 - Pluviômetro instalado no bloco B do CAp-UERJ



Fonte: Próprio autor, 2018.

Na análise de consistência dos dados pluviométricos do monitoramento realizado no CAp-UERJ, comparado com a estação da Tijuca do Sistema Alerta Rio, a variação acumulada foi de aproximadamente 2%. Os dados pluviométricos do CAp-UERJ e da Tijuca, pelo Método de Dupla Massa revelaram proporcionalidade nas séries observadas com grau de

homogeneidade de 99 % entre os valores de precipitação diária acumulada, numa série composta de 14 meses, entre janeiro de 2016 e fevereiro de 2017 (LEOCADIO *et al.*, 2017). Desta forma, para consistência de dados pluviométricos do local do estudo foram utilizados registros obtidos pelo Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, correspondente ao pluviômetro número 4 situado no bairro da Tijuca. A estação da Tijuca do Sistema Alerta Rio encontra-se distante cerca de 1800 metros do local deste estudo.

## 2.5 Tratamento dos Dados

A Linguagem R, por meio da abordagem estatística multivariada, foi utilizada para analisar e interpretar os dados físico-químicos e meteorológicos utilizando a correlação de *Pearson* com dendrograma, Análise de Componentes Principais (ACP) e teste de *Tukey*. Além da estatística multivariada a Linguagem R foi utilizada de forma descritiva para *boxplot*.

Os resultados das análises físico-químicas foram comparados com a Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde e o *software Excel 2013* foi adotado para a estatística descritiva e a análise da pluviometria.

Para conduzir as análises de componentes principais e correlação linear com dendrograma utilizou-se o pacote *FactorMineR* disponível para a Linguagem R. A ACP é uma das abordagens mais aplicadas em dados ambientais, tem como objetivo encontrar e interpretar relações complexas e ocultas, estruturando os dados em uma dimensão reduzida. Os dados brutos são geralmente inadequados para análises estatísticas devido às diferenças nos tamanhos das variáveis (VIALLE *et al.*, 2011).

O experimento envolveu uma grande quantidade de variáveis físico-químicas e meteorológicas. Desta forma para compreender as relações entre essas variáveis foi necessário separá-las em dois grupos: um grupo para metais e outro grupo para as demais variáveis físico-químicas.

Os parâmetros meteorológicos, como o número de dias secos consecutivos e a intensidade pluviométrica sub-diária foram inseridos nesses dois grupos, como forma de avaliar uma possível correlação. Além disso, os dados foram interpretados por período seco (S) e período úmido (U), justificado pela sazonalidade de determinados parâmetros.

Para a estatística descritiva e *boxplot* todos os resultados foram considerados, porém, na aplicação da ACP e na correlação linear com dendrograma foi necessário desconsiderar variáveis que apresentaram resultados abaixo do limite de quantificação ou que não possuíram variação significativa entre os pontos coletados.

Os dados obtidos da estação da Tijuca do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro foram utilizados para a seleção dos eventos de chuva, cálculo dos Dias Secos Consecutivos (DSC) e da intensidade pluviométrica sub-diária.

O volume de 560 litros corresponde ao necessário para a coleta no ponto do reservatório, de modo a registrar cerca de 7 mm de precipitação acumulada. Este valor foi selecionado como base para a definição dos eventos de chuva que originaram as amostras.

A intensidade pluviométrica sub-diária foi calculada para o primeiro evento de chuva  $\geq$  7 mm ocorrido no período entre as coletas para análises de amostras coletadas no reservatório. O DSC representa o somatório dos dias sucessivos com menos de 1 mm de chuva (ASSAD *et al.*, 1993; BACK *et al.*, 2014, JACOB *et al.*, 2016).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No período de novembro de 2017 a outubro de 2018 foram coletadas 13 amostras de água de chuva armazenadas no sistema de águas pluviais instalado no Instituto Fernando Rodrigues da Silveira (CAp-UERJ). Análises de pH, cloreto, condutividade, turbidez, metais, compostos orgânicos e pluviometria foram realizadas nos pontos da Precipitação Direta (PD), *First Flush* (FF) e Reservatório (RR).

Aplicou-se a correlação de *Pearson* com dendrograma para definir as possíveis fontes de determinados elementos e verificar as relações entre os parâmetros físico-químicos da composição da chuva no CAp-UERJ. A ACP foi aplicada a um conjunto de variáveis, tanto para reduzir sua dimensionalidade quanto para investigar a relação entre os elementos de águas pluviais e as características das possíveis fontes de poluição. O gráfico de *Tukey* foi utilizado para comparar as médias entre os pontos de coleta de determinados parâmetros. A tabela de *Tukey* com todos os parâmetros estão nos Anexos A e B.

Os resultados estão divididos em período seco (S) e úmido ou chuvoso (U) e as médias estão apresentadas com o desvio padrão de cada série. A Portaria nº 5/2017 do Ministério da Saúde foi utilizada como base para comparação dos resultados obtidos, quando possível os limites da legislação foram inseridos no *boxplot*.

#### 3.1 Parâmetros Físico-químicos

De forma geral, os resultados de pH e turbidez estão fora do permitido pela Portaria nº 5/2017 do Ministério da Saúde, entretanto o cloreto encontra-se dentro do limite recomendado pela legislação de 250 mg L<sup>-1</sup>.

A deposição úmida obtida pela precipitação direta (PD) manteve a característica ácida nos períodos seco (S) e úmido (U). Observou-se elevada turbidez nos meses de estiagem considerado no período seco. A estatística descritiva da análise de águas pluviais coletadas diretamente da atmosfera (PD) e após percorrer o telhado (FF, RR) estão apresentadas nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos no período úmido (U)

| Parâmetro                                   | Ponto de coleta | Média | Mediana | Desvio padrão | Mínimo | Máximo |
|---|-----------------|-------|---------|---------------|--------|--------|
| Cloreto<br>( $\leq 250 \text{ mg L}^{-1}$ ) | PD              | 10,45 | 8,77    | 3,41          | 6,82   | 15,60  |
|   | FF              | 6,82  | 6,82    | 3,18          | 2,92   | 11,70  |
|   | RR              | 6,34  | 5,85    | 1,16          | 4,87   | 7,80   |
| Condutividade<br>( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )  | PD              | 50,82 | 41,09   | 24,77         | 21,14  | 93,03  |
|   | FF              | 46,03 | 39,68   | 22,80         | 22,88  | 84,00  |
|   | RR              | 23,14 | 23,51   | 9,87          | 8,85   | 35,73  |
| pH<br>(6,0 – 9,5)                           | PD              | 4,04  | 4,23    | 0,56          | 3,68   | 5,32   |
|   | FF              | 6,15  | 6,20    | 0,31          | 5,86   | 6,64   |
|   | RR              | 5,84  | 6,27    | 0,50          | 5,14   | 6,65   |
| Turbidez<br>( $\leq 5 \text{ UNT}$ )        | PD              | 5,51  | 0,45    | 12,58         | 0,14   | 34,00  |
|   | FF              | 25,31 | 4,20    | 35,23         | 0,60   | 96,00  |
|   | RR              | 0,35  | 0,35    | 0,19          | 0,10   | 0,70   |

PD: Precipitação Direta; FF: *First-Flush*; RR: Reservatório.

Fonte: Próprio autor, 2018.

Tabela 5 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos no período seco (S)

| Parâmetro                                   | Ponto de coleta | Média  | Mediana | Desvio padrão | Mínimo | Máximo |
|---|-----------------|--------|---------|---------------|--------|--------|
| Cloreto<br>( $\leq 250 \text{ mg L}^{-1}$ ) | PD              | 7,38   | 7,80    | 5,47          | 0,97   | 12,97  |
|   | FF              | 9,42   | 4,73    | 13,23         | 0,00   | 34,41  |
|   | RR              | 3,83   | 1,61    | 5,52          | 0,00   | 14,33  |
| Condutividade<br>( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )  | PD              | 165,90 | 153,85  | 109,18        | 48,90  | 353,00 |
|   | FF              | 143,77 | 113,25  | 101,29        | 68,70  | 344,00 |
|   | RR              | 48,92  | 43,10   | 22,47         | 27,90  | 91,20  |
| pH<br>(6,0 – 9,5)                           | PD              | 3,58   | 3,63    | 0,22          | 3,30   | 3,99   |
|   | FF              | 6,35   | 6,33    | 0,12          | 6,23   | 6,58   |
|   | RR              | 6,17   | 6,16    | 0,23          | 5,96   | 6,61   |
| Turbidez<br>( $\leq 5 \text{ UNT}$ )        | PD              | 3,18   | 1,12    | 3,51          | 0,00   | 8,00   |
|   | FF              | 35,96  | 12,10   | 51,41         | 0,00   | 129,00 |
|   | RR              | 1,34   | 1,13    | 0,69          | 0,62   | 2,60   |

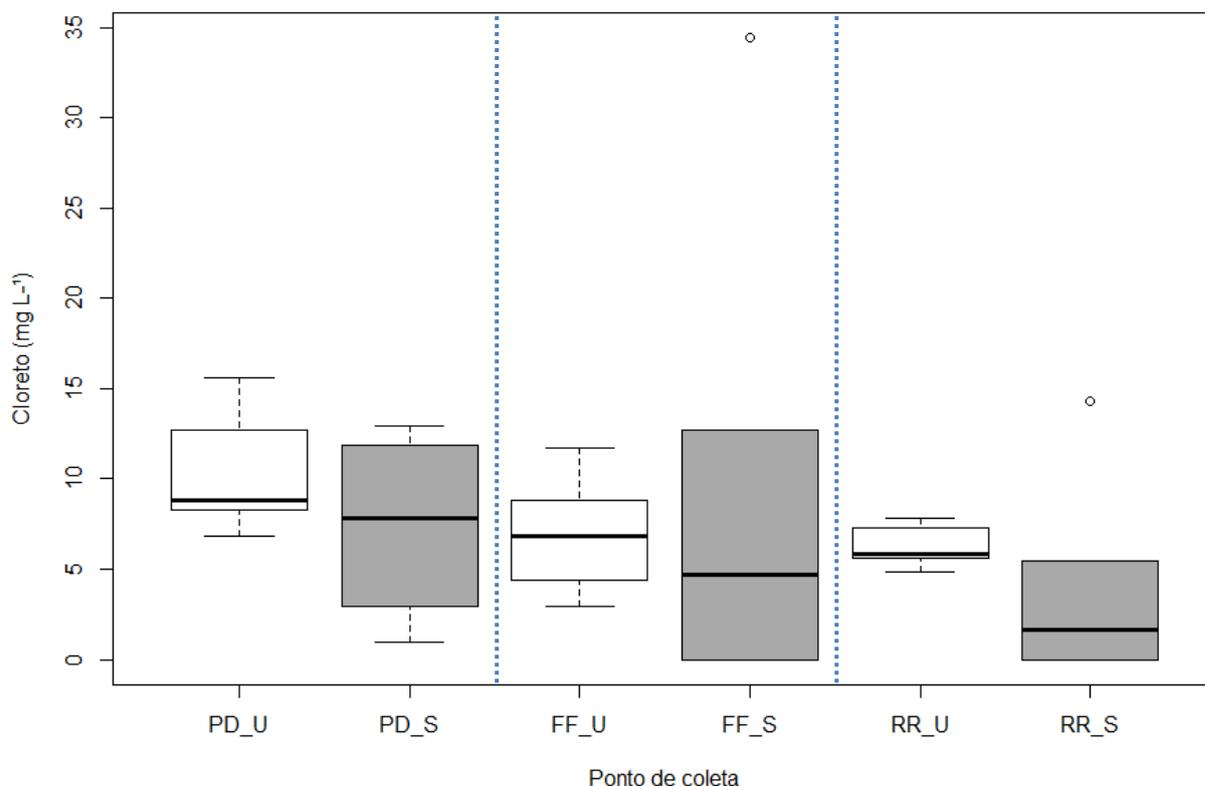
PD: Precipitação Direta; FF: *First-Flush*; RR: Reservatório.

Fonte: Próprio autor, 2018.

### 3.1.1 Cloreto

No geral, as maiores concentrações foram observadas no período seco, contudo as amostras da Precipitação Direta (PD) no período úmido obtiveram a maior média de  $10,45 \pm 3,41 \text{ mg L}^{-1}$ . As amostras coletadas de água da chuva apresentaram concentrações de cloreto dentro do permitido ( $\leq 250 \text{ mg L}^{-1}$ ) de acordo com a Lei no. 05/2017 do Ministério da Saúde (Figura 16).

Figura 16 - *Boxplot* de cloreto para o período úmido (U) e seco (S)



Fonte: Próprio autor, 2018.

A presença de cloreto nas amostras de águas pluviais podem ser influenciadas pelos aerossóis marinhos, devido à proximidade com o mar, como também reportado em estudo realizado na bacia do Alto de Sorocaba no sudeste brasileiro (CONCEIÇÃO *et al.*, 2011) e na Grécia (D'ALESSANDRO *et al.*, 2013) ou pode ser derivado por exemplo, pela dissolução de minerais evaporados da poeira do solo (HAN; WU; TANG, 2012). Além das emissões naturais, o Cl<sup>-</sup> pode ser atribuído a poluição sobretudo de atividades antrópicas como a queima de biomassa, tráfego de veículos e decomposição de compostos organoclorados (NÉGREL; ROY, 1998; PELICHO *et al.*, 2006; SANUSI *et al.*, 1996; TOMAZINI; BONOTTO, 2004).

O período seco resultou numa maior variação das concentrações principalmente nos primeiros milímetros de chuva ou no ponto do FF com mínimo de 0 mg L<sup>-1</sup> e máximo de 34,41 mg L<sup>-1</sup>. Neste ponto ocorre a deposição total, composta pela deposição úmida e deposição seca, o que pode contribuir em maiores concentrações de cloreto. A acumulação e lavagem dos poluentes são processos extremamente dinâmicos, onde a variação é justificada pelas mudanças contínuas dos poluentes ao longo do período seco e ao longo do evento de chuva (WIJESIRI *et al.*, 2016).

### 3.1.2 Condutividade elétrica

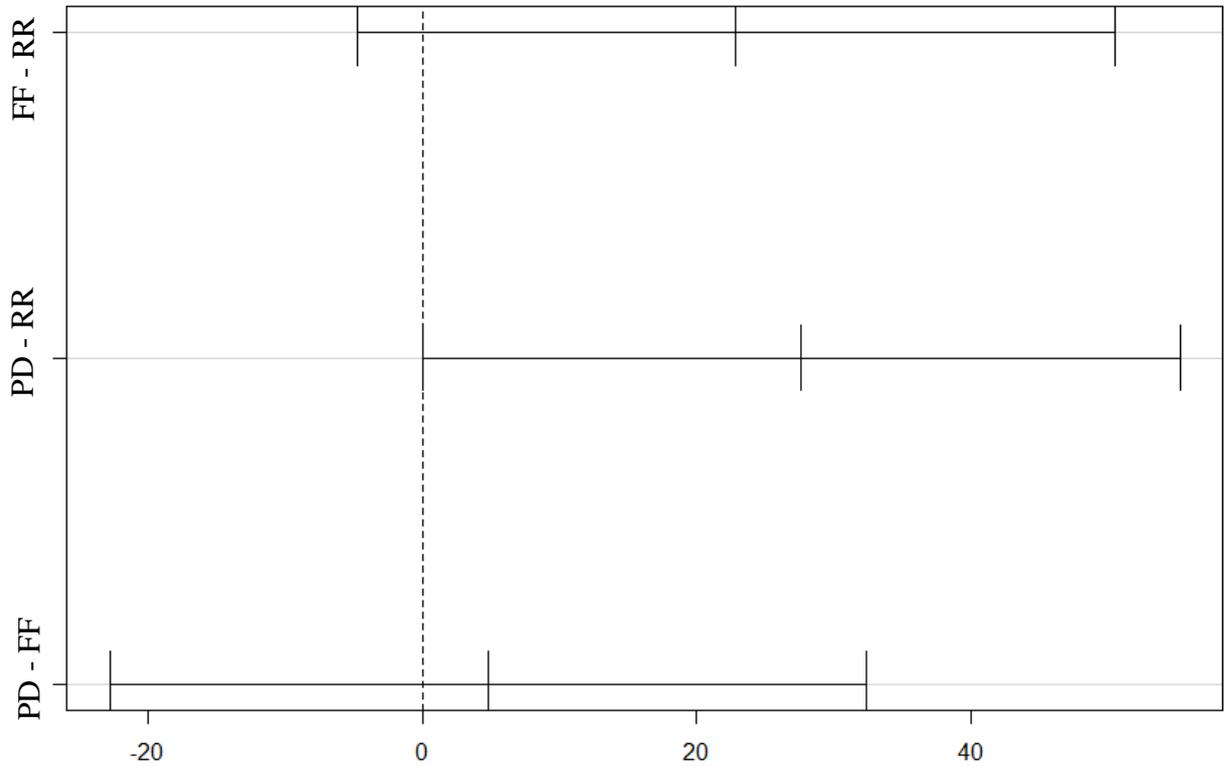
A condutividade elétrica mede a capacidade da água de conduzir corrente elétrica. Por meio da condutividade é medido a pureza da água, pois representa uma medida direta de substâncias ionizáveis, quanto maior a resistência da água em relação a passagem da corrente elétrica, maior a sua pureza (MARTINS, 2008).

A legislação da Portaria nº 5 do MS não cita limites para condutividade. Na avaliação da sazonalidade, o período seco (S) registrou os maiores valores, com as concentrações médias de  $165,90 \pm 109,18 \mu\text{S cm}^{-1}$  no ponto da PD;  $143,77 \pm 101,29 \mu\text{S cm}^{-1}$  no ponto do FF e  $48,92 \pm 22,47 \mu\text{S cm}^{-1}$  no ponto do RR.

Apesar do elevado desvio padrão da condutividade, sobretudo no período seco, as médias encontradas estão estatisticamente iguais de acordo com teste de *Tukey*, que compara as médias duas a duas. Nesse sentido, pode-se considerar que a caracterização dos dados ambientais estão sujeitos a intermitência dos eventos de precipitação e a diversidade dos elementos e fatores meteorológicos, de modo a identificar uma maior variabilidade nos resultados obtidos dos parâmetros físico-químicos.

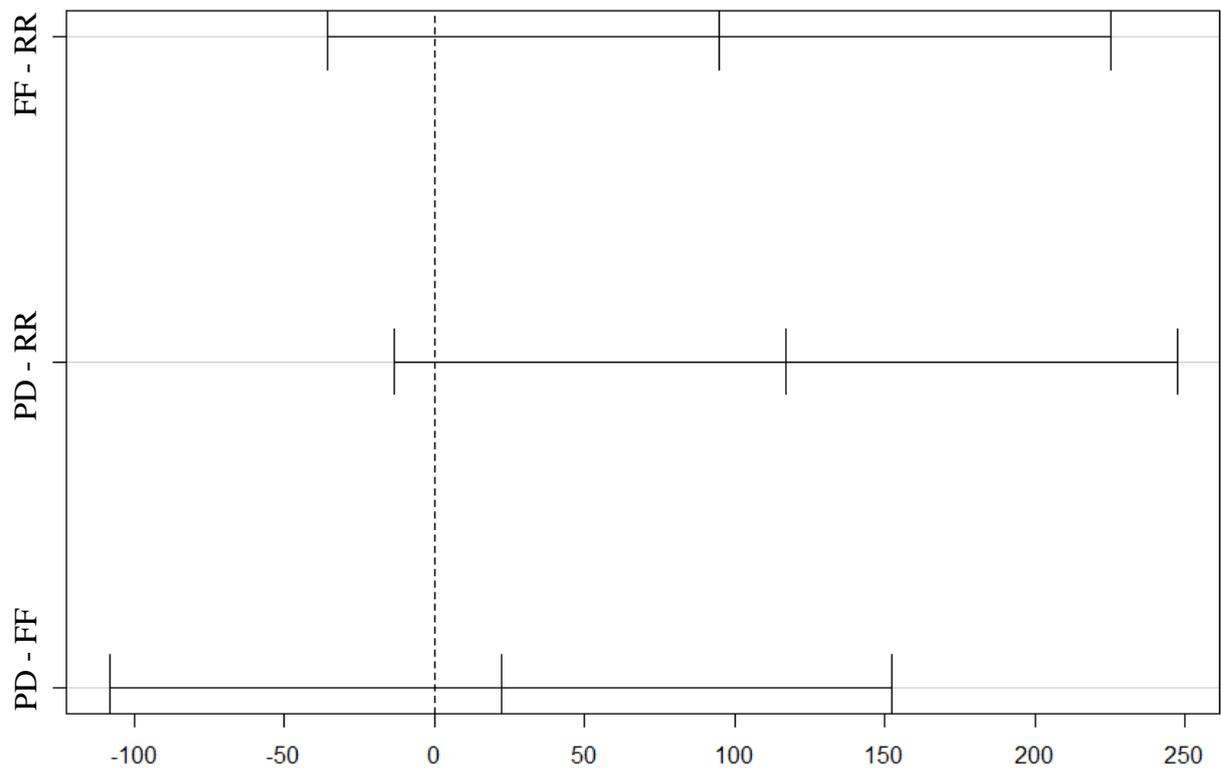
As Figuras 17 e 18 mostram que os períodos mais diferentes são entre PD e RR no período úmido e também no período seco.

Figura 17 - Gráfico de *Tukey* para condutividade nos pontos de PD, FF e RR no período úmido



Fonte: Próprio autor, 2018.

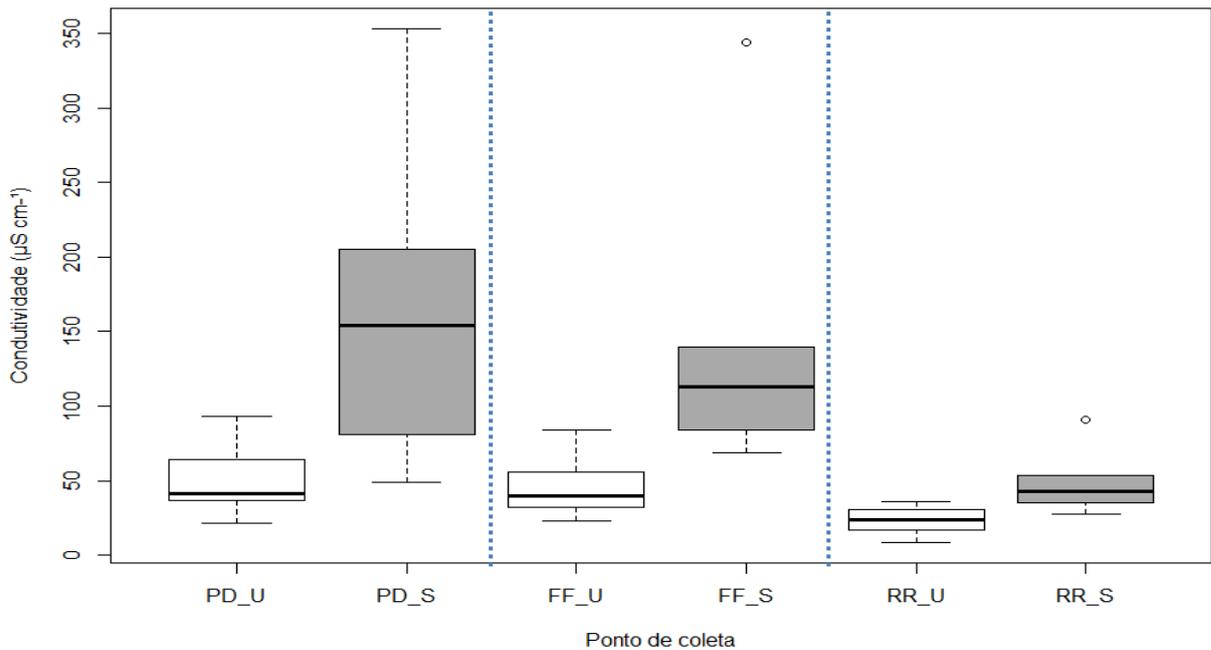
Figura 18 - Gráfico de *Tukey* para condutividade nos pontos de PD, FF e RR no período seco



Fonte: Próprio autor, 2018.

Nos meses mais secos há maior concentração de material particulado, muitos deles na forma de sólidos dissolvidos que se depositam e acumulam na superfície de captação podendo influenciar na condutividade elétrica (Figura 19).

Figura 19 - *Boxplot* de condutividade para o período úmido (U) e seco (S)



Fonte: Próprio autor, 2018.

Foram encontrados valores próximos para condutividade em estudo realizado com diferentes sistemas de armazenamento de águas pluviais na Grécia, o *first flush* localizado em área industrial exibiu condutividade de  $143 \mu\text{S cm}^{-1}$ , similar ao valor do FF encontrado no ponto do CAP-UERJ (GIKAS; VASSILIOS, 2012).

Nos meses chuvosos, a condutividade média encontrada na PD, FF e RR foi respectivamente  $50,82 \pm 24,77 \mu\text{S cm}^{-1}$ ,  $46,03 \pm 22,80 \mu\text{S cm}^{-1}$  e  $23,14 \pm 9,87 \mu\text{S cm}^{-1}$ , valores mais baixos quando comparados ao período de estiagem. Estes resultados demonstram que a chuva promove a limpeza da atmosfera com maior diluição dos analitos em oposição, onde a condutividade exibiu valores mais críticos no período seco (MIMURA *et al.*, 2016). Todas as amostras analisadas resultaram condutividade abaixo de  $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ , de modo a indicar que a água de chuva coletada entre novembro de 2017 e janeiro de 2018 apresentou um baixo nível de mineralização (VIALLE *et al.*, 2011).

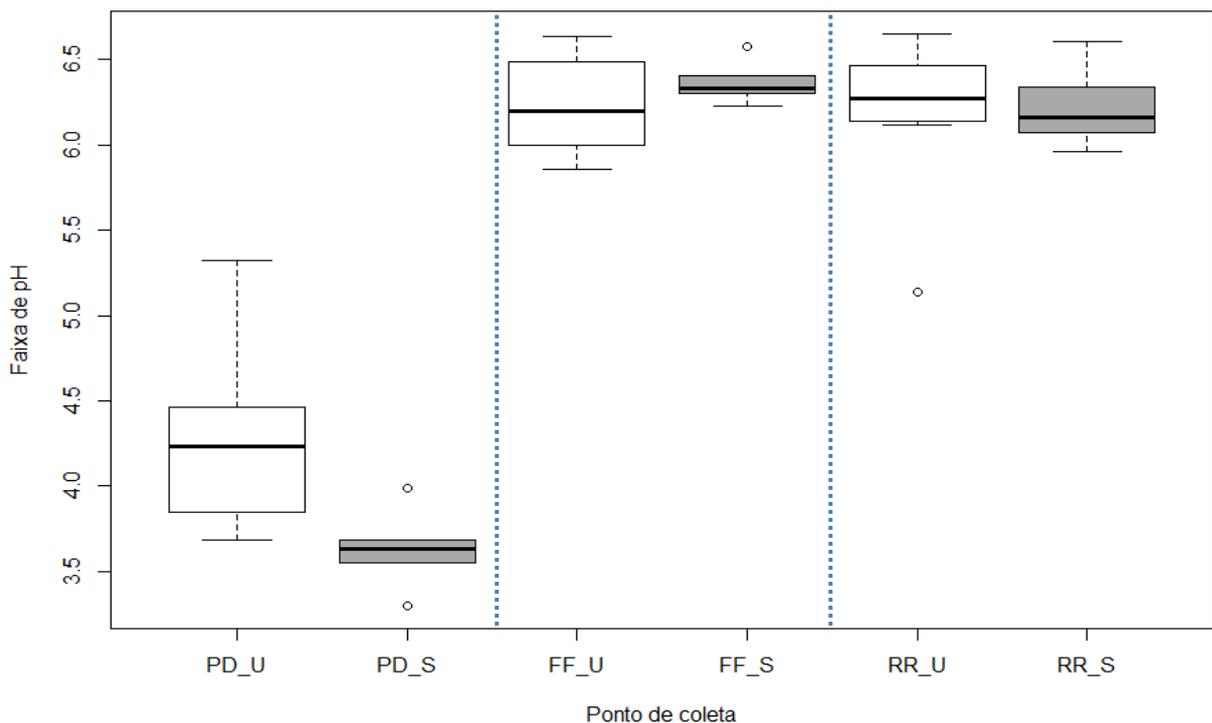
Amostras de água de chuva coletadas diretamente da atmosfera em área rural próxima a floresta na cidade de Guarapuava - PR apresentaram variação de  $4,4 - 24,4 \mu\text{S cm}^{-1}$  (BELÓ;

QUINÁIA; OLIVEIRA; WATZLAWICK, 2009). Em Ganhaizi, e na cidade de Lijiang na China, foram analisadas amostras de águas pluviais. A condutividade observada nesses locais no período chuvoso variou entre 2,14 e 57,2  $\mu\text{S cm}^{-1}$  com média de 11,5  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , cujas diferenças na atividade antrópica podem ser razão para resultados diferentes em cada cidade (NIU *et al.*, 2014). A condutividade destes locais tem variações menores que no CAp-UERJ, situado em área urbana e de elevada concentração de poluição atmosférica de origem veicular.

### 3.1.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os pontos de *First Flush* (FF) e Reservatório (RR) durante todo o período de análise apresentaram média mínima de  $5,84 \pm 0,50$  no RR (U) e máxima de  $6,35 \pm 0,12$  no FF (S). Os resultados estão representados por meio de *boxplot* (Figura 20).

Figura 20 - *Boxplot* de pH para o período úmido (U) e seco (S).



Fonte: Próprio autor, 2018.

A faixa de pH das águas pluviais é geralmente entre 4,0 e 6,0, com o  $\text{NH}_x$  encontra-se ionizado sendo o íon  $\text{H}^+$  resultante do equilíbrio ácido-base na chuva (SOUZA *et al.*, 2006). A água da chuva devido a dissociação do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) dissolvido possui um pH natural de 5,6, contudo este valor pode ser reduzido e a acidez intensificada na presença de poluentes originados de atividades humanas (CHARLSON; RODHE, 1982).

O pH não tem impacto direto na saúde humana porém, o valor reduzido do pH na água pode levar a corrosão em tubulações ou tanques de armazenamento de águas pluviais (LEE *et al.*, 2017).

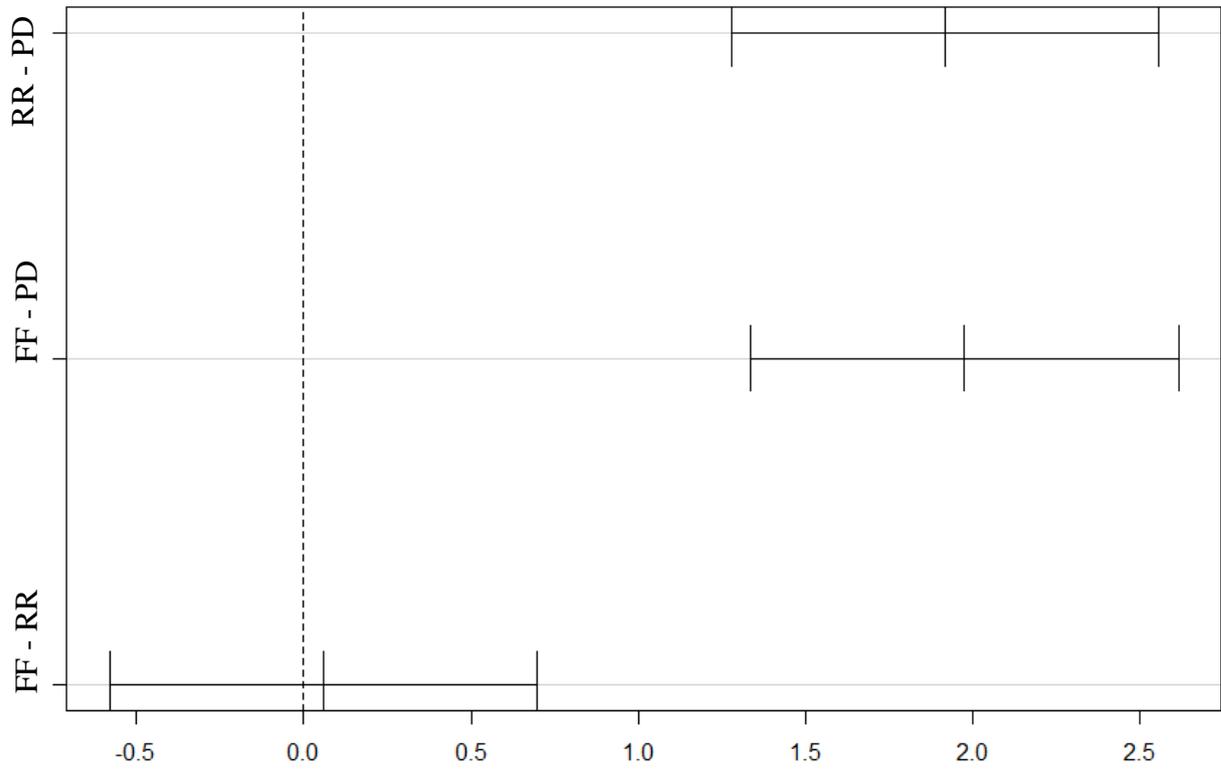
No período úmido ocorre uma maior variação no pH que no período seco, além disso a chuva é mais ácida no período menos chuvoso, como também verificado em pesquisa com água de chuva em Minas Gerais (CERQUEIRA *et al.*, 2014).

Os valores mais altos de pH são encontrados nos pontos onde a água percorreu o telhado (FF e RR), possivelmente em função da deposição de sólidos dissolvidos (HAGEMANN; GASTALDINI, 2016). Provavelmente as fezes de pássaros que são consideradas alcalinas e com concentração de  $\text{NH}_3$  contribuem para o aumento no pH nos pontos de deposição total.

Observou-se a presença de *outliers* nos pontos de PD, FF e RR. Esses valores atípicos são comuns em dados ambientais sobretudo em águas pluviais. O teste de *Tukey* foi aplicado para comparar se os dados são diferentes entre si.

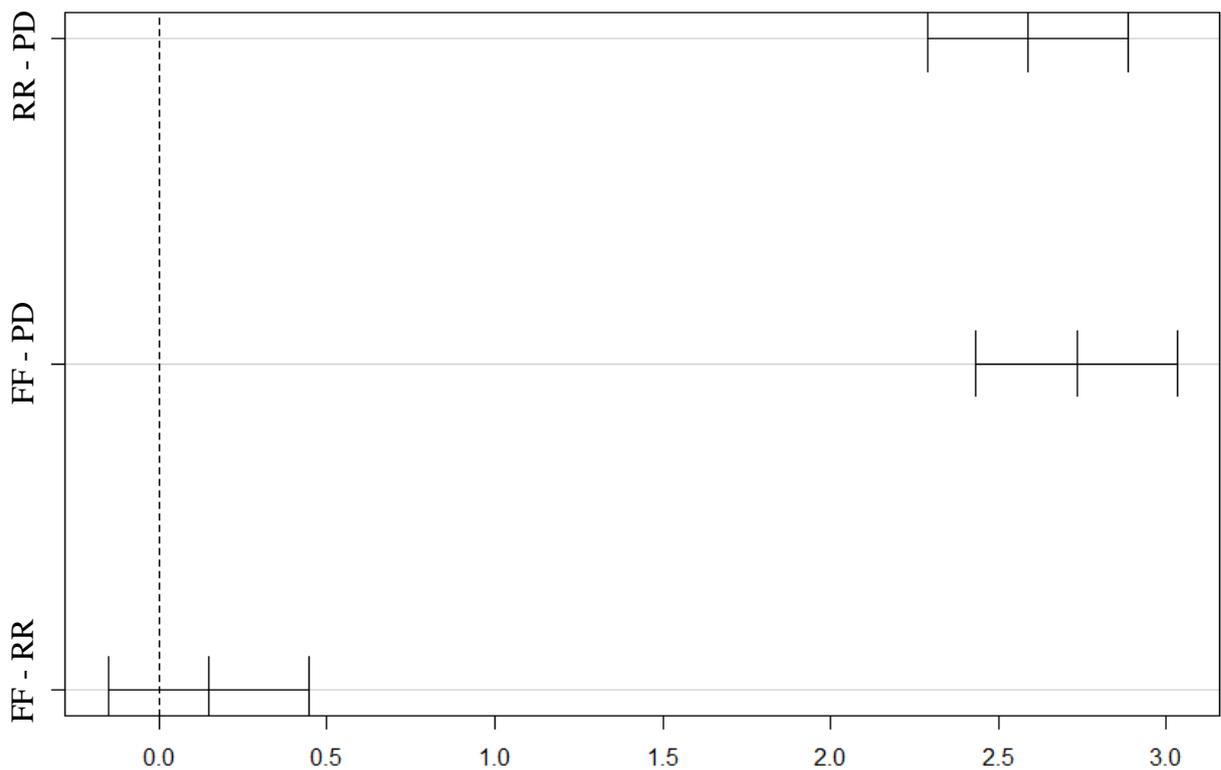
O ponto da PD é estatisticamente diferente dos demais pontos de coleta no entanto, FF e RR possuem populações nos dois períodos de estudo semelhantes (Figuras 21 e 22). Há uma maior dispersão dos dados ao redor da mediana no período úmido como pode ser observado nas Figura 21.

Figura 21 - Gráfico de *Tukey* para pH nos pontos de PD, FF e RR no período úmido



Fonte: Próprio autor, 2018.

Figura 22 - Gráfico de *Tukey* para pH nos pontos de PD, FF e RR no período seco



Fonte: Próprio autor, 2018.

A maior acidez (valor de 3,30) foi observada no dia 17 de setembro de 2018 e a menor (valor de 5,32) no dia 22 de dezembro de 2017 (Tabelas 3 e 4). Em regiões poluídas o pH pode atingir o valor de 3,5 (TOMAZ, 2010), sugerindo que o local está sujeito a chuva ácida (WANG *et al.*, 2008).

A acidez na chuva pode ter como influência a região urbanizada em que se situa o sistema de armazenamento e captação de águas pluviais no bairro do Rio Comprido, com emissões de poluentes atmosféricos ocasionados pela grande circulação de veículos que emitem diversos poluentes para a atmosfera, tornando-a cada vez mais impura e com a formação de compostos químicos que podem interferir na acidez da chuva. Estudo realizado em São Paulo concluiu que o uso do etanol como combustível emite diretamente para a atmosfera diversos compostos como o ácido acético e acetaldeído, de modo que os compostos orgânicos podem ser os responsáveis por cerca de 44 % da acidez presente na deposição úmida (FORNARO; GUTZ, 2003).

A faixa estabelecida para pH de acordo com a legislação da Portaria no. 05/2017 do MS é de 6,0 a 9,5. Todas as amostras coletadas sem interferência do telhado (PD) ficaram abaixo do recomendado para o uso potável em ambos os períodos (N = 13), indicando possivelmente a presença de substâncias ácidas na atmosfera.

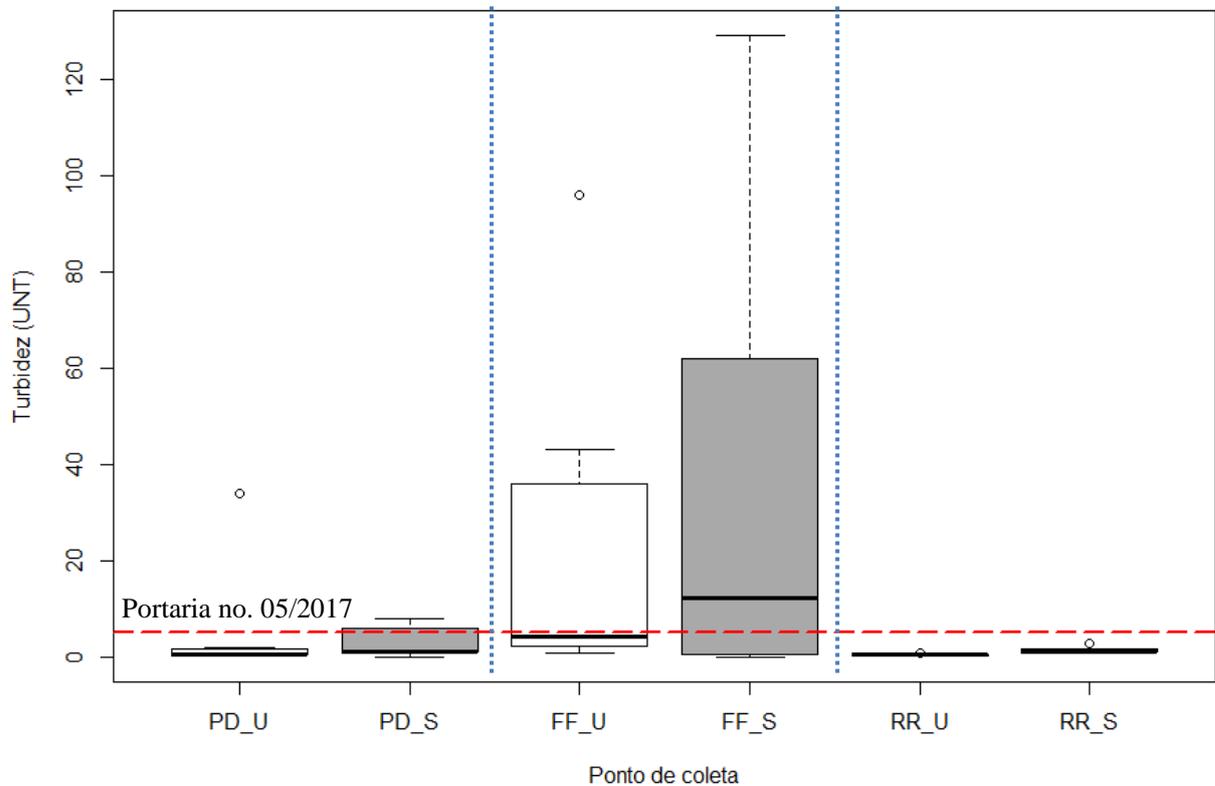
O *first flush* no período úmido apresentou 2 amostras (28,57 %) ligeiramente abaixo do permitido com pH de 5,86 e 5,96. No período seco todas as amostras do FF ficaram dentro da faixa de 6,0 a 9,5. No ponto do reservatório RR somente um resultado ficou abaixo de 6,0 no período úmido, o mesmo observado no período seco.

#### 3.1.4 Turbidez

A turbidez indica o grau de atenuação que o feixe de luz sofre quando atravessa a água. A chuva pode trazer uma quantidade elevada de material sólido, além disso, altas concentrações de turbidez afetam as atividades de recreação, o uso industrial e a preservação de organismos aquáticos (ANA, 2017).

No ponto de FF ocorre o armazenamento da precipitação inicial, sendo composta por gases originados na atmosfera e dissolvidos em gotas de chuva e material particulado presente no telhado, de modo a ocasionar uma maior incidência de turbidez neste ponto e reduzindo consideravelmente o material em suspensão no ponto do reservatório RR (Figura 23).

Figura 23 - *Boxplot* de turbidez para o período úmido (U) e seco (S)



Fonte: Próprio autor, 2018.

Os 2 mm iniciais de chuva contém a maior parte dos contaminantes direcionados ao ponto de descarte do *first-flush* (FF) (KUS *et al.*, 2010a). Desta forma, o evento inicial de precipitação remove a maior parte do material depositado na superfície de captação armazenado no FF, o que revela a necessidade de descarte dos primeiros milímetros de água de chuva para evitar a contaminação do reservatório.

A deposição de poluentes da atmosfera sobre a superfície do telhado durante um determinado período seco influencia a qualidade da água de chuva. Quanto maior o período seco entre os eventos de precipitação, maior é a probabilidade de poluentes depositados na superfície do telhado (YAZIZ *et al.*, 1989).

A turbidez pode ser um risco à saúde humana se as partículas em suspensão tiverem adsorvido compostos inorgânicos ou orgânicos tóxicos, dessa forma, tem sido fundamental desprezar os primeiros volumes da precipitação efetiva (KUS *et al.*, 2010b).

Os resultados acima do limite de 5 UNT de acordo com a Portaria nº 5/2017 foram constatados nos pontos de FF e PD. O ponto do RR não registrou turbidez acima do limite permitido pela Portaria nº 5/2017.

O FF apresentou um total de 06 amostras não conformes, a PD apresentou poucos eventos com níveis de turbidez acima do permitido com  $N = 1$  no período úmido e  $N = 2$  no período seco. A poluição do ar é composta por partículas sólidas de diferentes tamanhos e origens (DOCKERY *et al.*, 1993), o que pode ter influenciado os resultados na deposição úmida.

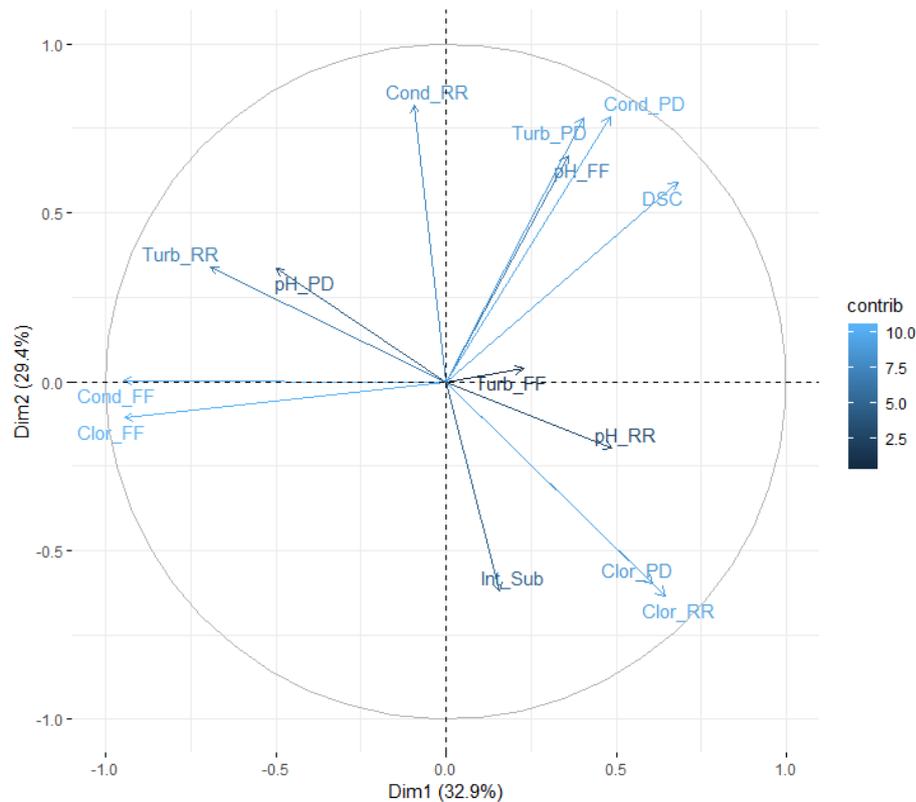
### 3.1.5 Análise de Componentes Principais e Correlação Linear de Pearson – Parâmetros físico-químicos

Na Análise de Componentes Principais (ACP) o número de variáveis é igual ao número de componentes. Um componente, no entanto, é composto não apenas de uma única variável, mas de todas as variáveis usadas no estudo. Os gráficos da componente principal (DIM 1) *versus* componente principal (DIM 2) mostra a melhor janela de observação dos dados (MOITA NETO; MOITA, 1998).

Na ACP uma variável é cada vez mais bem representada por um componente à medida que o cosseno quadrado correspondente se aproxima da unidade. No gráfico isso é representado como a variável que mais se aproxima da borda do círculo (VIALLE *et al.*, 2011).

A ACP no período úmido mostrou que o primeiro componente (DIM 1) representou 32,9 % da variância total, e o segundo componente (DIM 2) representou cerca de 29,4 % da variância total do conjunto de dados. A ACP é recomendada quando a soma entre DIM 1 e DIM 2 é maior que 60 %. Observa-se que a soma dos dois primeiros componentes principais representam 62,3 % da variância total, justificando a escolha da análise por componentes principais (Figura 24).

Figura 24 - Análise de componentes principais de parâmetros físico-químicos no período úmido

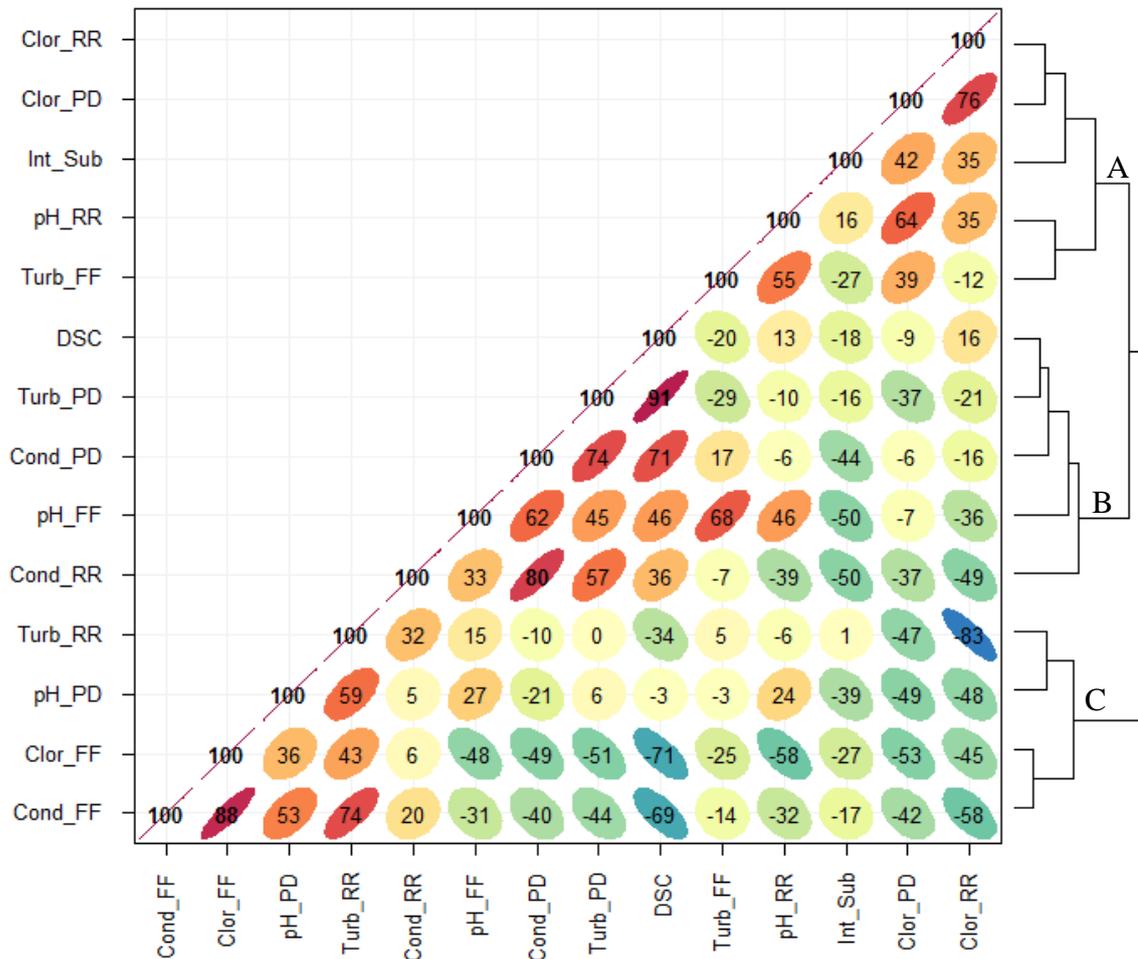


Fonte: Próprio autor, 2018.

A maioria das variáveis estão bem representadas pelos dois primeiros componentes no período úmido com destaque para condutividade e cloreto no FF, que tem maior contribuição para o DIM 1 pela proximidade com o eixo X e pelo tamanho do vetor, uma correlação forte é exibida pela pouca distância entre os vetores. No primeiro quadrante os DSC, condutividade PD, turbidez PD e pH FF são correlacionados, no entanto turbidez RR e cloreto RR estão em quadrantes opostos indicando uma correlação negativa.

Para confirmar as associações entre as variáveis no conjunto de dados total, a correlação linear de *Pearson* em conjunto com a Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH) foram utilizadas para visualizar os *clusters* e possíveis correlações (Figura 25). A busca por agrupamentos naturais entre as variáveis foi uma maneira complementar de estudar a estrutura dos dados e permitiu complementar os resultados fornecidos pela ACP com a AAH.

Figura 25 - Correlação linear de *Pearson* com dendrograma no período úmido



Fonte: Próprio autor, 2018.

No geral, as correlações no período úmido entre os parâmetros físico-químicos são fracas. A maior correlação neste período ocorreu entre a turbidez na PD e o número de Dias Secos Consecutivos (DSC) antecedentes ao evento de chuva que gerou a amostra ( $r = 0,91$ ). Também existe uma correlação forte entre condutividade e cloreto no *first flush* ( $r = 0,88$ ) com possível presença de íons de cloreto que aumentam a condutividade da água de chuva.

No período úmido foi observado 12 dias secos consecutivos (DSC) antecedentes ao evento da coleta de janeiro de 2018. Neste mês a turbidez chegou ao maior valor de 34 UNT, ao contrário do evento de novembro de 2017 em que obteve 1 dia seco consecutivo e o valor da turbidez diminuiu significativamente para 1 UNT. Neste estudo, a relação entre DSC e Turbidez é diretamente proporcional ou seja, quanto maior o intervalo de tempo sem chuva, maior é a acumulação de partículas em suspensão na atmosfera que são absorvidas pela precipitação, elevando a turbidez na PD.

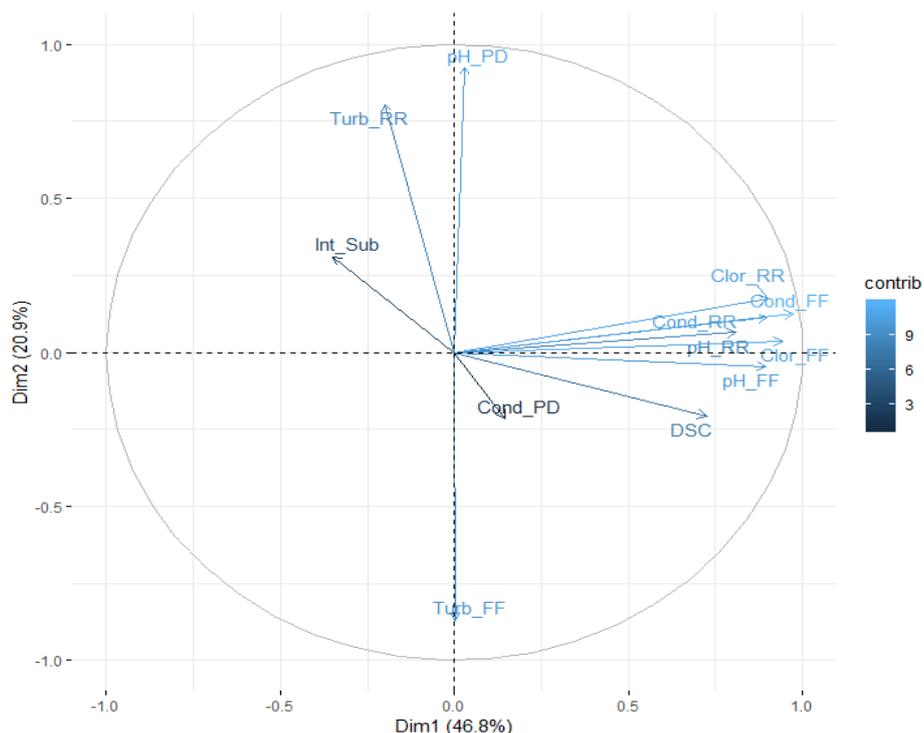
No período chuvoso a correlação é nula entre a turbidez na PD e a turbidez no RR com  $r = 0$ . Possivelmente a turbidez no RR está relacionada aos sólidos depositados no telhado do CAP-UERJ e a turbidez da PD está sendo influenciada apenas pelas condições atmosféricas.

No dendrograma à direita da correlação de *Pearson* ocorre a formação de 3 *clusters* denominados grupos A, B e C. O grupo C é formado pela turbidez RR, pH PD, cloreto FF e condutividade FF, estes parâmetros não estão ligados aos demais *clusters*, além disso os valores de  $r$  indicam uma correlação baixa com os grupos B e A.

A ACP no período seco apresenta a maioria das variáveis concentradas no primeiro quadrante e próximas entre si, o que representa uma correlação forte, além de estarem próximas ao eixo X, indicando uma maior contribuição para o primeiro autovetor DIM 1.

A soma entre o DIM 1 e DIM 2 representam uma varância total de 67,7 %, sendo DIM 1 correspondendo a 46,8 % e DIM 2 com 20,9 %. Verifica-se que o pH na PD e a turbidez no FF estão próximos ao eixo Y em sentidos opostos, representando uma correlação negativa e alta pelo tamanho dos vetores. A ACP informa também que ocorre a formação de 2 grupos: intensidade pluviométrica subdiária, turbidez RR, pH na PD, condutividade na PD e turbidez no FF formam o primeiro grupo e os demais parâmetros o segundo grupo (Figura 26).

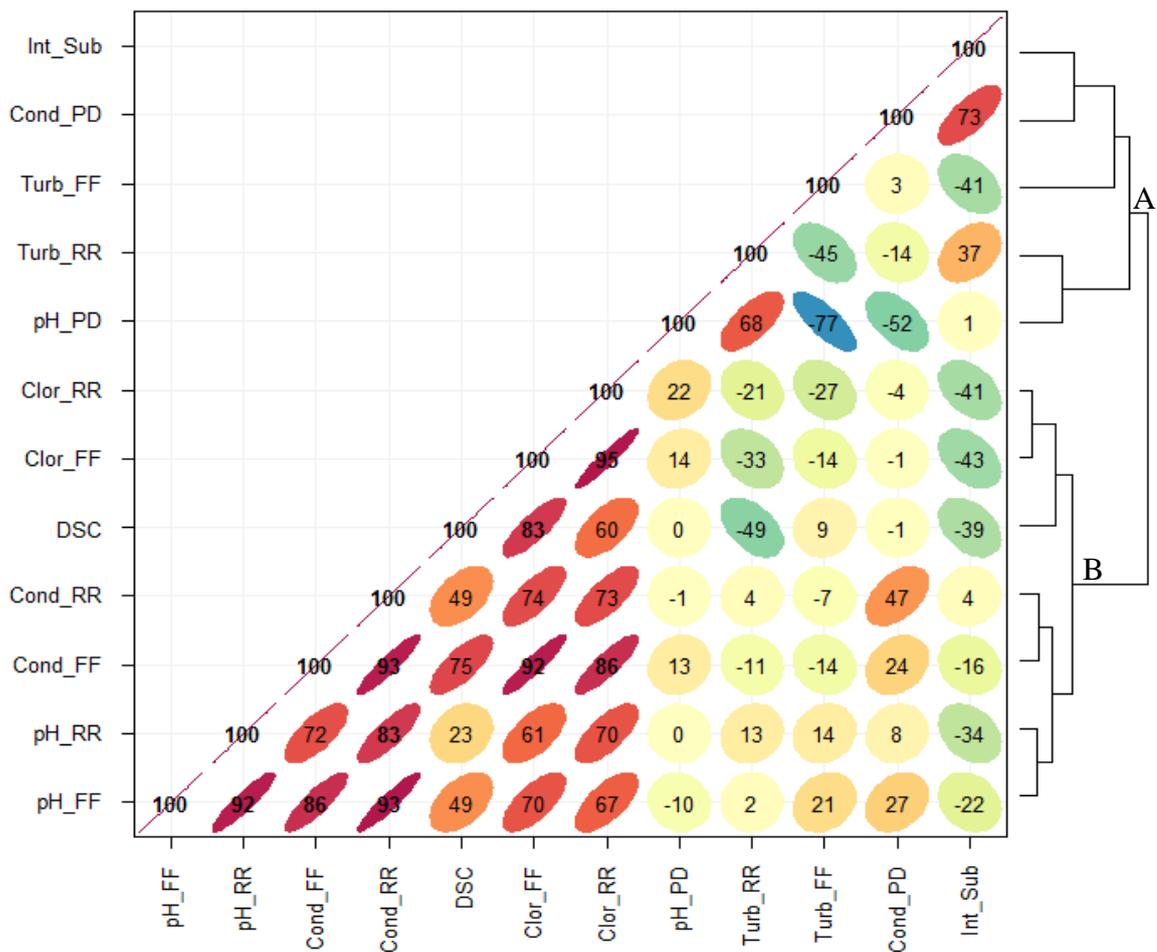
Figura 26 - Análise de componentes principais de parâmetros físico-químicos no período seco



Fonte: Próprio autor, 2018.

O período seco é composto de 2 *clusters* denominados A e B (Figura 27). As alturas do dendrograma B são menores indicando correlações mais significativas entre os parâmetros em comparação ao grupo A. O cloreto no FF e no RR são altamente correlacionados com  $r = 0,95$ , assim como condutividade no FF e condutividade no RR ( $r = 0,93$ ) e condutividade com cloreto no FF ( $r = 0,92$ ).

Figura 27 - Correlação linear de *Pearson* com dendrograma no período seco.



Fonte: Próprio autor, 2018.

A condutividade mede de forma indireta a presença de íons como sais inorgânicos dissolvidos na água, entre eles o íon cloreto. A presença do cloreto na água coletada no sistema de águas pluviais pode contribuir no aumento da condutividade elétrica. As correlações entre condutividade e cloreto no FF são altas ( $r = 0,92$ ), assim como pH e condutividade no FF ( $r = 0,86$ ) e entre pH no *first flush* e pH no reservatório ( $r = 0,92$ ).

O pH no FF e no RR possuem valores similares o que justifica a alta correlação. Os íons  $H^+$  dissolvidos na água favorecem a condutividade.

## 3.2 Metais

Ao comparar os resultados obtidos, as análises de qualidade da água da chuva apresentaram-se melhor no período seco do que no período úmido. A estatística descritiva está apresentada nos Anexos C e D.

No período úmido com exceção do Na, os metais estão acima do permitido pela Portaria no. 05/2017 em pelo menos uma amostra ( $N = 1$ ). O *first-flush* (FF) possui 42,85 % dos resultados não conformes ( $N = 30$ ), de modo a contribuir na redução da concentração dos metais no ponto do RR, contudo não é eficaz o suficiente para reduzir a essa concentração até o limite recomendado.

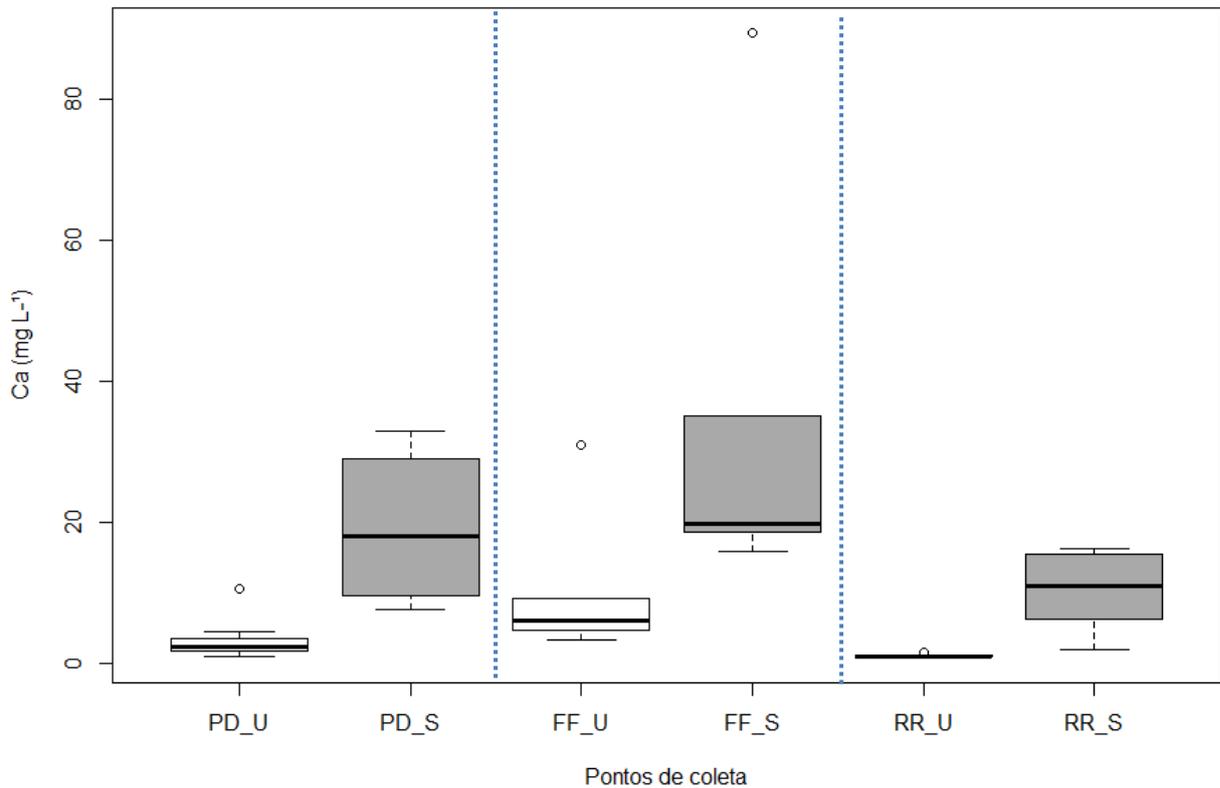
No período seco os metais apresentam concentrações mais baixas que no período úmido, e o FF possui 22,85 % das amostras ( $N = 16$ ) acima do determinado pela Portaria nº 5/2017.

### 3.2.1 Cálcio (Ca)

As amostras coletadas entre maio e outubro (período seco) de 2018 possuem as maiores concentrações, diminuindo significativamente no período úmido. A maior média foi obtida no ponto de FF com  $33,16 \pm 28,4 \text{ mg L}^{-1}$  no período seco (S) e a menor média foi no ponto do RR com  $1,12 \pm 0,21 \text{ mg L}^{-1}$  no período úmido (Figura 28).

O valor de 5,6 é definido como pH neutro de águas pluviais (KULSHRESTHA *et al.*, 2003). A água que escoar do telhado possui  $\text{pH} > 5,6$  na maioria das amostras coletadas. Nota-se a dominância de componentes crustais que adicionam maior alcalinidade na água da chuva devido à presença de componentes como Mg e Ca (ASIA *et al.*, 2003). Existem muitas fontes possíveis de Ca como os aerossóis marinhos, ressuspensão de partículas de solo e a poeira de estrada na baixa troposfera devido à convecção diurna (ALI *et al.*, 2004) neutraliza a acidez da água da chuva (HAN; WU; TANG, 2012). A legislação da Portaria nº 5/2017 não cita limites para cálcio (Ca).

Figura 28 - *Boxplot* de Cálcio para o período úmido (U) e seco (S)



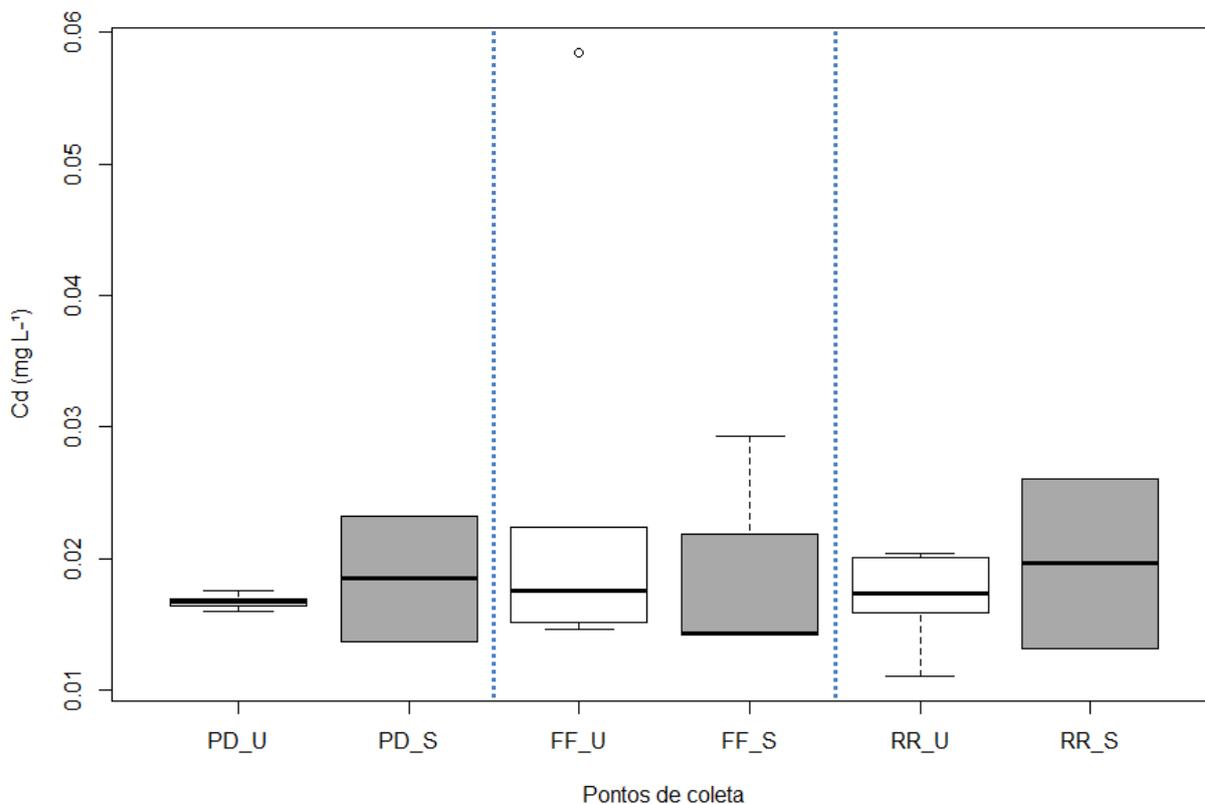
Fonte: Próprio autor, 2018.

### 3.2.2 Cádmio (Cd)

No período úmido a PD, FF e RR de forma geral apresentaram resultados similares em todos os meses. A média para o cádmio (Cd) nos pontos de PD, FF e RR tanto no período úmido (U) quanto no período seco (S) foi acima do valor máximo permitido de  $0,005 \text{ mg L}^{-1}$  pela Portaria no. 05/2017.

Observou-se que no período úmido 17 resultados estão desconformes e 4 estão abaixo do limite de quantificação ( $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ ). No período seco cerca de 61 % dos resultados apresentaram concentração abaixo do limite de quantificação, não sendo possível verificar a concentração da maioria das amostras (Figura 29).

Figura 29 - *Boxplot* de Cádmio para o período úmido (U) e seco (S)



Fonte: Próprio autor, 2018.

Estudos indicam que a corrosão de estruturas metálicas galvanizadas expostas à atmosfera urbana pode ser responsável por elevadas concentrações de Cd, assim como a proximidade de vias marginais e expressas de veículos (METRE; MAHLER, 2003), além da presença deste metal na poeira transportada por curtas distâncias de edifícios em reforma (MIGUEL *et al.*, 1997).

Resultados acima de  $0,005 \text{ mg L}^{-1}$  também foram encontrados em outros estudos de águas pluviais (ALCOLEA *et al.*, 2015). Contudo, há registros de Cd abaixo do limite de quantificação em águas pluviais (DESPINS; FARAHBAKHS; LEIDL, 2009; GASPERI *et al.*, 2014, ISLAM *et al.*, 2019).

A caracterização da água da chuva em escolas de Ghana observou concentrações de cádmio acima do limite de potabilidade da OMS ( $0,003 \text{ mg L}^{-1}$ ), podendo ser atribuído a fontes como baterias de cádmio, automóveis e a queima de óleo (COBBINA *et al.*, 2015).

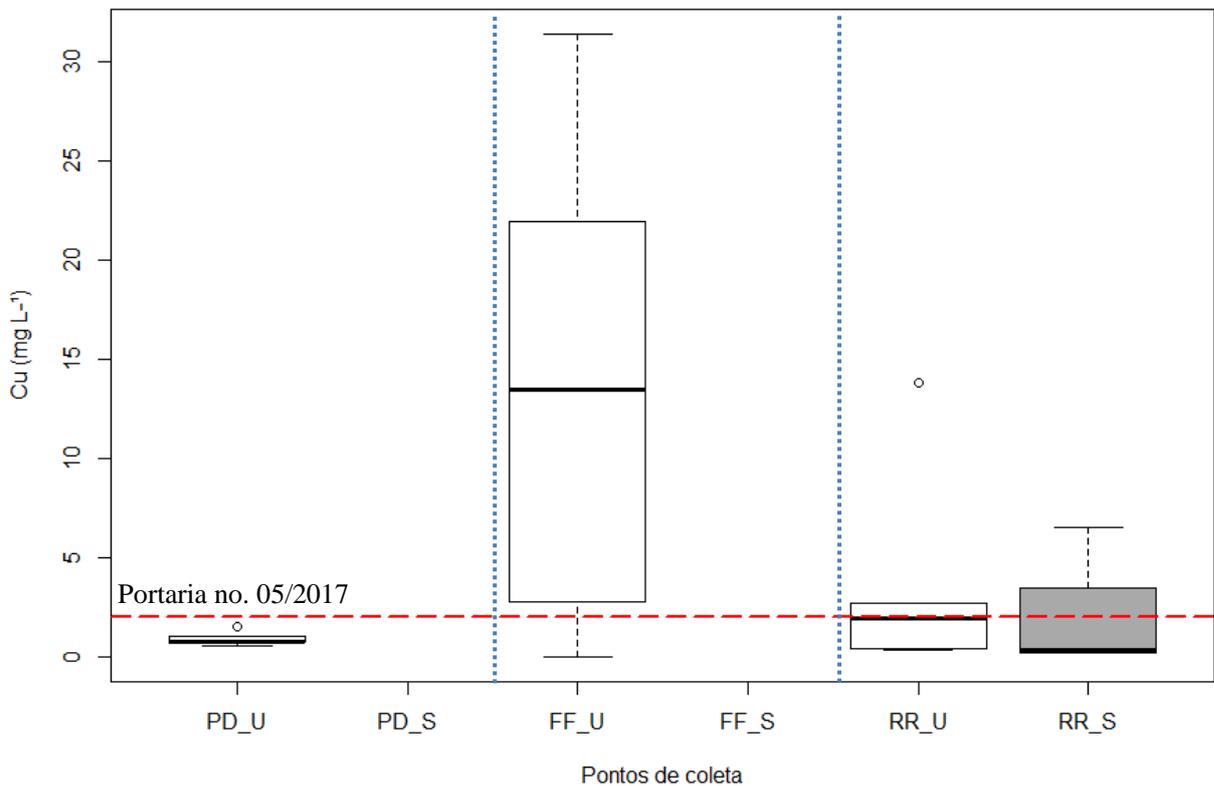
Análises da água de chuva na Nigéria sugerem que os impactos antropogênicos estão ligados a atividades de alto nível de queima de gás e refino de petróleo, apesar das amostras terem sido coletadas a quilômetros de distância de refinarias e plataformas de petróleo. A

obtenção de Cd acima do limite de  $0,003 \text{ mg L}^{-1}$  indica uma alta tendência de dispersão do ar desses poluentes e risco de exposição ao ar poluído. Entre os fatores que podem afetar essas concentrações incluem direção e velocidade do vento, pH, índice pluviométrico e concentração de material particulado (AKINTOLA; SANGODOYIN; AGUNBIADE, 2018).

### 3.2.3 Cobre (Cu)

O Cu apresenta comportamento sazonal com maiores concentrações no período úmido como apresentado na Figura 30.

Figura 30 - *Boxplot* de Cobre para o período úmido (U) e seco (S)



Fonte: Próprio autor, 2018.

O padrão de potabilidade para cobre (Cu) é de até  $2 \text{ mg L}^{-1}$ . No período chuvoso a PD possui amostras dentro do permitido com média de  $0,95 \pm 0,39 \text{ mg L}^{-1}$ , ao contrário do FF que apresentou elevadas concentrações nos meses com maior intensidade pluviométrica com média de  $13,83 \pm 11,71 \text{ mg L}^{-1}$ . O primeiro descarte da água da chuva (FF) reduziu significativamente a concentração de cobre na água armazenada no RR que apresentou média de  $3,54 \pm 5,12 \text{ mg}$

L<sup>-1</sup>, entretanto na maioria das amostras analisadas a redução não foi suficiente para atender a legislação da Portaria no. 05/2017.

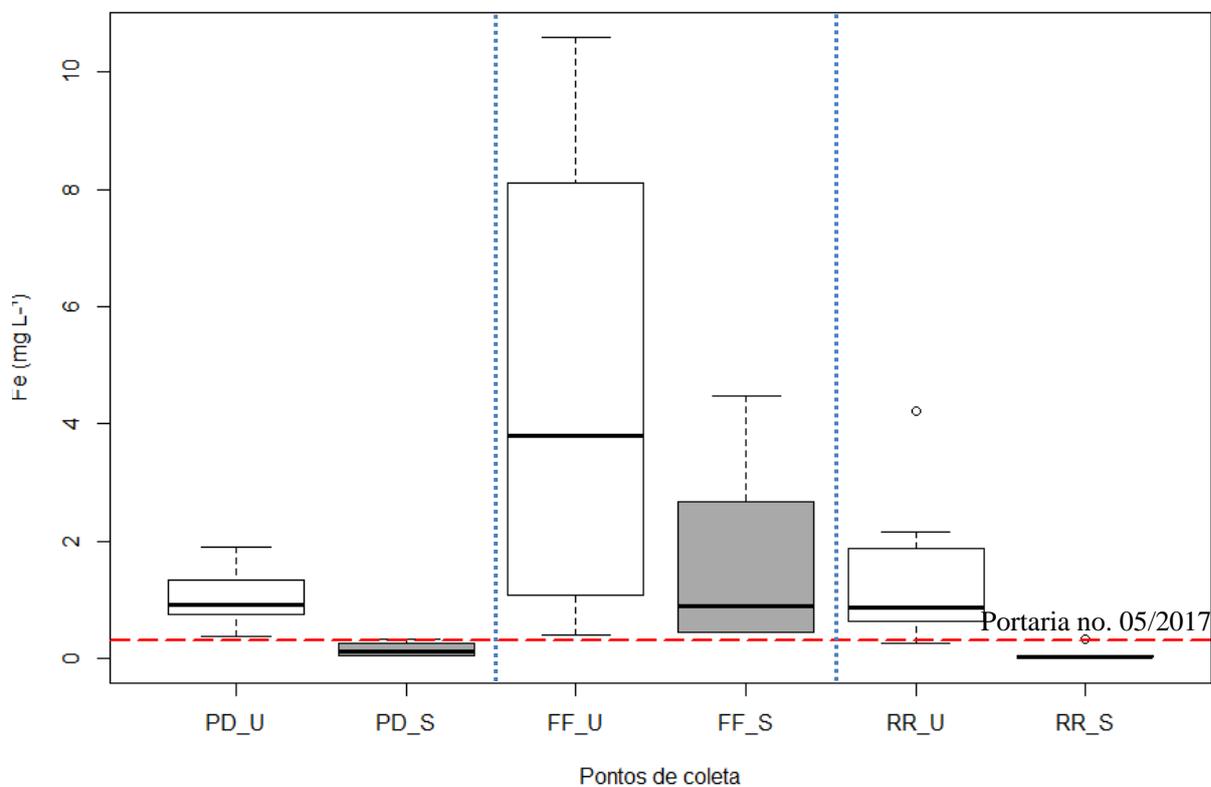
Para o período seco a PD e o FF apresentaram amostras de cobre abaixo do limite de quantificação, sendo que no reservatório a média foi de  $1,85 \pm 3,11 \text{ mg L}^{-1}$ .

O reservatório apresentou 4 amostras contendo cobre. Devido a água da chuva ser levemente ácida e com poucos minerais dissolvidos, ela pode dissolver metais e outras impurezas contidas no tanque de armazenamento, causando descoloração, mau gosto e odor na água da chuva colhida (SÁNCHEZ; COHIM; KALID, 2015). A variação sazonal de Cu pode ser influenciada por contaminações locais ou por fontes de massas de ar que possuem comportamentos diferentes de acordo com as estações do ano (KIM; SCUDLARK; CHURCH, 2000).

#### 3.2.4 Ferro (Fe)

A concentração máxima de Fe permitida pela portaria no. 05/2017 é de  $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ . No período úmido a PD apresentou uma amostra abaixo do limite de quantificação e as demais acima do permitido. No FF todas as amostras estão em desconformidade com uma concentração mais elevada que na PD, apesar da redução na concentração de ferro, o RR apresenta valores acima do limite (N = 5). A variação foi de  $0,26 \text{ mg L}^{-1}$  no RR a  $10,59 \text{ mg L}^{-1}$  no FF.

Na análise do período seco a concentração reduz com apenas uma amostra acima do limite na PD ( $0,34 \text{ mg L}^{-1}$ ). O FF manteve todas as amostras acima do permitido e as amostras do RR apresentou apenas um resultado fora do padrão com  $0,33 \text{ mg L}^{-1}$  (Figura 31).

Figura 31 - *Boxplot* de Ferro para o período úmido (U) e seco (S)

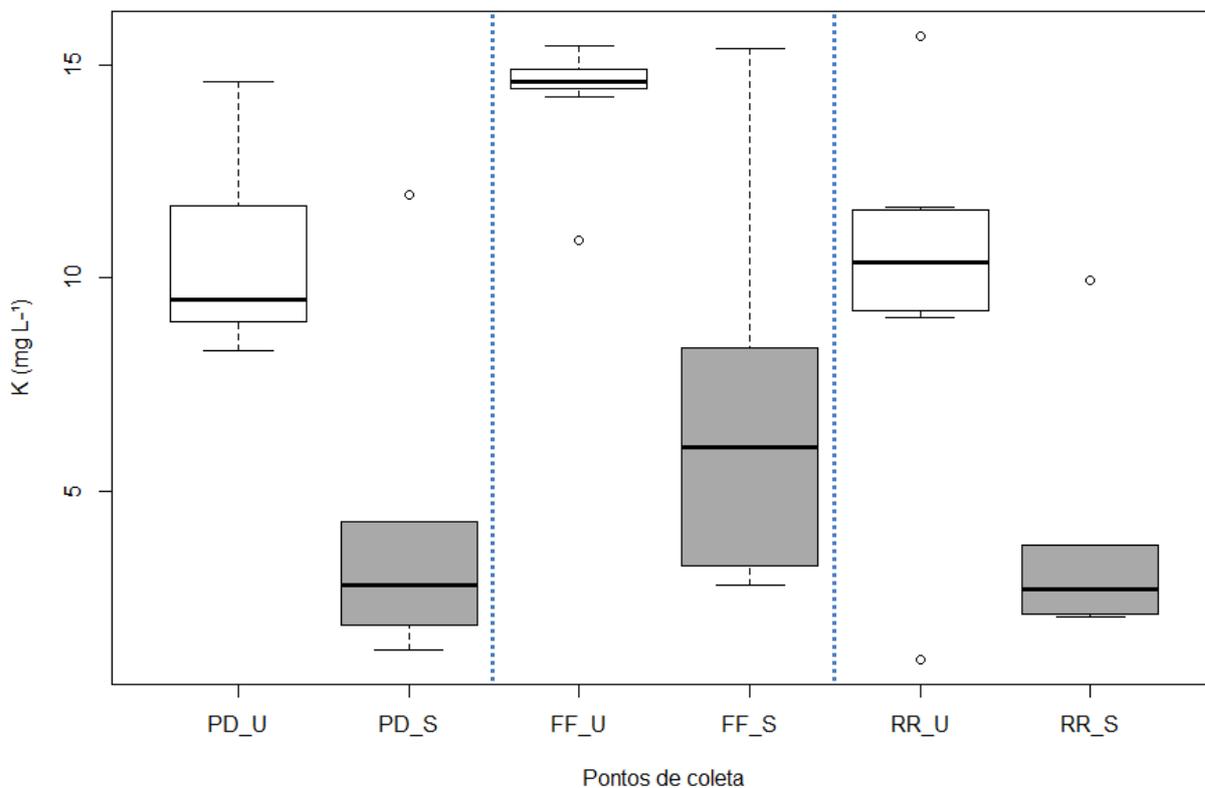
Fonte: Próprio autor, 2018.

Em ambos os períodos o FF demonstrou uma alta concentração de ferro o que pode ser influenciado pela deposição seca no telhado com partículas contendo Fe que são retiradas nos primeiros milímetros de chuva. O ferro é classificado como um elemento de fonte natural da crosta terrestre (NADZIR *et al.*, 2017). Entretanto, na caracterização da chuva na Espanha, concluiu-se que o ferro foi emitido por fontes antropogênicas, de acordo com as análises das trajetórias retrógradas e fator de incrustação que exibem uma origem não crustal deste metal (PIÑEIRO *et al.*, 2014). Em partículas finas a presença de ferro pode ser atribuída à corrosão dos componentes veiculares internos e dos tubos de escape (LOYOLA *et al.*, 2012), já que o local possui um perfil urbano, o que pode contribuir para emissões de compostos contendo ferro de origem antropogênica e natural pela proximidade com o maciço da Tijuca.

### 3.2.5 Potássio (K)

O potássio é um elemento presente no meio ambiente e em todas as águas naturais (OMS, 2011), não existe um valor de referência de potabilidade para para o K. Observou-se a presença deste elemento durante os dois períodos de amostragem (Figura 32).

Figura 32 - *Boxplot* de Potássio para o período úmido (U) e seco (S).



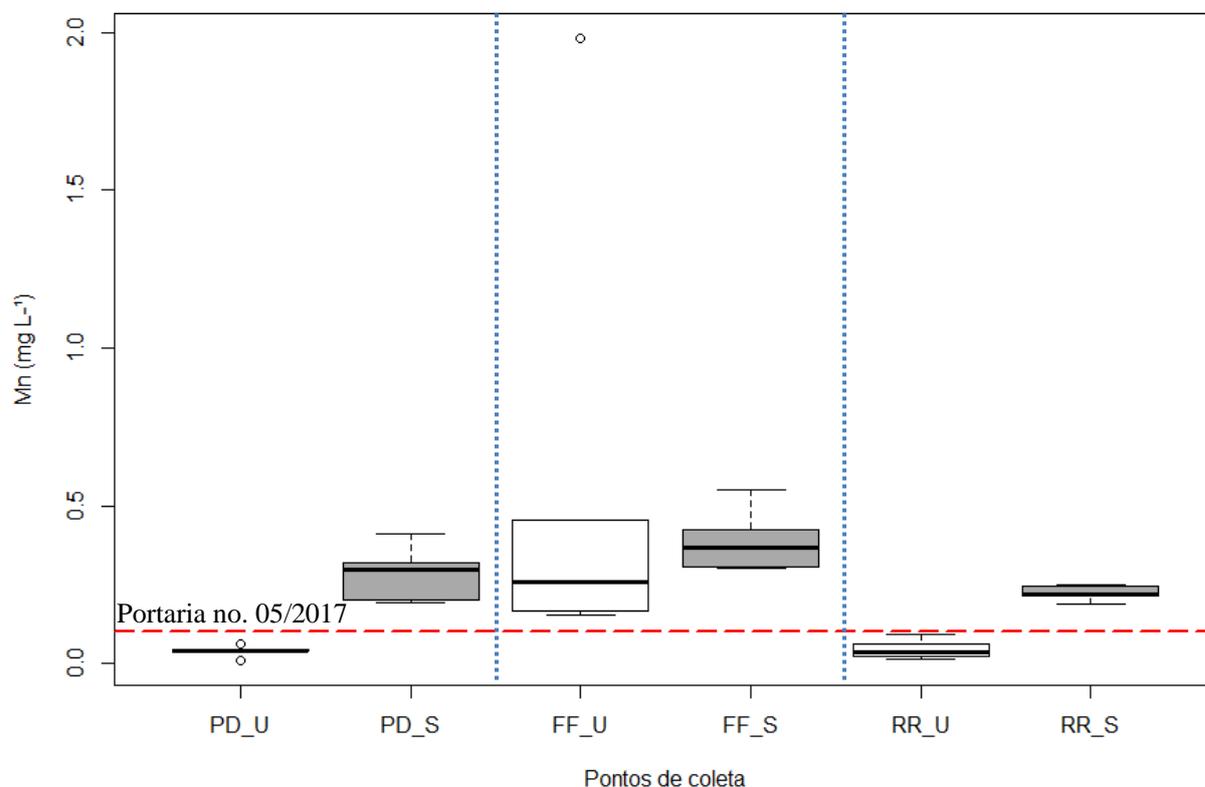
Fonte: Próprio autor, 2018.

No período chuvoso a concentração de K aumenta em todos os pontos. Em regiões próximas ao oceano, a água de chuva apresenta influência marinha com elementos como potássio (TOMAZ, 2010; VÁZQUEZ *et al.*, 2003). Outros estudos indicam que o potássio tem origem de fontes biogênicas como aerossóis contendo fragmentos de folhas, pólen (FORTI *et al.*, 2000; PAULIQUEVIS *et al.*, 2007) ou massas de ar contendo compostos provenientes da queima de biomassa (VIEIRA-FILHO; PEDROTTI; FORNARO, 2013).

### 3.2.6 Manganês (Mn)

As médias no período úmido foram de  $0,04 \pm 0,02 \text{ mg L}^{-1}$  na PD,  $0,60 \pm 0,78 \text{ mg L}^{-1}$  no FF e  $0,04 \pm 0,03 \text{ mg L}^{-1}$  no RR. (Figura 33). A mesma concentração de Mn na deposição úmida foi encontrada em amostras de águas pluviais em Santa Maria, no Rio Grande do Sul (HAGEMANN; GASTALDINI, 2016).

Figura 33 - *Boxplot* de Manganês para o período úmido (U) e seco (S)



Fonte: Próprio autor, 2018.

No período seco apenas a coleta do dia 23 de maio de 2018 ficou abaixo do limite de quantificação em todos os pontos de coleta. As demais amostras apresentaram concentrações elevadas nos pontos de PD, FF e RR com médias de  $0,28 \pm 0,09 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $0,39 \pm 0,10 \text{ mg L}^{-1}$  e  $0,22 \pm 0,02 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente.

As concentrações dissolvidas de Mn nas chuvas são altas na primavera e inverno, mas baixa no verão podendo ser ocasionado por mudanças na fonte de poluentes devido à direção do vento que tem efeito sazonal, conforme as estações do ano (CHENG *et al.*, 2011).

A avaliação de partículas totais em suspensão em área urbana no sudeste brasileiro concluiu que as concentrações de manganês foram significativamente maiores nos meses da estação seca em relação aos meses da estação chuvosa, podendo ter ocorrido pela diferença nos níveis de pluviosidade entre as estações (MACHADO *et al.*, 2018).

Estudo realizado no Rio de Janeiro para amostras de  $\text{PM}_{2.5}$  indicam que o Mn geralmente é associado ao tráfego, fontes relacionadas ao solo ou como matéria-prima na indústria siderúrgica (MATEUS; GIODA, 2017).

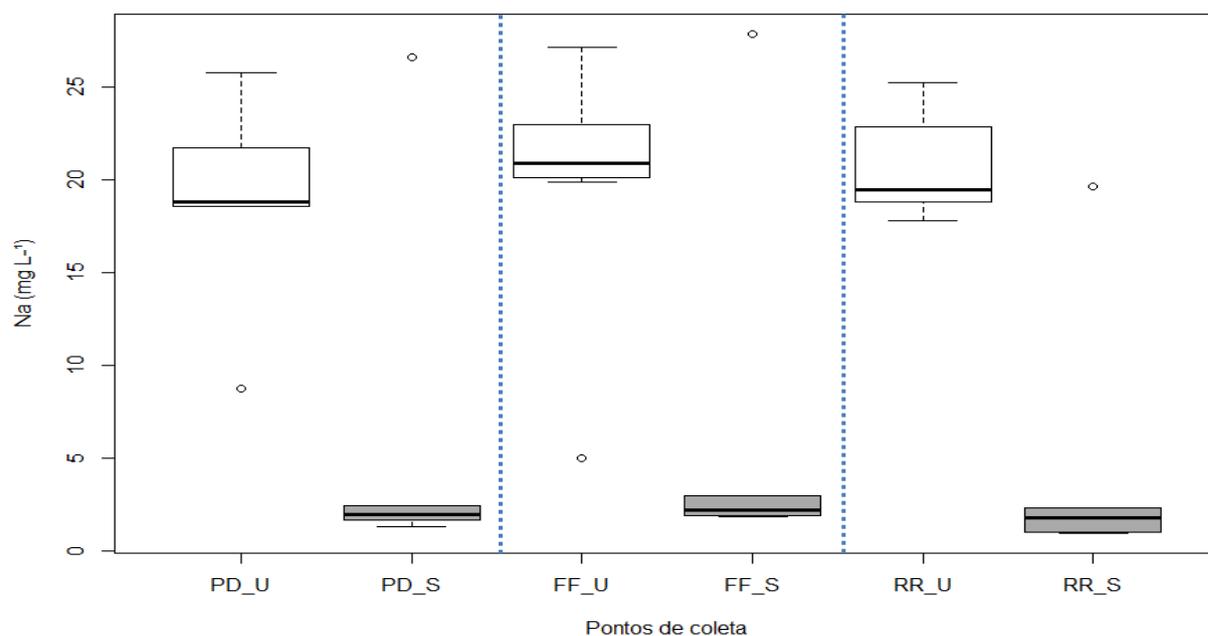
Para o manganês o sistema de descarte inicial se mostrou eficiente, reduzindo a concentração no reservatório, abaixo do recomendado pela Portaria no. 05/2017 ( $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ).

No período úmido as amostras de PD e do RR estiveram dentro do permitido pela Portaria nº 5/2017, no entanto o FF obteve 5 amostras acima do limite e 2 amostras abaixo do limite de quantificação.

### 3.2.7 Sódio (Na)

Durante todo o período de amostragem o sódio (Na) apresentou maior concentração no período chuvoso, variando de 5,02 a 27,16 mg L<sup>-1</sup> no ponto de FF e média de 19,13 ± 5,28 mg L<sup>-1</sup> na PD e 20,83 ± 2,78 mg L<sup>-1</sup> no RR (Figura 34).

Figura 34 - *Boxplot* de Sódio para o período úmido (U) e seco (S)



Fonte: Próprio autor, 2018.

O período seco obteve menor variação nos resultados de sódio, com a maior média observada de 6,49 ± 10,56 mg L<sup>-1</sup> no FF. Os demais pontos apresentaram médias de 5,99 ± 10,10 mg L<sup>-1</sup> na PD e 4,58 ± 7,39 mg L<sup>-1</sup> no RR. Todos os pontos apresentaram resultados dentro do limite de 200 mg L<sup>-1</sup> definidos pela legislação no. 05/2017..

O sistema de captação e armazenamento de águas pluviais (SAP) localizado próximo à costa do Rio de Janeiro pode interferir na concentração de sódio, uma vez que está presente na composição dos aerossóis marinhos (AL-MOMANI, 2003; LIMA, 2007). Concentrações de sódio na água potável são normalmente inferiores a 20 mg L<sup>-1</sup>, mas podem exceder este valor

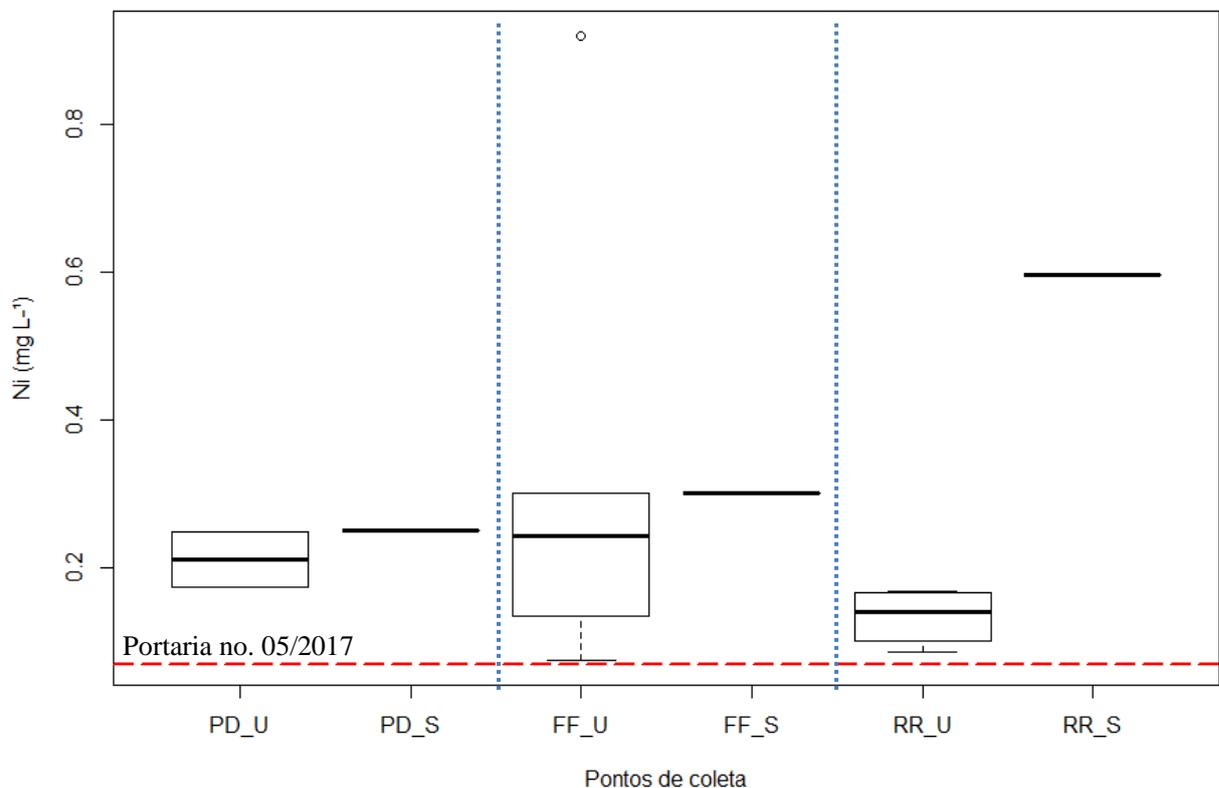
em alguns países. Não há um valor de diretriz para o sódio (Na) disponível pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2011).

O sódio solúvel em água contribui para o *spray* marinho (SINGH *et al.*, 2007; SOLURI *et al.*, 2007; SZÉP *et al.*, 2019), influenciando as maiores concentrações no período chuvoso, além de ser transportado por longas distâncias e depositado na forma seca ou úmida (SILVA *et al.*, 2017). Estudos sobre material particulado no Rio de Janeiro indicam uma maior concentração de Na no período de março e abril assim como neste trabalho (QUITERIO *et al.*, 2004).

### 3.2.8 Níquel (Ni)

O valor de referência para o Níquel é de  $0,07 \text{ mg L}^{-1}$ . No período úmido 11 amostras ficaram abaixo do limite de quantificação e as demais acima do recomendado ( $N = 10$ ). Foi observada uma redução na concentração de Ni no ponto do reservatório comparado ao *first-flush*, entretanto não foi suficiente para atender a legislação da Portaria nº 5/2017 (Figura 35).

Figura 35 - *Boxplot* de Níquel para o período úmido (U) e seco (S)



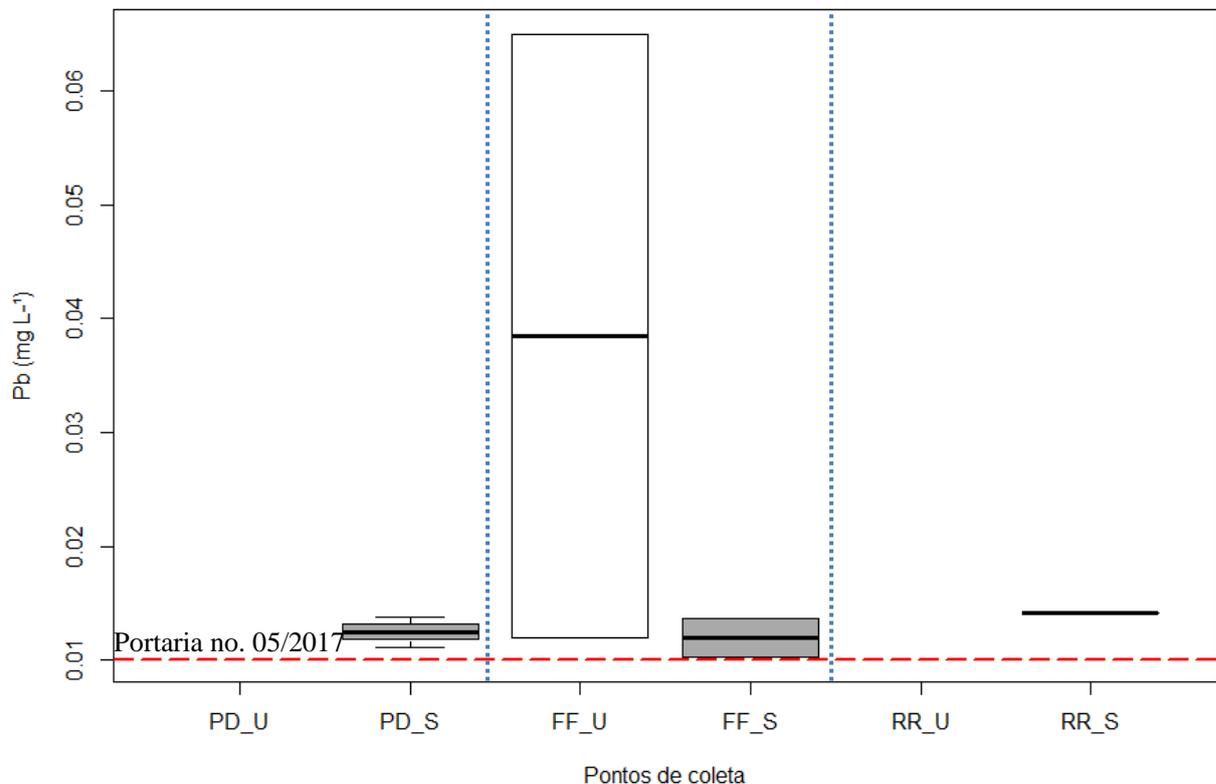
A maior média de níquel encontrada foi de  $0,33 \pm 0,34 \text{ mg L}^{-1}$  no FF e a menor no RR com  $0,13 \pm 0,04 \text{ mg L}^{-1}$ . O níquel pode surgir devido à lixiviação de níquel presentes na composição de torneiras. Menores concentrações também podem surgir de materiais de aço, cuja lixiviação deste metal diminui ao longo do tempo (OMS, 2011). O níquel é normalmente atribuído a fontes antropogênicas (DESBOEUFS *et al.*, 2005).

No período seco, apenas na primeira coleta realizada em 23 de maio de 2018 foi possível determinar as concentrações de Ni com resultado de  $0,25 \text{ mg L}^{-1}$  na PD,  $0,30 \text{ mg L}^{-1}$  no FF e  $0,60 \text{ mg L}^{-1}$  no RR. O níquel é correlacionado com atividades antropogênicas em diversos estudos (KIM; SCUDLARK; CHURCH, 2000; OMS, 2011) presente nas emissões de tráfego (NADZIR *et al.*, 2017), pela queima de combustível (ROMIC; ROMIC, 2003) e para emissões em congestionamentos (GUNAWARDENA *et al.*, 2013).

### 3.2.9 Chumbo (Pb)

O limite para chumbo é de  $0,01 \text{ mg L}^{-1}$  de acordo com a Portaria no. 05/2017. No período úmido as amostras da PD e do RR estiveram abaixo do limite de quantificação, no FF foi possível determinar a concentração de apenas 2 amostras com resultados de  $0,01 \text{ mg L}^{-1}$  e de  $0,06 \text{ mg L}^{-1}$  (Figura 36). Sistema de águas pluviais no Canadá também apresentaram níveis de  $\text{Pb} < 0,01 \text{ mg L}^{-1}$  no RR (DESPINS; FARAHBAKHS; LEIDL, 2009).

Figura 36 - *Boxplot* de Chumbo para o período úmido (U) e seco (S)



Fonte: Próprio autor, 2018.

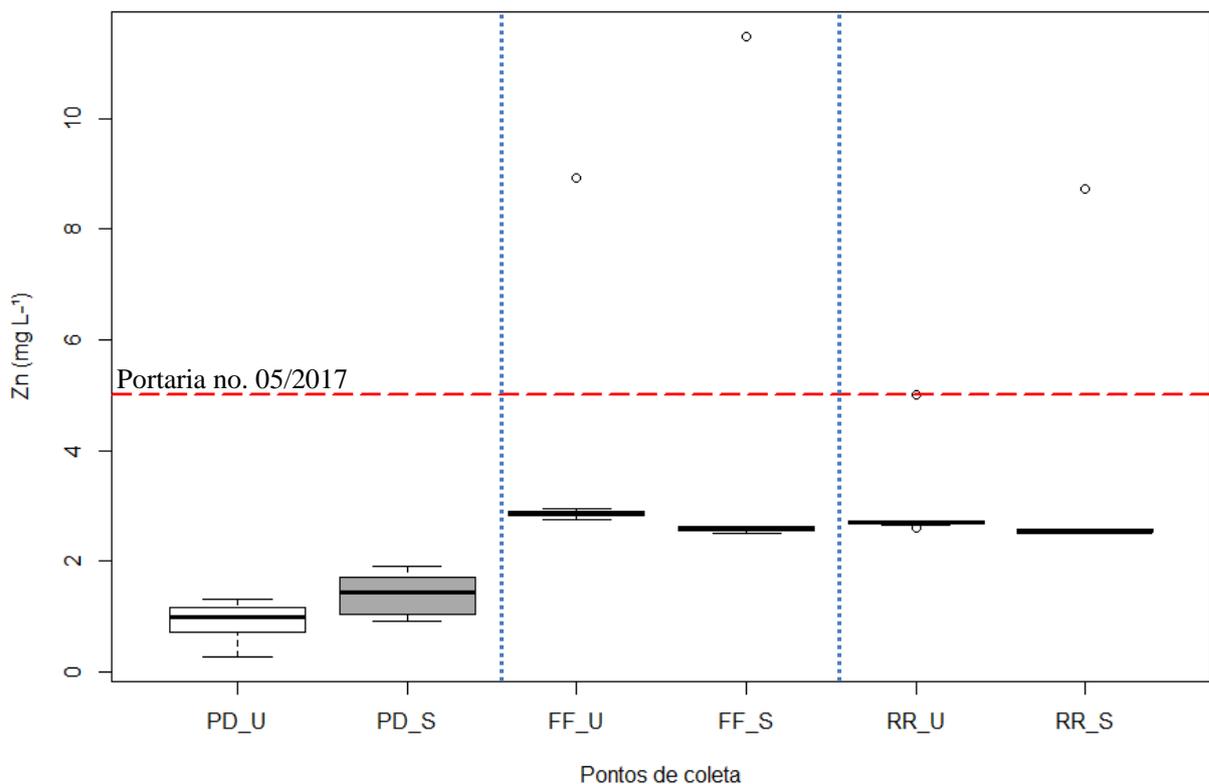
No período seco também foi observado amostras < LQ (N = 12). As amostras cujos resultados deram acima do LQ apresentaram concentração de 0,01 mg L<sup>-1</sup> em todos os pontos de coleta ou seja, dentro do permitido pela Portaria nº 5/2017. Apesar do CAP-UERJ estar localizado ao lado de uma via com intenso tráfego de veículos apenas uma amostra apresentou desconformidade.

Emissões de Pb geralmente são atribuídas às fontes antropogênicas (AZIMI *et al.*, 2003; PIÑEIRO *et al.*, 2014), como contribuições pelo desgaste dos componentes dos veículos (EGODAWATTA; ZIYATH; GOONETILLEKE, 2013), além disso, é associado com a acumulação à beira da estrada devido ao acúmulo de resíduos no solo, ao uso no passado como aditivo ao combustível (THORPE; HARRISON, 2008) e por emissão para a atmosfera por meio tráfego (GUNAWARDENA *et al.*, 2012, 2015; ZHANG *et al.*, 2015).

### 3.2.10 Zinco (Zn)

No geral, a maioria das amostras ficou dentro do estabelecido pela Portaria nº 5/2017 (5 mg L<sup>-1</sup>). No período úmido nenhuma amostra da PD atingiu o limite, o FF apresentou uma amostra acima (8,93 mg L<sup>-1</sup>) e o RR também com um resultado ligeiramente acima (5,02 mg L<sup>-1</sup>) como apresentado na Figura 37.

Figura 37 - *Boxplot* de Zinco para o período úmido (U) e seco (S)



Fonte: Próprio autor, 2018.

Para o período seco não foi observado resultados desconformes na PD, o FF obteve uma amostra acima com 11,47 mg L<sup>-1</sup> e RR o mesmo comportamento com um resultado de 8,73 mg L<sup>-1</sup>. Concentrações abaixo de 5 mg L<sup>-1</sup> foram reportados por outros estudos realizados em Barcelona e no México ambos também com sistema de águas pluviais em áreas urbanas e intenso tráfego de veículos (ANGRILL *et al.*, 2017; GISPERT *et al.*, 2018).

Níveis mais altos de Zn foram detectados na água da chuva coletada de telhados de zinco galvanizado e telhados de chapa de zinco (BELGHAZI *et al.*, 2002; FÖRSTER, 1996; SIMMONS *et al.*, 2001; YAZIZ *et al.*, 1989). Apesar do telhado da quadra de esportes ter uma

composição de alumínio e zinco esta tendência não foi detectada neste estudo, uma vez que a maioria das amostras estiveram dentro do limite definido pela Portaria nº 5/2017.

O zinco possivelmente é atribuído ao tráfego de veículos da Avenida Paulo de *Frontin* e do Elevado Engenheiro *Freyssinet*. Este metal é comumente encontrado nas estradas como um composto organometálico que resulta do óleo do motor e pelo desgaste dos pneus (BALL; JENKSB; AUBOURGB, 1998; DAVIS; SHOKOUHIAN; NI, 2001; HELMREICH *et al.*, 2010; MANGANI *et al.*, 2005). Para reduzir os poluentes metálicos provenientes das estradas outros estudos propõem a utilização de pavimentos porosos (SHUTES *et al.*, 1999; YU; ZHAO, 2012).

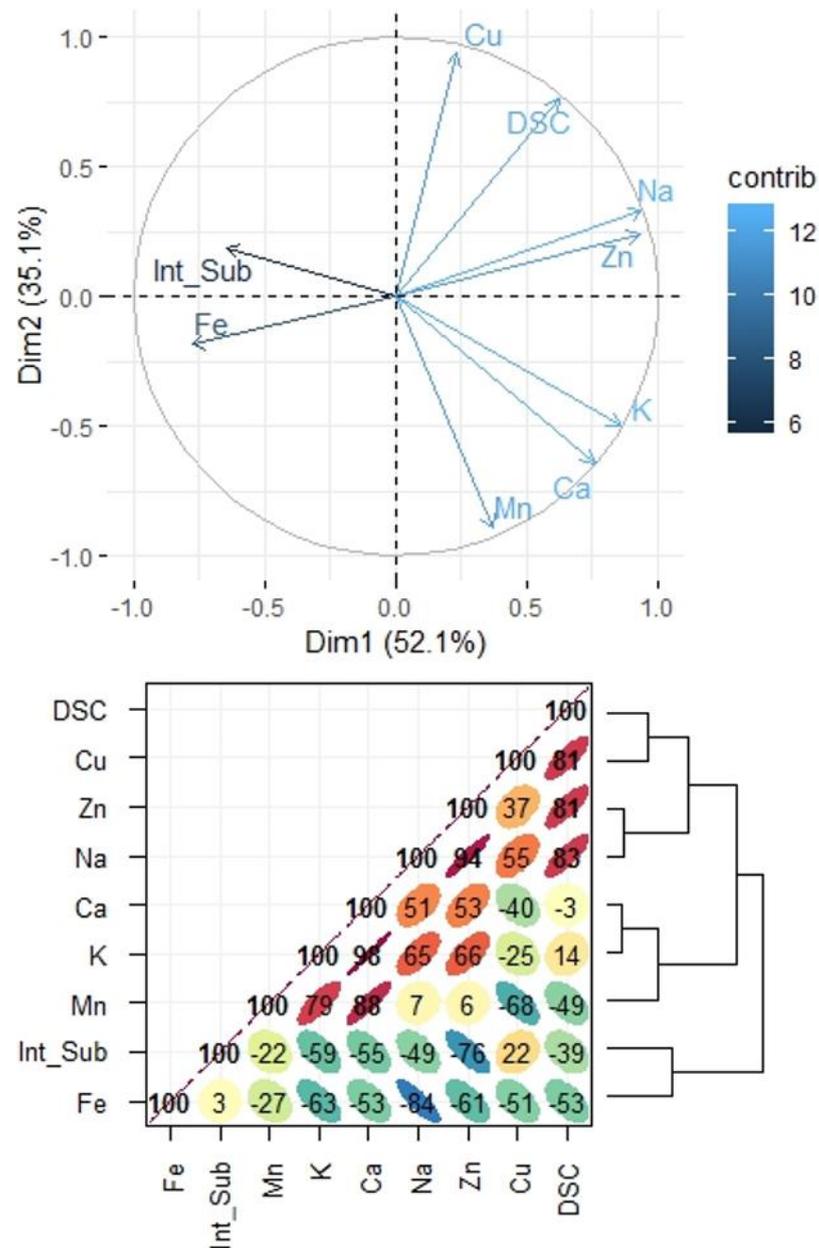
### **3.3 Análise de Componentes Principais e Correlação Linear de *Pearson* – Metais e Outros Parâmetros**

Realizou-se a Análise de Componentes Principais (ACP) e correlação linear de *person* com dendrograma para determinar o grau de associação entre os parâmetros de qualidade da água para cada ponto de coleta. Esta análise foi realizada para todo o conjunto de superfícies de captação (PD, FF e RR). Os metais que apresentaram pouca variação ou com muitos resultados abaixo do limite de quantificação não foram selecionados para a estatística multivariada.

#### **3.3.1 Precipitação Direta**

Para o período úmido o primeiro componente principal (Dim 1) foi responsável por 52,1 % da variância e o segundo componente principal (Dim 2) correspondeu a 35,1 % deste modo, os dois componentes explicam 87,2 % da variância total (Figura 38).

Figura 38 - Precipitação direta – Análise de componentes principais e correlação linear de *Pearson* com dendrograma para o período úmido



Fonte: Próprio autor, 2018.

Observa-se que Fe e a Intensidade Subdiária (Int\_Sub) possuem uma correlação negativa com os demais parâmetros. A intensidade subdiária obteve a menor contribuição para ACP de acordo com o tamanho do vetor e em seguida o Fe.

A correlação linear com dendrograma auxilia na interpretação das relações entre os parâmetros analisados. Observa-se a formação de 3 *clusters* no período úmido: O primeiro

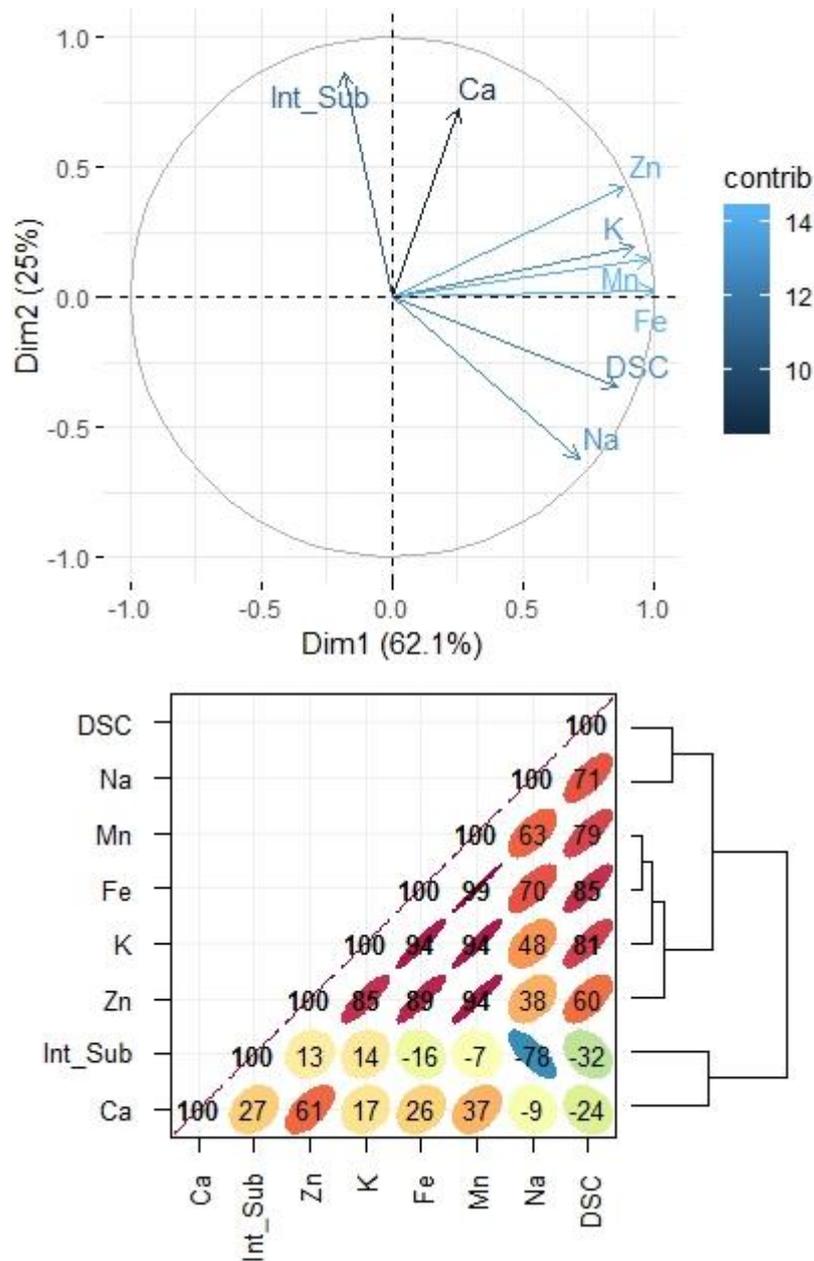
composto por DSC, Cu, Zn e Na correlacionados com o segundo *cluster* formado pelos metais metais Ca, K e Mn e o terceiro com Intensidade Subdiária (Int\_Sub) e Fe. Pelo dendrograma é possível verificar que o *cluster* 3 é correlacionado negativamente com os *clusters* 1 e 2.

O gráfico de correlação linear de *Pearson* no período úmido indica que K e Ca possuem a maior correlação ( $r = 0,98$ ). Na e Zn ( $r = 0,94$ ), Mn e Ca ( $r = 0,88$ ) e Mn e K ( $r = 0,79$ ) possuem altas correlações e possivelmente tem a mesma origem. O Cu possui correlações negativas com a maioria dos metais, indicando uma origem diferente dos demais provavelmente antropogênica, o mesmo comportamento foi apresentado para o Fe.

O Zn possui correlação moderada com o Cu indicando que Zn pode ter origem natural e antropogênica. Neste período os eventos com maiores intensidades representaram, no geral, concentrações menores para os metais com destaque para o Zn ( $r = - 0,76$ ).

Para o período seco as componentes Dim 1 e Dim 2 foram responsáveis por 87,1 % da variância e indica uma maior correlação comparado ao período chuvoso. Os autovetores Ca e intensidade subdiária (Int\_Sub) estão afastados, apresentando uma correlação mais fraca com os demais parâmetros. No dendrograma há formação de 3 grupos: intensidade subdiária (Int\_Sub) e Ca, o segundo por DSC e Ca e o último formado por Mn, Fe, K e Zn (Figura 39).

Figura 39 - Precipitação direta – Análise de componentes principais e correlação linear de *Pearson* com dendrograma para o período seco



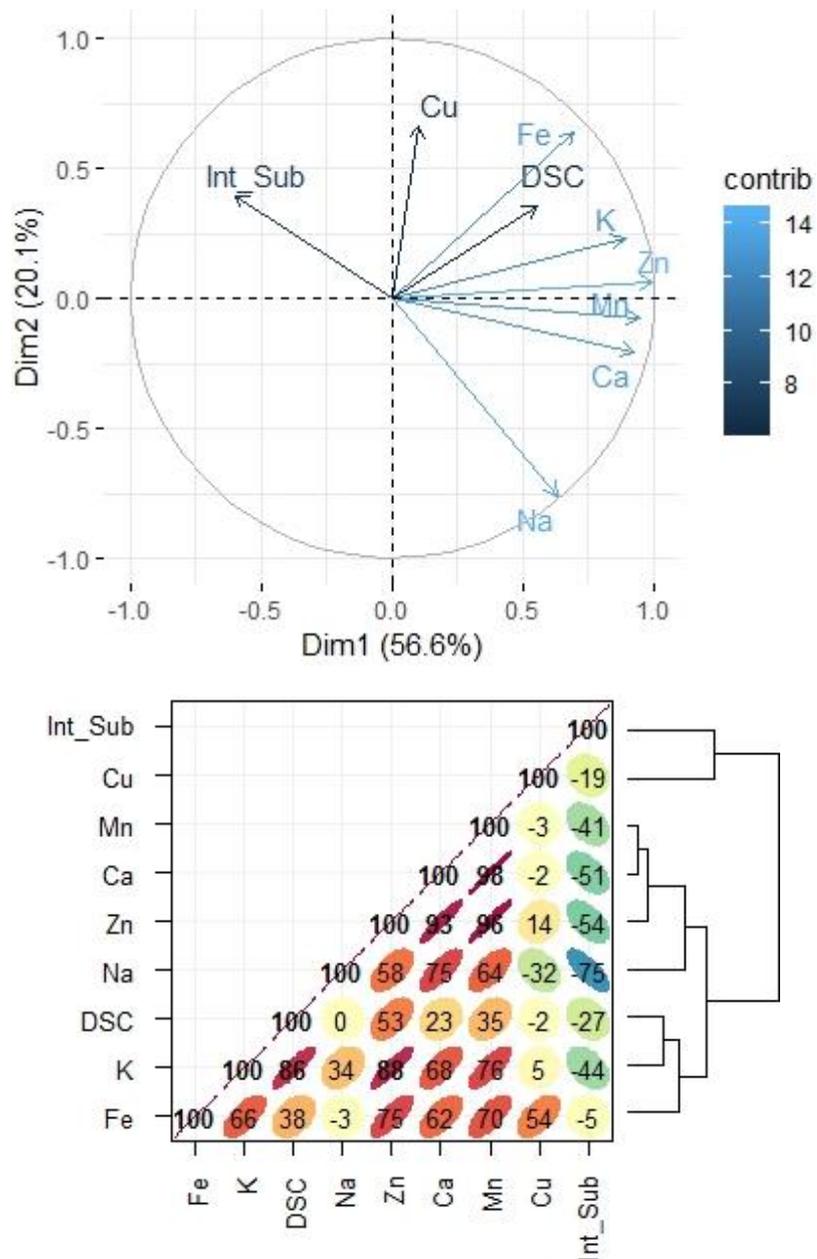
Fonte: Próprio autor, 2018.

As correlações mais significativas no período seco são entre Fe e Mn ( $r = 0,99$ ), K e Fe ( $r = 0,94$ ), K e Mn ( $r = 0,94$ ), Zn e Mn ( $r = 0,94$ ), Zn e Fe ( $r = 0,89$ ), Zn e K ( $r = 0,85$ ) provavelmente originam-se de fontes naturais. O Ca apresentou correlações fracas com a maioria dos parâmetros indicando uma fonte de emissão diferente.

3.3.2 *First Flush*

No período úmido o somatório dos 2 componentes principais representaram 76,7 %, explicando a maior parte dos dados (Figura 40).

Figura 40 - *First Flush* - Análise de componentes principais e correlação linear de *Pearson* com dendrograma para o período úmido



Fonte: Próprio autor, 2018.

Os metais Zn e Na apresentaram altas contribuições observado pela proximidade do vetor com a borda do gráfico. A intensidade subdiária (Int\_Sub) é inversamente proporcional aos demais parâmetros, justificada por estar no quadrante oposto.

Assim como na PD, a intensidade subdiária (Int\_Sub) é negativamente correlacionada com os metais ou seja, quanto mais intenso for o evento de precipitação menor será a concentração de metal na amostra possivelmente pelo efeito da diluição.

O ferro possui alta correlação com os metais, exceto com o Na ( $r = -3$ ) e intensidade subdiária ( $r = -5$ ), indicando uma correlação praticamente nula. Os elementos Ca e Mn ( $r = 0,98$ ), Ca e Zn ( $r = 0,93$ ), Mn e Zn ( $r = 0,96$ ) possivelmente são elementos naturais provenientes da crosta terrestre.

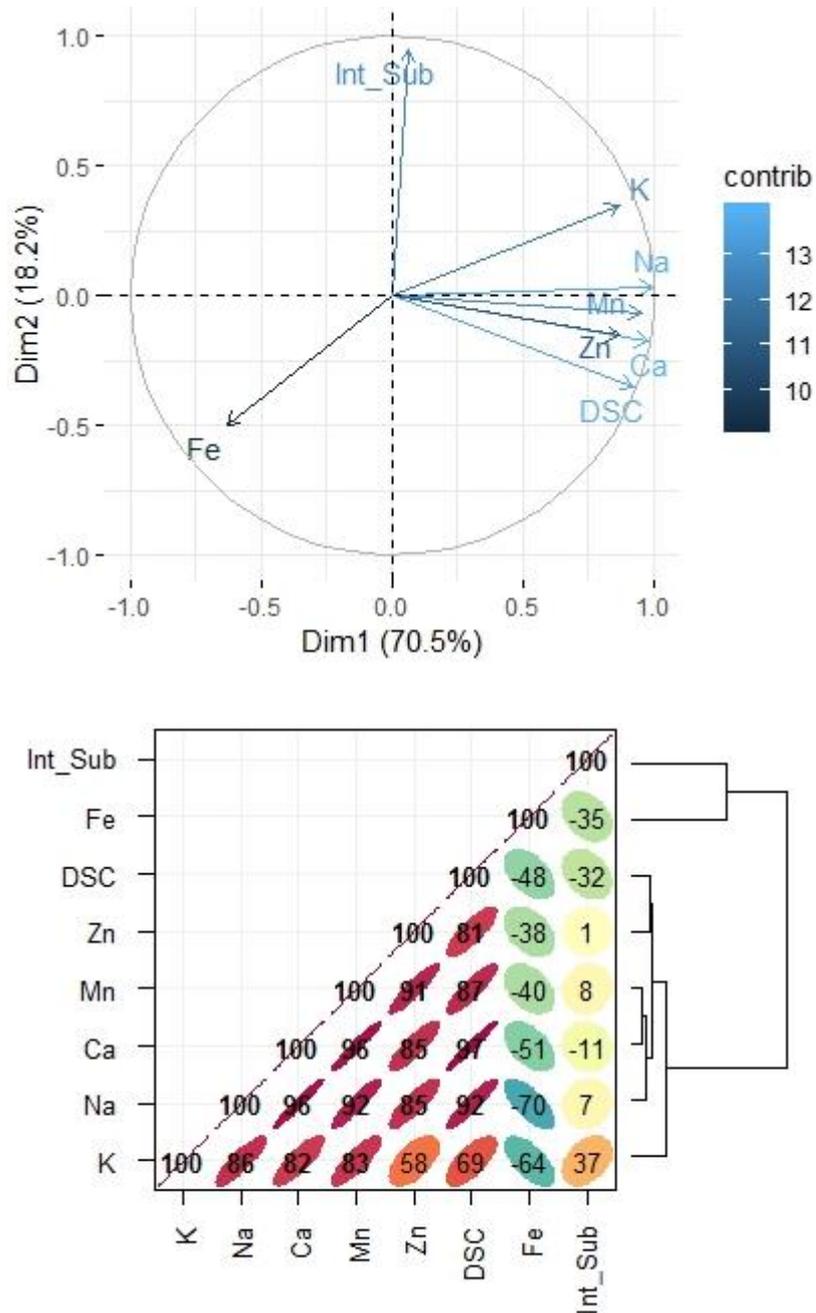
O Fe apesar de correlacionado com o Mn ( $r = 0,75$ ), também é correlacionado com o cobre ( $r = 0,54$ ) logo, pode ter emissões naturais do solo e antropogênicas como as emissões veiculares (LOYOLA *et al.*, 2012). O cobre pode ser atribuído ao congestionamento do tráfego e o zinco ao volume do tráfego (GUNAWARDENA *et al.*, 2013).

Para o período seco, as componentes Dim 1 e Dim 2 representam juntos 88,7 % dos dados. O ferro é o único elemento no 3º quadrante indicando uma correlação negativa com os outros componentes da ACP. No geral, os vetores tem uma contribuição maior no Dim 1, no entanto a intensidade subdiária (Int\_Sub) possui maior contribuição com o eixo Dim 2.

De acordo com o dendrograma formaram-se dois *clusters*: o primeiro por intensidade subdiária (Int\_Sub) e ferro (Fe) e o segundo por dias secos consecutivos (DSC), zinco (Zn), manganês (Mn), cálcio (Ca), sódio (Na) e potássio (K). As alturas do segundo grupo são menores representando uma maior relação entre os componentes. Pelo coeficiente de correlação ( $r$ ) é possível corroborar essas interações.

Exceto o ferro os demais metais tem correlações fortes e positivas entre si ( $r \geq 0,58$ ). O Fe possui correlações negativas com os metais e provavelmente não possui a mesma origem. A intensidade sub-diária não influencia nas concentrações dos metais do FF (Figura 41).

Figura 41 - *First Flush* - Análise de componentes principais e correlação linear de *Pearson* com dendrograma para o período seco



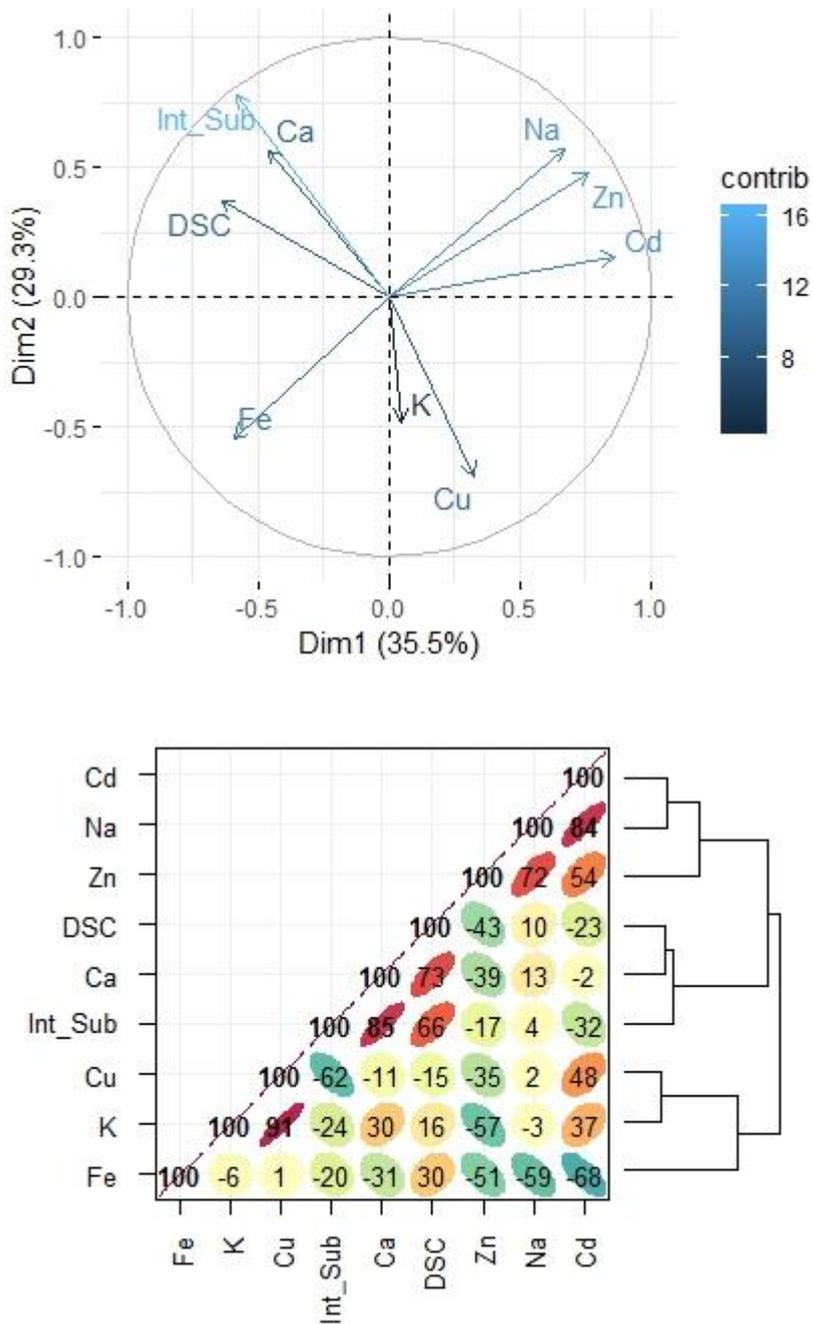
Fonte: Próprio autor, 2018.

### 3.3.3 Reservatório

A soma dos 2 componentes principais no período chuvoso foi de 64,8 %. Na ACP ocorre uma dispersão dos parâmetros por todo o círculo representando correlações mais fracas. O ferro

possui no geral correlações negativas tendo uma origem provavelmente distinta dos outros parâmetros. As correlações mais significativas foram: K e Cu ( $r = 0,91$ ), Na e Cd ( $r = 0,84$ ) e intensidade subsidiária e cálcio ( $r = 0,85$ ) as demais correlações foram menos significativas no reservatório (Figura 42).

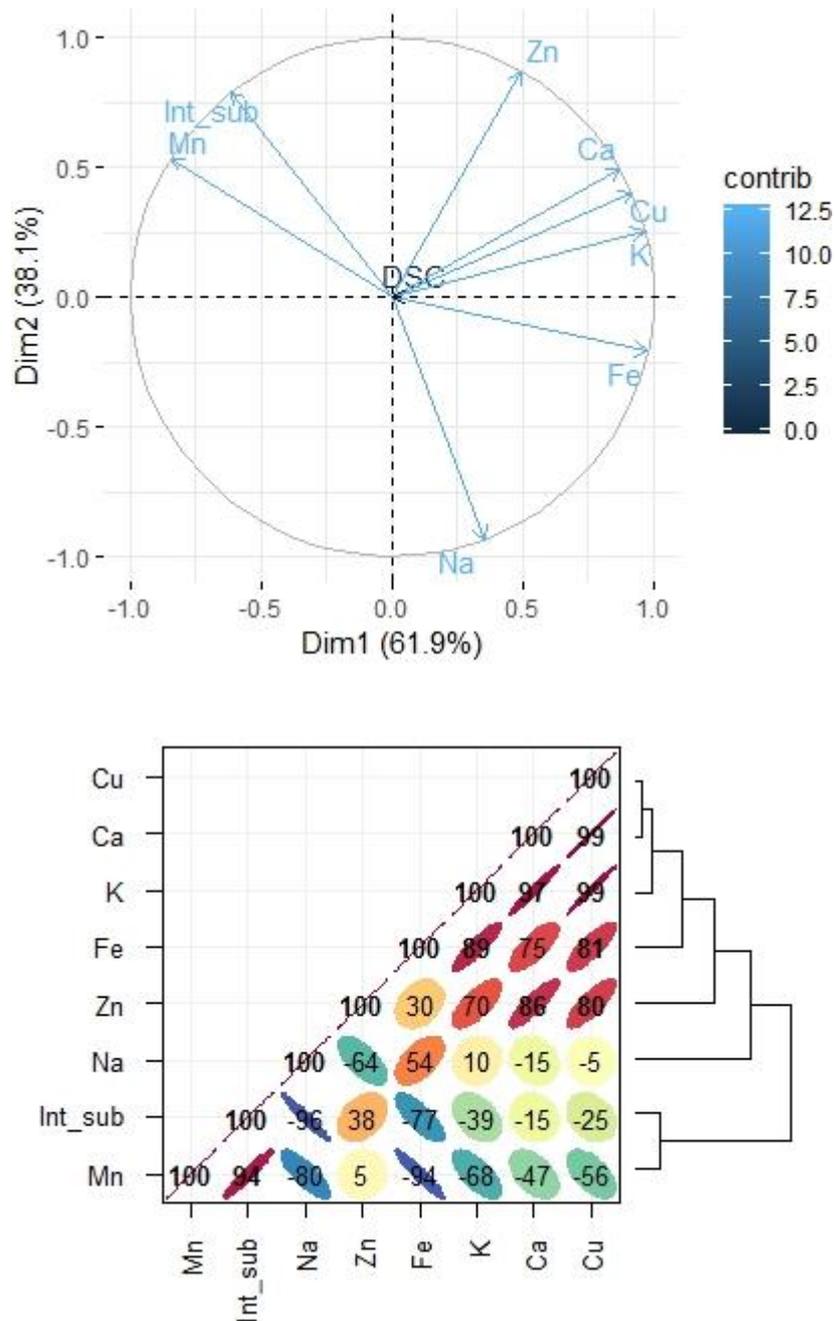
Figura 42 - Reservatório- Análise de componentes principais e correlação linear de *Pearson* com dendrograma para o período úmido



Fonte: Próprio autor, 2018.

Para o período seco o somatório de Dim 1 e Dim 2 foi de 100 % . Nas datas selecionadas para o gráfico de ACP o número de dias secos consecutivos (DSC) foi zero, desta forma não houve variância e por esta razão não houve contribuição do vetor DSC na Figura 43.

Figura 43 - Reservatório - Análise de componentes principais e correlação linear de *Pearson* com dendrograma para o período seco



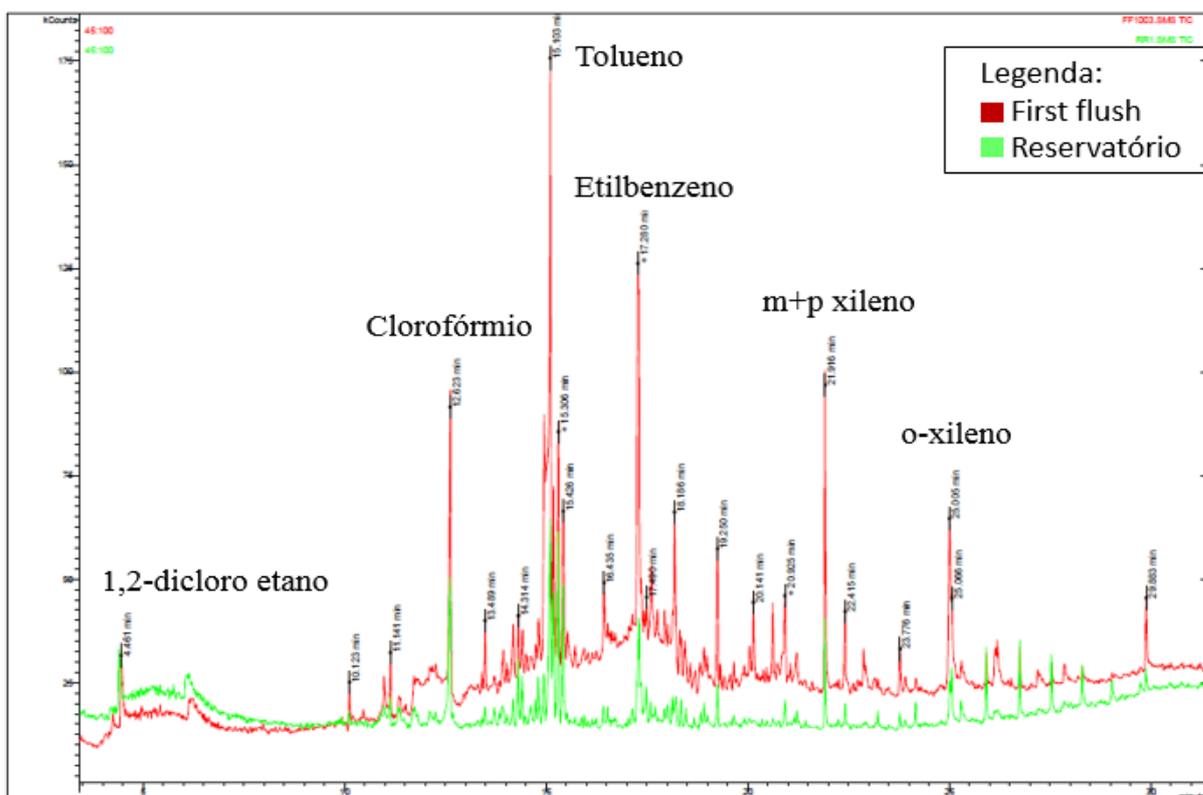
Fonte: Próprio autor, 2018.

Os demais parâmetros exibiram contribuição máxima de 12,5 % cada um. É possível observar que os metais são mais correlacionados que no período úmido. As maiores correlações ocorreram entre: Ca e Cu ( $r = 0,99$ ), K e Cu ( $r = 0,99$ ) e Ca e K ( $r = 0,97$ ) provavelmente de mesma origem. Apresentaram origem possivelmente diversa: Mn e Fe ( $r = -0,94$ ) e Mn com Na ( $r = -0,80$ ).

### 3.4 Compostos Orgânicos em Águas Pluviais do CAP

No mês de junho de 2018 foram coletadas amostras do FF e RR para análises de compostos orgânicos voláteis com o objetivo de avaliar componentes químicos de materiais sintéticos ou naturais presentes na água da chuva em amostras armazenadas no CAP-UERJ. As amostras coletadas apresentaram Tolueno, Etil Benzeno, Xilenos (TEX), clorofórmio e 1,2-dicloro etano (Figura 44). Esses resultados sugerem que a fonte emissora é atribuída às emissões veiculares das vias próximas ao local de estudo.

Figura 44 - Cromatograma de água da chuva coletada no CAP-UERJ



Fonte: Próprio autor, 2018.

No *first flush* existe uma maior concentração de TEX, possivelmente atribuído pela elevada concentração de material particulado acumulado no telhado do CAP-UERJ que por meio da chuva inicial é armazenado no FF. O uso do sistema de *bypass* reduz o TEX no reservatório no entanto, ainda é encontrado a presença destes compostos no cromatograma deste ponto.

Estudos apontam que no monitoramento das emissões atmosféricas na Tijuca, bairro vizinho ao CAP-UERJ, há presença de Compostos Orgânicos Voláteis (COV) dentre eles: Tolueno, m + p xileno e o-xileno. Os COV são caracterizados por um alto fluxo de veículos pesados e leves da Tijuca (SILVA *et al.*, 2018).

Os hidrocarbonetos aromáticos Tolueno, Etil-benzeno e Xilenos (TEX) são emitidos por uma fonte primária, por meio da combustão de combustíveis fósseis. Os TEX são os compostos de origem veicular presentes na gasolina (até 30 %), com elevado potencial de toxicidade à saúde humana e contaminação do meio ambiente (CARVALHO *et al.*, 2014).

Quando presentes na água esses elementos apresentam forte odor, conferindo à água um sabor desagradável. A presença destes compostos em águas pluviais foi reportado em outros estudos (MULLAUGH *et al.*, 2015; ZAHED *et al.*, 2010).

Um dos primeiros registros de TEX na água de chuva aponta que, apesar da baixa solubilidade, xilenos e toluenos foram os compostos voláteis mais detectados na água de chuva, além de clorofórmio, naftaleno, tetracloroeto e trimetilbenzenos total (DELZER *et al.*, 1996).

Múltiplos fatores determinam a distribuição espaço-temporal de TEX no meio ambiente como propriedades físico-químicas da água da chuva e dados meteorológicos (ŠOŠTARIĆ *et al.*, 2017). O TEX removidos do ar podem ser afetados pelas reações fotoquímicas, pela lei de Henry, bem como a intensidade e frequência dos eventos de precipitação (STOJIC *et al.*, 2019).

## CONCLUSÃO

A partir dos resultados quantitativos e qualitativos obtidos durante a pesquisa realizada no sistema de captação e armazenamento de águas pluviais do CAP-UERJ conclui-se que:

- Os resultados de cloreto e turbidez atendem aos requisitos da Portaria no. 05/2017, entretanto, o pH na deposição úmida apresentou durante todo o período de amostragem valores inferiores a 5,6, indicando ocorrência de chuva ácida. Os valores de condutividade mostraram concordância com os resultados reportados por outros estudos em águas pluviais.
- De forma geral, os metais não atendem aos requisitos de potabilidade da água, apenas o sódio atendeu em todas as amostras o limite estabelecido pela legislação da Portaria no. 05/2017. Cobre, potássio e sódio apresentam maiores concentrações no período úmido, exibindo um comportamento sazonal, já no período seco foram identificadas maiores concentrações de cálcio.
- Foi observado que cálcio, potássio e sódio são os principais metais encontrados na água de chuva. O chumbo e níquel apresentaram muitas amostras abaixo do limite de quantificação o que não permitiu realizar a correlação.
- O período seco apresentou correlações significativas entre os parâmetros físico-químicos e meteorológicos.
- O cobre possivelmente tem origem antropogênica ligada às emissões do tráfego. As correlações de ferro sugerem que a origem pode ser natural, por ser um elemento crustal, como também antropogênica ligado à corrosão de componentes veiculares. O zinco também apresenta relação com as emissões do tráfego, podendo estar relacionado com o desgaste dos pneus. Na, K, Ca e Mn indicam uma origem natural, devido à proximidade com a costa, os sais marinhos podem influenciar na concentração de cloreto.
- A deposição úmida tem como característica a baixa concentração de metais, todavia o *first flush* é o ponto com maior concentração de metais e apesar de reduzir a concentração na água que é armazenada no reservatório, não é eficiente o suficiente para atender os limites da Portaria no. 05/2017. A análise qualitativa indicou a presença de tolueno, etilbenzeno e xileno (TEX) no ponto de descarte e no reservatório, provavelmente pela combustão e evaporação de combustíveis fósseis como a gasolina.

- A elevada concentração de metais no período úmido indica que a chuva promove a limpeza da atmosfera e que a maior parte dos metais estão presentes na forma de aerossóis e em partículas finas suspensas no ar.
- A água pluvial não é recomendada para fins potáveis, sugere-se tratamento prévio para utilizar a água da chuva com segurança para fins menos nobres em contrapartida a água potável.

Para fins de estudos futuros recomenda-se avaliar os cátions e ânions de metais na água da chuva, estudar quali e quantitativamente os compostos orgânicos voláteis solúveis na precipitação direta e realizar o monitoramento dos parâmetros físico-químicos a longo prazo para chegar a avaliações e correlações mais significativas na composição ao longo do tempo.

Correlacionar a topografia, os dados meteorológicos como intensidade pluviométrica e direção dos ventos com os aspectos qualitativos, além de investigar o potencial impacto na saúde humana pela contaminação por metais.

## REFERÊNCIAS

- ABDEMANAFI, D. *et al.* The study of inorganic ion composition and chemical properties of rain water over Tehran city. *Oriental Journal of Chemistry*, v. 32, n. 1, p. 367–378, 2016.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
- AKINTOLA, O. A.; SANGODOYIN, A. Y.; AGUNBIADE, F. O. Anthropogenic activities impact on atmospheric environmental quality in a gas-flaring community : application of fuzzy logic modelling concept. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, p. 21915–21926, 2018.
- AL-KHASHMAN, O. A. Study of chemical composition in wet atmospheric precipitation in Eshidiya area , Jordan. *Atmospheric Environment*, v. 39, p. 6175–6183, 2005.
- AL-MOMANI, 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.
- ALCOLEA, A. *et al.* An assessment of the influence of sulfidic mine wastes on rainwater quality in a semiarid climate (SE Spain). *Atmospheric Environment*, v. 107, p. 85–94, 2015.
- ALERTA RIO. Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro. Centro de Operações Rio. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <<http://alertario.rio.rj.gov.br/>>. Acesso em 13 fev 2017.
- ALI, K. *et al.* Fog and precipitation chemistry at Delhi , North India. *Atmospheric Environment*, v. 38, p. 4215–4222, 2004.
- ANA. Água na medida certa: a hidrometria no Brasil Agência Nacional de Águas Brasília, 2012.
- ANA. Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras - Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos. Brasília São Paulo: CETESB, , 2011.
- ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras Brasília, 2015. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/docs/regioeshidrograficas.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2018.
- ANA. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017 Brasília ANA, , 2017.
- ANA. Atlas Brasil : abastecimento urbano de água: panorama nacional. Agência Nacional de Águas, v. 2, p. 72, 2010.
- ANDRÉ, R. G. B. *et al.* Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 23, p. 501–509, 2008.

ANGRILL, S. *et al.* Urban rainwater runoff quantity and quality – A potential endogenous resource in cities? *Journal of Environmental Management*, v. 189, p. 14–21, 2017.

ANIL, I.; ALAGHA, O.; KARACA, F. Effects of transport patterns on chemical composition of sequential rain samples: trajectory clustering and principal component analysis approach. *Air Quality, Atmosphere and Health*, v. 10, n. 10, p. 1193–1206, 2017.

APHA, 2012. *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater*, 22nd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC.

ASIA, A. E. I. *et al.* Estimation of SO<sub>4</sub> contribution by dry deposition of SO<sub>2</sub> onto the dust particles in India. *Atmospheric Environment*, v. 37, p. 3057–3063, 2003.

ASSAD, E. D. *et al.* Veranicos na região dos cerrados brasileiros- frequência e probabilidade de ocorrência. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 1993.

ATSDR. Agencia para Substancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Disponível em: <[https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts15.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts15.html) - níquel>. Acesso em: 14 set. 2018.

AZIMI, S. *et al.* Trace metal determination in total atmospheric deposition in rural and urban areas. *Science of The Total Environment*, v. 308, n. 1, p. 247–256, 2003.

BACK, Á. J. *et al.* Probabilidade de ocorrência de períodos secos e períodos chuvosos em Saudades-SC. XII Simpósio ítalo-brasileiro de Engenharia sanitária e ambiental, n. 1, p. 1–12, 2014.

BAIRD, C. *Química Ambiental*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BALL, J. E.; JENKSB, R.; AUBOURGB, D. An assessment of the availability of pollutant constituents on road surfaces. *The Science of the total environment*, v. 209, p. 243–254, 1998.

BELGHAZI, A. *et al.* Zinc runoff from organically coated galvanised architectural steel. *Corrosion Science*, v. 44, n. 8, p. 1639–1653, 2002.

BELÓ, A. ; QUINÁIA, S.; OLIVEIRA, N.; WATZLAWICK, L. Caracterização de metais em precipitação atmosférica em uma Floresta Ombrófila Mista. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 9, n. 3, p. 200–211, 2009.

BERTRAND, G. *et al.* Rainfall chemistry : long range transport versus below cloud scavenging . A two-year study at an inland station ( Opme , France ). n. 2008, p. 253–271, 2009.

BRAGA, A. L.; ARBILLA, G.; SILVA, C. M. DA. Planejamento urbano e qualidade do ar. Um estudo de caso : o papel da Floresta da Tijuca na cidade do Rio de Janeiro. *Revista Aquila*, v. 19, p. 8–15, 2018.

- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 set.
- BRATCHELL, N. Cluster Analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, v. 6, p. 105–125, 1989.
- BRITO, T. T. *et al.* Multivariate analysis applied to monthly rainfall over Rio de Janeiro state, Brazil. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 129, n. 5, p. 469–478, 2017.
- CAMPISANO, A. *et al.* Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water Research*, v. 115, p. 195–209, 2017.
- CANCER ENVIRONNEMENT. Classification du Circ par Localisations Cancéreuses: Agents Cancérogènes avec Indications Suffisantes ou Limitées Chez L'Homme. Disponível em: <<http://www.cancer-environnement.fr/479-Classification-par-localisations-cancereuses.ce.aspx>>. Acesso em: 25 ago. 2018.
- CARVALHO, D. A. *et al.* Análise de BTEX em água: comparação entre duas colunas cromatográficas. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 9, n. 1, p. 149–160, 2014.
- CENTRO DE ESTATÍSTICAS, ESTUDOS E PESQUISAS. O Estado do Rio de Janeiro e seu Ambiente. Disponível em: <[http://www.ceperj.rj.gov.br/ceep/info\\_territorios/ambiente.html](http://www.ceperj.rj.gov.br/ceep/info_territorios/ambiente.html)>. Acesso em: 17 de ago. 2018.
- CERQUEIRA, M. R. F. *et al.* Chemical characteristics of rainwater at a southeastern site of Brazil. *Atmospheric Pollution Research*, v. 5, n. 2, p. 253–261, 2014.
- CHARLSON, R. J.; RODHE, H. Factors controlling the acidity of natural rainwater. *Nature*, v. 295, p. 683–685, 1982.
- CHENG, M. C. *et al.* Sources of Cu, Zn, Cd and Pb in rainwater at a subtropical islet offshore northern Taiwan. *Atmospheric Environment*, v. 45, n. 11, p. 1919–1928, 2011.
- COBBINA, S. J. *et al.* Evaluation of Stored Rainwater Quality in Basic Schools in the Tamale Metropolis, Ghana. *Water Quality, Exposure and Health*, v. 7, n. 4, p. 583–590, 2015.
- CONAMA. Resolução CONAMA 430/2011. Diário Oficial da União, p. 9, 2011.
- CONCEIÇÃO, F. T. *et al.* Composição química das águas pluviais e deposição atmosférica anual na bacia do alto sorocaba (SP). *Química Nova*, v. 34, n. 4, p. 610–616, 2011.
- CONNAN, O. *et al.* Wet and dry deposition of particles associated metals (Cd, Pb, Zn, Ni, Hg) in a rural wetland site, Marais Vernier, France. *Atmospheric Environment*, v. 67, p. 394–403, 2013.

D´ALESSANDRO, W. *et al.* Chemical and isotopic characterisation of bulk deposition in the Louros basin ( Epirus , Greece ). *Atmospheric Research*, v. 132–133, p. 399–410, 2013.

DADOS DO RIO. Bairros. Disponível em:

<<http://pcrj.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=9843cc37b0544b55bd5625e96411b0ee>>. Acesso em: 06 set. 2018.

DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. *Estudos Avançados*, v. 30, n. 86, p. 83–98, 2016.

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

DE MELLO, W. . Precipitation chemistry in the coast of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Pollution*, v. 114, n. 2, p. 235–242, 2001.

DE MELLO, W. Z.; DE ALMEIDA, M. D. Rainwater chemistry at the summit and southern flank of the Itatiaia massif, Southeastern Brazil. *Environmental Pollution*, v. 129, n. 1, p. 63–68, 2004.

DELZER, G. C. *et al.* Occurrence of the gasoline oxygenate MTBE and BTEX compounds in urban stormwater in the United States, 1991-95. USGS Water-Resources Investigations Report, p. 96–4145, 1996.

DERECZYNSKI, C. P.; DE OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, C. O. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. March 2009, p. 24–38, 2014.

DESBOEUF, K. V. *et al.* Dissolution and solubility of trace metals from natural and anthropogenic aerosol particulate matter. *Chemosphere*, v. 58, p. 195–203, 2005.

DESPINS, C.; FARAHBAKHS, K.; LEIDL, C. Assessment of rainwater quality from rainwater harvesting systems in Ontario, Canada. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, v. 58, n. 2, p. 117–134, 2009.

DOCKERY, D. W. *et al.* An association between air pollution and mortality in six U.S cities. *Journal of Medicine*, v. 329, n. 20, p. 1437–1441, 1993.

EGODAWATTA, P.; ZIYATH, A. M.; GOONETILLEKE, A. Characterising metal build-up on urban road surfaces. *Environmental Pollution*, v. 176, p. 87–91, 2013.

ENHEALTH. Guidance on use of rainwater tanks, 2011.

EPA. National Primary Drinking Water Regulations, 2009.

FERNANDES, K. G.; MORAES, M. DE; GOMES NETO, J. A. Padronização interna em espectrometria de absorção atômica. *Quim. Nova*, v. 26, n. 2, p. 249–252, 2003.

FORNARO, A. Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil? Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil? Revista USP, v. 70, p. 78–87, 2006.

FORNARO, A.; GUTZ, I. G. R. Wet deposition and related atmospheric chemistry in the São Paulo metropolis, Brazil: Part 2 - Contribution of formic and acetic acids. Atmospheric Environment, v. 37, p. 117–128, 2003.

FÖRSTER, J. Patterns of roof runoff contamination and their potential implications on practice and regulation of treatment and local infiltration. Water Science and Technology, v. 33, n. 6, p. 39–48, 1996.

FORTI, M. C. *et al.* Rainfall chemistry composition in two ecosystems in the northeastern Brazilian Amazon (Amapá State). Journal of Geophysical Research, v. 105, p. 28895–28905, 2000.

FUNASA. Manual Prático de Análise de Água. Fundação Nacional de Saúde Brasília Funasa, , 2013. Disponível em: <[http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/manual\\_pratico\\_de\\_analise\\_de\\_agua\\_2.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf)> Acesso em: 13 de ago. 2018.

GANEM, L. DE O. Modelagem hidráulica de um sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis no CAP– UERJ. 2017. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

GASPERI, J. *et al.* Micropollutants in urban stormwater: Occurrence, concentrations, and atmospheric contributions for a wide range of contaminants in three French catchments. Environmental Science and Pollution Research, v. 21, n. 8, p. 5267–5281, 2014.

GEO-RIO. Relatório Anual de Chuva para a cidade do Rio de Janeiro no ano de 2017. Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, p. 134, 2018.

GHAFFARIANHOSEINI, A. *et al.* State of the art of rainwater harvesting systems towards promoting green built environments : a review. Desalination and Water Treatment, p. 1–10, 2015.

GIKAS, D.; VASSILIOS, A. Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. Journal of Hydrology, v. 466–467, p. 115–126, 2012.

GIODA, A. *et al.* Understanding ozone formation at two islands of Rio de Janeiro, Brazil. Atmospheric Pollution Research, v. 9, n. 2, p. 278–288, 2018.

GISPERT, M. Í. *et al.* Rainwater harvesting as a drinkingwater option for Mexico City. Sustainability, v. 10, n. 11, p. 1–13, 2018.

GOMES, U. *et al.* A Captação de Água de Chuva no Brasil: Novos Aportes a Partir de um Olhar Internacional. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 1, p. 7–16, 2014.

GONÇALVES, R. F. *Uso Racional da Água em Edificações*. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

GOOGLE MAPS BRASIL. Disponível em: <<http://maps.google.com.br>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

GUIMARÃES, R. *et al.* Caracterização físico-química e biológica das águas pluviais nos períodos seco e úmido. *xxI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, v. 113, p. 36–44, 2015.

GUIMARÃES, R. *et al.* QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA COM BARREIRA DE PROTEÇÃO INSTALADA EM UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS. *XX Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água da Chuva*, 2016.

GUNAWARDENA, J. *et al.* Role of traffic in atmospheric accumulation of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Atmospheric Environment*, v. 54, p. 502–510, 2012.

GUNAWARDENA, J. *et al.* Atmospheric deposition as a source of heavy metals in urban stormwater. *Atmospheric Environment*, v. 68, p. 235–242, 2013.

GUNAWARDENA, J. *et al.* Sources and transport pathways of common heavy metals to urban road surfaces. *Ecological Engineering*, v. 77, p. 98–102, 2015.

GWA. Water sensitive urban design Rainwater storage and reuse systems Water sensitive urban design Rainwater storage and reuse systems. Government of Western Australia, p. 1–2, 2011.

HAGEMANN, S. E.; GASTALDINI, M. DO C. C. Variação da qualidade da água de chuva com a precipitação: aplicação à cidade de Santa Maria - RS. *RBRH*, v. 21, n. 3, p. 525–536, set. 2016.

HAN, G.; WU, Q.; TANG, Y. Acid rain and alkalization in southwestern China : chemical and strontium isotope evidence in rainwater from Guiyang. *J Atmos Chem*, n. 2011, p. 139–155, 2012.

HEIJNEN, H. A captação de Água de Chuva: Aspectos de Qualidade da Água, Saúde e Higiene. *VIII Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*, p. 1–14, 2012.

HELMREICH, B. *et al.* Chemosphere Runoff pollutants of a highly trafficked urban road – Correlation analysis and seasonal influences. *Chemosphere*, v. 80, n. 9, p. 991–997, 2010.

HOLLER, F. J; SKOOG, D. A; CROUCH, S. R. *Princípios de Análise Instrumental*. 6ª Edição. Porto Alegre/São Paulo: Artmed - Bookman, 2009.

IBGE. *II Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações Sociais , Econômicas e Territoriais*. p. 1–9, 2006.

IBGE. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-de-janeiro/pesquisa/23/25207?tipo=ranking>>. Acesso em: 17 ago. 2018.

IEMA. 1º Diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil. Instituto de energia e meio ambiente, p. 1–277, 2014.

IGBINOSA, I.; AIGHEWI, I. Quality assessment and public health status of harvested rainwater in a peri-urban community in Edo State of Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 189, n. 8, p. 405, 20 ago. 2017.

INEA. Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do Estado do Rio de Janeiro. p. 134, 2014.

INEA. Relatório da qualidade de ar do estado do Rio de Janeiro - Ano base 2015 Rio de Janeiro, 2016.

ISLAM, M. A. *et al.* Evaluation of harvested rainwater quality at primary schools of southwest coastal Bangladesh. *Environ Monit Assess*, v. 191, n. 80, p. 1–12, 2019.

ISS. Monitoramento da qualidade do ar no Brasil São Paulo, 2014. Disponível em: <<https://www.saudeesustentabilidade.org.br/site/wp-content/uploads/2014/07/Monitoramento-da-Qualidade-do-Ar-no-Brasil-2014.pdf>> Acesso em: 17 ago. 2018.

JACOB, R.V.B. *et al.* Dias Consecutivos Secos para Estimativa de Volumes de Aproveitamento de Águas Pluviais em Períodos de Estiagem na Cidade do Rio de Janeiro. In: 10º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Belém-PA. 18-20/11/2016. 2016.

KAMANI, H. *et al.* Study of trace elements in wet atmospheric precipitation in Tehran, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 186, n. 8, p. 5059–5067, 2014.

KHEMANI, L. T. *et al.* Influence of alkaline particulates on pH of cloud and rain water in India. *Atmospheric Environment (1967)*, v. 21, n. 5, p. 1137–1145, 1987.

KIM, G.; SCUDLARK, J. R.; CHURCH, T. M. Atmospheric wet deposition of trace elements to Chesapeake and Delaware Bays. *Atmospheric Environment*, v. 34, n. 20, p. 3437–3444, 2000.

KULSHRESTHA, U. C. *et al.* Chemical characteristics of rainwater at an urban site of south-central India. *Atmospheric Environment*, v. 37, p. 3019–3026, 2003.

KUMAR, P. *et al.* New directions: From biofuels to wood stoves: The modern and ancient air quality challenges in the megacity of São Paulo. *Atmospheric Environment*, v. 140, p. 364–369, set. 2016.

KUS, B. *et al.* Water quality characterisation of rainwater in tanks at different times and locations. *Water Science and Technology*, n. 2006, p. 429–439, 2010a.

KUS, B. *et al.* Analysis of first flush to improve the water quality in rainwater tanks. *Water Science and Technology*, v. 61, n. 2, p. 421–428, 2010b.

- LAOUALI, D. *et al.* Long term monitoring of the chemical composition of precipitation and wet deposition fluxes over three Sahelian savannas. *Atmospheric Environment*, v. 50, p. 314–327, 2012.
- LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR : An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, v. 25, n. 1, p. 1–18, 2008.
- LEAL, T. F. M. *et al.* Composição iônica majoritária de águas de chuva no centro da cidade de São Paulo. *Química Nova*, v. 27, n. 6, p. 855–861, dez. 2004.
- LEE, M. *et al.* Consideration of rainwater quality parameters for drinking purposes: A case study in rural Vietnam. *Journal of Environmental Management*, v. 200, p. 400–406, set. 2017.
- LEELÓSSY, Á. *et al.* Dispersion modeling of air pollutants in the atmosphere: a review. *Central European Journal of Geosciences*, v. 6, n. 3, p. 257–278, 2014.
- LEOCADIO, J. F. *et al.* Avaliação da operação de um sistema de captação e armazenamento de águas pluviais. I Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana, 2017.
- LIMA, A. S. Contributo dos aerossóis marinhos e continentais para a composição química da precipitação atmosférica na região do Minho ( NW de Portugal ). p. 442–445, 2007.
- LOYOLA, J. *et al.* Trace metals in the urban aerosols of Rio De Janeiro city. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 23, n. 4, p. 628–638, 2012.
- LUNA, A. S. *et al.* Prediction of ozone concentration in tropospheric levels using artificial neural networks and support vector machine at Rio de Janeiro, Brazil. *Atmospheric Environment journal*, v. 98, p. 98–104, 2014.
- LYRA, W. DA S. *et al.* Classificação periódica: Um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. *Quim. Nova*, v. 33, n. 7, p. 1594–1597, 2010.
- MACHADO, G. P. *et al.* Avaliação espacial e sazonal das concentrações de partículas totais em suspensão e elementos metálicos associados no ar de uma cidade do sudeste brasileiro. *Quim. Nova*, v. XY, n. 00, p. 1–8, 2018.
- MAGYAR, M. I. *et al.* Lead and other heavy metals : common contaminants of rainwater tanks in Melbourne. *Water Down Under*, n. January, p. 409–417, 2008.
- MAIA, D.; DEZOTTI, M. Desreguladores endócrinos no meio ambiente: Efeitos e consequências. *Química Nova*, v. 30, n. 3, p. 651–666, 2007.
- MANGANI, G. *et al.* Evaluation of the pollutant content in road runoff first flush waters. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 160, p. 213–228, 2005.
- MARTINS, E. M. *et al.* Utilização de Sistema de Informação Geográfica como ferramenta para gestão do monitoramento da qualidade do ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 19, n. spe, p. 43–50, 2014a.

- MARTINS, R. F. Avaliação da qualidade das águas de chuva de Florianópolis, Tubarão, Criciúma e São Martinho, com ênfase na caracterização das influências marinhas e continentais simuladas utilizando o modelo HYSPLIT. 2008. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- MARTINS, R. S. L. *et al.* Rainwater toxicity and contamination study from São Paulo Metropolitan Region, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2014b.
- MATEUS, V. L. *et al.* Laboratory-Based Bioaccumulation Essay for Elements Associated to Particulate Matter in White Shrimps After In Vivo Exposure. *Journal of Toxicological Analysis*, v. 1, n. 1:2, p. 1–6, 2018.
- MATEUS, V. L.; GIODA, A. A candidate framework for PM<sub>2.5</sub> source identification in highly industrialized urban-coastal areas. *Atmospheric Environment*, v. 164, p. 147–164, 2017.
- MEDEIRO, M. DE A. Zinco. *Química Nova na Escola*, v. 34, n. 3, p. 159–160, 2012.
- MEDEIROS, M. DE A. Ferro. *Química Nova na Escola*, v. 32, n. 3, p. 208–210, 2010.
- METRE, P. C. VAN; MAHLER, B. J. The contribution of particles washed from rooftops to contaminant loading to urban streams. *Chemosphere*, v. 52, p. 1727–1741, 2003.
- MIGLIAVACCA, D. *et al.* Atmospheric precipitation and chemical composition of an urban site, Guaíba hydrographic basin, Brazil. *Atmospheric Environment*, v. 39, n. 10, p. 1829–1844, 2005.
- MIGUEL, E. *et al.* Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environment*, v. 31, n. 17, p. 2733–2740, 1997.
- MIMURA, A. M. S. *et al.* Chemical composition monitoring of tropical rainwater during an atypical dry year. *Atmospheric Research*, v. 169, p. 391–399, 2016.
- MMA. Água e desigualdades, 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/9032-%C3%A1gua-e-desigualdades>>. Acesso em: 05 abr. 2018.
- MMA. Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Sudeste. Ministério ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, 2006.
- MMA Ciclo Hidrológico, 2018. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>>. Acesso em: 05 set. 2018.
- MMA. Compromisso pela Qualidade do Ar e Saúde Ambiental. Ministério do Meio Ambiente, p. 1–20, 2009.
- MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. *Quím. Nova*, v. 21, n. 4, p. 467–469, 1998.

MULLAUGH, K. M. *et al.* Temporal and spatial variability of trace volatile organic compounds in rainwater. *Chemosphere*, v. 134, p. 203–209, 2015.

NADZIR, M. S. M. *et al.* Characterization of rainwater chemical composition after a Southeast Asia haze event: insight of transboundary pollutant transport during the northeast monsoon. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, n. 18, p. 15278–15290, 2017.

NÉGREL, P.; ROY, S. Chemistry of rainwater in the Massif Central ( France ): a strontium isotope and major element study. *Applied Geochemistry*, v. 13, n. 8, p. 941–952, 1998.

NHMRC; NRMMC. Australian Drinking Water Guidelines Paper 6 National Water Quality Management Strategy. Canberra, 2011.

NIU, H. *et al.* Chemical composition of rainwater in the Yulong Snow Mountain region , Southwestern China. *Atmospheric Research*, v. 144, p. 195–206, 2014.

NOVAK, A.C.; GIESEN, V.E.G.; DEBUSK, M.K. *Designing Rainwater Harvesting Systems*. Wiley: New Jersey, 2014 p. 151- 174.

OHNUMA JR., A. A. *et al.* influência da poluição atmosférica na qualidade das águas pluviais. *Hydro (São Paulo)*, v. IX, p. 60-65, 2014. Disponível em: <<http://www.arandanet.com.br/assets/revistas/hydro/2014/dezembro/index.php>>. Acesso em: 06 set. 2018.

OLAOYE, R. A.; OLANIYAN, O. S. Quality of Rainwater from Different Roof Material. *International Journal of Engineering and Technology*, v. 2, n. 8, p. 1413–1421, 2012.

OLIVEIRA, P. L.; FIGUEIREDO, B. R.; CARDOSO, A. A. Rainwater major and trace element contents in southeastern brazil: An assessment of a sugar cane region in dry and wet period. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 23, n. 12, p. 2258–2265, 2012.

OMRANI, M. *et al.* Assessment of atmospheric trace metal deposition in urban environments using direct and indirect measurement methodology and contributions from wet and dry depositions. *Atmospheric Environment*, v. 168, p. 101–111, 2017.

OMS. Guidelines for drinking-water quality. Guidelines for drinking-water quality, 2008. Disponível em: <[http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4053895&tool=pmcentrez&rendertype=abstract%5Cnhttp://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/fulltext.pdf%5Cnhttp://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151\\_eng.pdf?ua=1](http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4053895&tool=pmcentrez&rendertype=abstract%5Cnhttp://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf%5Cnhttp://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf?ua=1)> Acesso em: 10 abr. 2018.

OMS. Guidelines for drinking-water quality. Guidelines for drinking-water quality., jun. 2011. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1462075800000066>> Acesso em: 10 abr. 2018.

PAULIQUEVIS, T. *et al.* Aerosol and precipitation chemistry measurements in a remote site in Central Amazonia: The role of biogenic contribution. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 12, n. 11, p. 4987–5015, 2007.

PEIXOTO, E. M. A. Sódio. *Química Nova na Escola*, v. 10, 1999.

PEIXOTO, E. M. A. Cálcio. *Química Nova na Escola*, v. 20, 2004a.

PEIXOTO, E. M. A. Potássio. *Química Nova na Escola*, v. 19, p. 47, 2004b.

PELICHO, F. *et al.* Integrated and sequential bulk and wet-only samplings of atmospheric precipitation in Londrina, South Brazil ( 1998 – 2002 ). *Atmospheric Environment*, v. 40, p. 6827–6835, 2006.

PIÑEIRO, J. *et al.* Influence of marine, terrestrial and anthropogenic sources on ionic and metallic composition of rainwater at a suburban site (northwest coast of Spain). *Atmospheric Environment*, v. 88, p. 30–38, 2014.

PMRJ. PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município do Rio de Janeiro. Mapa 02. Hipsometria, Hidrografia e Sub-Bacias Hidrográficas: Brasil 2011. Rio de Janeiro: PMRJ, 2011.

PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS. Indicadores de Qualidade das Águas (IQA). Disponível em: <[http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#\\_ftn2](http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn2)>. Acesso em: 11 set. 2018.

QUITERIO, S. L. *et al.* Metals in airborne particulate matter in the industrial district of Santa Cruz, Rio de Janeiro, in an annual period. *Atmospheric Environment*, v. 38, n. 2, p. 321–331, 2004.

R CORE TEAM 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 10 set. 2018.

RADICCHI, A. L. A. A poluição na bacia aérea da região metropolitana de Belo Horizonte e sua repercussão na saúde da população. *Revista Brasileira de Estudos de População*, v. 29, n. 1, p. 195–198, 2012.

RIBEIRO, A. S.; ARRUDA, M. A. Z.; CADORE, S. Espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica em filamento de tungstênio. Uma re-visão crítica. *Quim. Nova*, v. 25, n. 3, p. 396–405, 2002.

ROCHA, R. A. DA; AFONSO, J. C. Manganês. *QUÍMICA NOVA NA ESCOLA*, v. 34, n. 2, p. 103–105, 2012.

ROMIC, M.; ROMIC, D. Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area. *Environmental Geology*, v. 43, n. 7, p. 795–805, 2003.

SABESP. Qualidade da Água Tratada. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=40>>. Acesso em: 11 set. 2018.

SÁNCHEZ, A. S.; COHIM, E.; KALID, R. A. A review on physicochemical and microbiological contamination of roof-harvested rainwater in urban areas. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, v. 6, p. 119–137, set. 2015.

SANUSI, A. *et al.* Chemical composition of rainwater in eastern France. *Atmospheric Environment*, v. 30, n. 1, p. 59–71, 1996.

SHUTES, R. B. E. *et al.* The design of vegetative constructed wetlands for the treatment of highway runoff. *The Science of the total environment*, v. 235, p. 189–197, 1999.

SICILIANO, W. C. *et al.* Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no município do Rio de Janeiro. *Revista Internacional de Ciências*, v. 8, n. 2, p. 221–233, 2018.

SILVA, A. M. *et al.* Influence of the transport of sea spray on the salinization of the semiarid region waters (Bahia, Brazil). *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 28, n. 12, p. 2402–2411, 2017.

SILVA, C. M. *et al.* Volatile Organic Compounds in the Atmosphere of the Botanical Garden of the City of Rio de Janeiro : A Preliminary Study. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 97, p. 653–658, 2016a.

SILVA, C. M. *et al.* Avaliação da eficiência do método TO-15 para determinação de compostos orgânicos voláteis em condições típicas de ambiente urbano. *Quim. Nova*, v. 39, n. 10, p. 1245–1253, 2016b.

SILVA, C. M. *et al.* A minimum set of ozone precursor volatile organic compounds in an urban environment. *Atmospheric Pollution Research*, v. 9, n. 2, p. 369–378, 2018.

SILVA, C. M.; SILVA, L. L.; CORRÊA, S. M. Kinetic and mechanistic reactivity. Isoprene impact on ozone levels in an urban area near Tijuca Forest, Rio de Janeiro. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 97, p. 781, 2016.

SIMMONS, G. *et al.* Contamination of potable roof-collected rainwater in Auckland, New Zealand. *Water Research*, v. 35, n. 6, p. 1518–1524, abr. 2001.

SINGH, K. P. *et al.* Hydrochemistry of Wet Atmospheric Precipitation Over an Urban Area in Northern Indo-Gangetic Plains. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 131, p. 237–254, 2007.

SOLURI, D. S. *et al.* Multi-site PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5-10</sub> Aerosol Source Apportionment in Rio de Janeiro, Brazil. *J. Braz. Chem. Soc.*, v. 18, n. 4, p. 838–845, 2007.

SORIANO, A. *et al.* Deposition of heavy metals from particulate settleable matter in soils of an industrialised area. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 113, p. 36–44, 2012.

ŠOŠTARIĆ, A. *et al.* Rainwater capacities for BTEX scavenging from ambient air. *Atmospheric Environment*, v. 168, p. 46–54, 2017.

SOUZA, P. A. *et al.* Composição química da chuva e aporte atmosférico na Ilha Grande, RJ. *Química Nova*, v. 29, n. 3, p. 471–476, 2006.

STOJIC, A. *et al.* Explainable extreme gradient boosting tree-based prediction of toluene, ethylbenzene and xylene wet deposition. *Science of the Total Environment*, v. 653, p. 140–147, 2019.

SZÉP, R. *et al.* Influence of peat fires on the rainwater chemistry in intra-mountain basins with specific atmospheric circulations (Eastern Carpathians, Romania). *Science of the Total Environment*, v. 647, p. 275–289, 2019.

TESTON, A. *et al.* Rainwater Harvesting in Buildings in Brazil: A Literature Review. *Water*, v. 10, n. 4, p. 471, 12 abr. 2018.

TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD. Rainwater Harvesting Potential and Guidelines for Texas Report to the 80 th Legislature Texas, 2006.

THORPE, A.; HARRISON, R. M. Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review. *Science of the Total Environment*, v. 400, n. 1–3, p. 270–282, 2008.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. [s.l.] Plínio Tomaz, 2010. v. I.

TOMAZINI, F.; BONOTTO, D. M. Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. *Applied Geochemistry*, v. 19, p. 575–591, 2004.

TRATA BRASIL; GO ASSOCIADOS. Perdas de água 2018 (SNIS 2016): Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico. *Trata Brasil, Go associados*, v. 2018, p. 68, 2018.

UN-WATER. The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water Paris, 2018. Disponível em:  
<<http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261424e.pdf>> Acesso em: 10 set. 2018.

UNESCO. The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World, 2015.

VALENTA, P.; NGUYEN, V. D.; NORBERG, H. W. Acid and heavy metal pollution by wet deposition. *The Science of the total environment*, v. 178, p. 311–320, 1986.

VÁZQUEZ, A. *et al.* A rainwater quality monitoring network: A preliminary study of the composition of rainwater in Galicia (NW Spain). *Chemosphere*, v. 51, n. 5, p. 375–386, 2003.

VIALLE, C. *et al.* Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. *Water Research*, v. 45, n. 12, p. 3765–3775, 2011.

VIEIRA-FILHO, M. S. *et al.* Gas-phase ammonia and water-soluble ions in particulate matter analysis in an urban vehicular tunnel. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 23, n. 19, p. 19876–19886, 2016.

VIEIRA-FILHO, M. S.; LEHMANN, C.; FORNARO, A. Influence of local sources and topography on air quality and rainwater composition in Cubatão and São Paulo, Brazil. *Atmospheric Environment*, v. 101, p. 200–208, 2015.

VIEIRA-FILHO, M. S.; PEDROTTI, J. J.; FORNARO, A. Contribution of long and mid-range transport on the sodium and potassium concentrations in rainwater samples, São Paulo megacity, Brazil. *Atmospheric Environment*, 2013.

VOGEL, A. I. *Análise química quantitativa*. 6. ed Rio de Janeiro: LTC, 2013.

WANG, T. *et al.* The effects of heavy metals and their interactions with polycyclic aromatic hydrocarbons on the oxidative stress among coke-oven workers. *Environmental Research*, v. 140, p. 405–413, 2015.

WANG, Y. *et al.* The impacts of anthropogenic emissions on the precipitation chemistry at an elevated site in North-eastern China. *Atmospheric Environment*, v. 42, p. 2959–2970, 2008.

WIJESIRI, B. *et al.* Assessing uncertainty in pollutant build-up and wash-off processes. *Environmental Pollution*, v. 212, p. 48–56, 2016.

WILBERS, G.-J. *et al.* Effects of local and spatial conditions on the quality of harvested rainwater in the Mekong Delta, Vietnam. *Environmental Pollution*, v. 182, p. 225–232, 2013.

YAZIZ, M. I. *et al.* Variations in rainwater quality from roof catchments. *Water Research*, v. 23, n. 6, p. 761–765, jun. 1989.

YU, A. H.; ZHAO, C. Evaluation on the highway asphalt pavement runoff with the gray correlation model. *Procedia Environmental Sciences*, v. 13, p. 1827–1835, 2012.

ZAHED, M. A. *et al.* Wet deposition of hydrocarbons in the city of Tehran-Iran. *Air Quality Atmosphere Health*, v. 3, p. 77–82, 2010.

ZHANG, H. *et al.* Identification of traffic-related metals and the effects of different environments on their enrichment in roadside soils along the Qinghai-Tibet highway. *Science of the Total Environment*, v. 521–522, p. 160–172, 2015.

**APÊNDICE A – TABELA DE TUKEY PERÍODO ÚMIDO**

| Parâmetro     | ponto | diff  | lwr    | upr   | p adj |
|---------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Ca            | 1-3   | 2,44  | -5,61  | 10,50 | 0,72  |
|               | 2-3   | 8,67  | 0,61   | 16,72 | 0,03  |
|               | 2-1   | 6,23  | -1,83  | 14,28 | 0,15  |
| Cd            | 1-3   | 0,00  | -0,02  | 0,02  | 0,96  |
|               | 2-3   | 0,01  | -0,01  | 0,02  | 0,55  |
|               | 2-1   | 0,01  | -0,01  | 0,02  | 0,73  |
| Fe            | 3-1   | 0,45  | -3,43  | 4,32  | 0,95  |
|               | 2-1   | 3,70  | -0,18  | 7,58  | 0,06  |
|               | 2-3   | 3,25  | -0,47  | 6,98  | 0,09  |
| K             | 1-3   | 0,60  | -3,77  | 4,98  | 0,93  |
|               | 2-3   | 4,41  | 0,20   | 8,61  | 0,04  |
|               | 2-1   | 3,81  | -0,57  | 8,18  | 0,09  |
| Mn            | 3-1   | 0,00  | -0,85  | 0,85  | 1,00  |
|               | 2-1   | 0,57  | -0,24  | 1,37  | 0,18  |
|               | 2-3   | 0,56  | -0,29  | 1,41  | 0,22  |
| Na            | 2-1   | 0,76  | -6,48  | 8,01  | 0,96  |
|               | 3-1   | 1,70  | -5,54  | 8,95  | 0,82  |
|               | 3-2   | 0,94  | -6,30  | 8,19  | 0,94  |
| Ni            | 1-3   | 0,07  | -0,53  | 0,67  | 0,94  |
|               | 2-3   | 0,20  | -0,27  | 0,66  | 0,48  |
|               | 2-1   | 0,12  | -0,45  | 0,70  | 0,82  |
| Zn            | 3-1   | 2,11  | 0,15   | 4,07  | 0,03  |
|               | 2-1   | 2,80  | 0,84   | 4,76  | 0,01  |
|               | 2-3   | 0,69  | -1,27  | 2,65  | 0,65  |
| Cloreto       | 2-3   | 0,49  | -3,30  | 4,28  | 0,94  |
|               | 1-3   | 4,11  | 0,32   | 7,90  | 0,03  |
|               | 1-2   | 3,62  | -0,17  | 7,41  | 0,06  |
| Condutividade | 2-3   | 22,88 | -4,75  | 50,52 | 0,12  |
|               | 1-3   | 27,67 | 0,04   | 55,31 | 0,05  |
|               | 1-2   | 4,79  | -22,85 | 32,43 | 0,90  |
| pH            | 3-1   | 1,92  | 1,28   | 2,56  | 0,00  |
|               | 2-1   | 1,98  | 1,34   | 2,62  | 0,00  |
|               | 2-3   | 0,06  | -0,58  | 0,70  | 0,97  |
| Turbidez      | 1-3   | 5,16  | -24,31 | 34,62 | 0,90  |
|               | 2-3   | 24,96 | -4,50  | 54,43 | 0,11  |
|               | 2-1   | 19,81 | -9,66  | 49,28 | 0,23  |

Legenda: Precipitação direta (1), *first flush* (2) e reservatório (3).

Fonte: Próprio autor, 2018.

**APÊNDICE B – TABELA DE TUKEY PERÍODO SECO**

| Parâmetro     | ponto | diff   | lwr     | upr    | p adj |
|---------------|-------|--------|---------|--------|-------|
| Ca            | 1-3   | 8,93   | -17,69  | 35,55  | 0,67  |
|               | 2-3   | 22,84  | -3,78   | 49,46  | 0,10  |
|               | 2-1   | 13,91  | -12,71  | 40,53  | 0,39  |
| Cd            | 2-1   | 0,00   | -0,04   | 0,04   | 0,99  |
|               | 3-1   | 0,01   | -0,04   | 0,05   | 0,90  |
|               | 3-2   | 0,00   | -0,03   | 0,04   | 0,95  |
| Fe            | 1-3   | 0,08   | -1,33   | 1,49   | 0,99  |
|               | 2-3   | 1,56   | 0,15    | 2,97   | 0,03  |
|               | 2-1   | 1,48   | 0,07    | 2,89   | 0,04  |
| K             | 1-3   | 0,29   | -5,63   | 6,21   | 0,99  |
|               | 2-3   | 3,11   | -2,82   | 9,03   | 0,38  |
|               | 2-1   | 2,82   | -3,11   | 8,74   | 0,45  |
| Mn            | 1-3   | 0,06   | -0,08   | 0,19   | 0,51  |
|               | 2-3   | 0,17   | 0,03    | 0,30   | 0,02  |
|               | 2-1   | 0,11   | -0,03   | 0,24   | 0,13  |
| Na            | 1-3   | 1,41   | -12,71  | 15,53  | 0,96  |
|               | 2-3   | 1,92   | -12,20  | 16,03  | 0,93  |
|               | 2-1   | 0,50   | -13,62  | 14,62  | 1,00  |
| Ni            | 2-1   | 0,05   | -       | -      | -     |
|               | 3-1   | 0,35   | -       | -      | -     |
|               | 3-2   | 0,30   | -       | -      | -     |
| Pb            | 2-1   | 0      | 0       | 0      | -     |
|               | 3-1   | 0      | 0       | 0      | -     |
|               | 3-2   | 0      | 0       | 0      | -     |
| Zn            | 3-1   | 2,15   | -1,70   | 6,00   | 0,34  |
|               | 2-1   | 2,64   | -1,21   | 6,49   | 0,21  |
|               | 2-3   | 0,49   | -3,36   | 4,33   | 0,94  |
| Cloreto       | 1-3   | 3,55   | -12,25  | 19,35  | 0,83  |
|               | 2-3   | 5,59   | -8,55   | 19,72  | 0,56  |
|               | 2-1   | 2,04   | -13,76  | 17,84  | 0,94  |
| Condutividade | 2-3   | 94,85  | -35,56  | 225,26 | 0,18  |
|               | 1-3   | 116,98 | -13,42  | 247,39 | 0,08  |
|               | 1-2   | 22,13  | -108,27 | 152,54 | 0,90  |
| pH            | 3-1   | 2,59   | 2,29    | 2,89   | 0     |
|               | 2-1   | 2,73   | 2,43    | 3,03   | 0     |
|               | 2-3   | 0,15   | -0,15   | 0,45   | 0,43  |
| Turbidez      | 1-3   | 1,85   | -46,94  | 50,63  | 0,99  |
|               | 2-3   | 34,63  | -11,89  | 81,14  | 0,16  |
|               | 2-1   | 32,78  | -16,01  | 81,57  | 0,22  |

Legenda: Precipitação direta (1), *first flush* (2) e reservatório (3).

Fonte: Próprio autor, 2018.

**APÊNDICE C - ESTATÍSTICA DESCRITIVA PERÍODO ÚMIDO METAIS E  
PARÂMETROS METEOROLÓGICOS**

| Parâmetro              | Ponto de coleta | Média | Mediana | Desvio padrão | Mínimo | Máximo |
|------------------------|-----------------|-------|---------|---------------|--------|--------|
| Ca                     | PD              | 3,56  | 2,36    | 3,28          | 1,00   | 10,56  |
|                        | FF              | 9,78  | 6,12    | 9,69          | 3,44   | 31,11  |
|                        | RR              | 1,12  | 1,05    | 0,21          | 0,89   | 1,53   |
| Cd                     | PD              | 0,02  | 0,02    | 0,00          | 0,02   | 0,02   |
|                        | FF              | 0,02  | 0,02    | 0,02          | 0,01   | 0,06   |
|                        | RR              | 0,02  | 0,02    | 0,00          | 0,01   | 0,02   |
| Cu                     | PD              | 0,95  | 0,76    | 0,39          | 0,59   | 1,57   |
|                        | FF              | 13,83 | 13,46   | 11,71         | 0,04   | 31,34  |
|                        | RR              | 3,54  | 1,97    | 5,12          | 0,36   | 13,78  |
| Fe                     | PD              | 1,04  | 0,92    | 0,53          | 0,38   | 1,91   |
|                        | FF              | 4,74  | 3,81    | 4,33          | 0,39   | 10,59  |
|                        | RR              | 1,48  | 0,86    | 1,37          | 0,26   | 4,23   |
| K                      | PD              | 10,42 | 9,48    | 2,35          | 8,29   | 14,61  |
|                        | FF              | 14,23 | 14,61   | 1,52          | 10,90  | 15,46  |
|                        | RR              | 9,82  | 10,37   | 4,44          | 1,06   | 15,67  |
| Mn                     | PD              | 0,04  | 0,04    | 0,02          | 0,01   | 0,06   |
|                        | FF              | 0,60  | 0,26    | 0,78          | 0,16   | 1,98   |
|                        | RR              | 0,04  | 0,04    | 0,03          | 0,01   | 0,09   |
| Na                     | PD              | 19,13 | 18,82   | 5,28          | 8,77   | 25,74  |
|                        | FF              | 19,89 | 20,90   | 7,01          | 5,02   | 27,16  |
|                        | RR              | 20,83 | 19,48   | 2,78          | 17,80  | 25,22  |
| Ni                     | PD              | 0,21  | 0,21    | 0,05          | 0,17   | 0,25   |
|                        | FF              | 0,33  | 0,24    | 0,34          | 0,08   | 0,92   |
|                        | RR              | 0,13  | 0,14    | 0,04          | 0,09   | 0,17   |
| Pb                     | PD              | –     | –       | –             | –      | –      |
|                        | FF              | 0,04  | 0,04    | 0,04          | 0,01   | 0,06   |
|                        | RR              | –     | –       | –             | –      | –      |
| Zn                     | PD              | 0,91  | 1,00    | 0,36          | 0,29   | 1,32   |
|                        | FF              | 3,71  | 2,85    | 2,30          | 2,75   | 8,93   |
|                        | RR              | 3,02  | 2,70    | 0,88          | 2,61   | 5,02   |
| DSC                    | –               | 4,00  | 3,00    | 3,83          | 1,00   | 12,00  |
| Intensidade sub-diária | –               | 9,37  | 3,07    | 11,88         | 1,24   | 30,80  |

Legenda: Concentração em mg L<sup>-1</sup>

Fonte: Próprio autor, 2018.

**APÊNDICE D - ESTATÍSTICA DESCRITIVA PERÍODO SECO METAIS E  
PARÂMETROS METEOROLÓGICOS**

| Parâmetro              | Ponto de coleta | Média | Mediana | Desvio padrão | Mínimo | Máximo |
|------------------------|-----------------|-------|---------|---------------|--------|--------|
| Ca                     | PD              | 19,25 | 18,11   | 10,20         | 7,60   | 33,02  |
|                        | FF              | 33,16 | 19,88   | 28,40         | 16,00  | 89,45  |
|                        | RR              | 10,31 | 10,94   | 5,86          | 1,99   | 16,21  |
| Cd                     | PD              | 0,02  | 0,02    | 0,01          | 0,01   | 0,02   |
|                        | FF              | 0,02  | 0,01    | 0,01          | 0,01   | 0,03   |
|                        | RR              | 0,02  | 0,02    | 0,01          | 0,01   | 0,03   |
| Cu                     | PD              | –     | –       | –             | –      | –      |
|                        | FF              | –     | –       | –             | –      | –      |
|                        | RR              | 1,85  | 0,36    | 3,11          | 0,19   | 6,51   |
| Fe                     | PD              | 0,16  | 0,13    | 0,12          | 0,04   | 0,34   |
|                        | FF              | 1,64  | 0,90    | 1,62          | 0,44   | 4,47   |
|                        | RR              | 0,08  | 0,03    | 0,12          | 0,01   | 0,33   |
| K                      | PD              | 4,17  | 2,81    | 3,96          | 1,27   | 11,96  |
|                        | FF              | 6,98  | 6,04    | 4,67          | 2,79   | 15,37  |
|                        | RR              | 3,88  | 2,71    | 3,05          | 2,04   | 9,94   |
| Mn                     | PD              | 0,28  | 0,30    | 0,09          | 0,19   | 0,41   |
|                        | FF              | 0,39  | 0,37    | 0,10          | 0,30   | 0,55   |
|                        | RR              | 0,22  | 0,22    | 0,02          | 0,19   | 0,25   |
| Na                     | PD              | 5,99  | 1,99    | 10,10         | 1,29   | 26,58  |
|                        | FF              | 6,49  | 2,20    | 10,46         | 1,87   | 27,83  |
|                        | RR              | 4,58  | 1,79    | 7,39          | 0,97   | 19,63  |
| Ni                     | PD              | 0,25  | 0,25    | –             | 0,25   | 0,25   |
|                        | FF              | 0,30  | 0,30    | –             | 0,30   | 0,30   |
|                        | RR              | 0,60  | 0,60    | –             | 0,60   | 0,60   |
| Pb                     | PD              | 0,01  | 0,01    | 0,00          | 0,01   | 0,01   |
|                        | FF              | 0,01  | 0,01    | 0,00          | 0,01   | 0,01   |
|                        | RR              | 0,01  | 0,01    | –             | 0,01   | 0,01   |
| Zn                     | PD              | 1,41  | 1,44    | 0,40          | 0,93   | 1,92   |
|                        | FF              | 4,05  | 2,57    | 3,63          | 2,51   | 11,47  |
|                        | RR              | 3,57  | 2,54    | 2,53          | 2,51   | 8,73   |
| DSC                    | –               | 1,67  | 0       | 2,58          | 0,00   | 5,00   |
| Intensidade sub-diária | –               | 4,19  | 0,95    | 6,74          | 0,57   | 17,6   |

Legenda: Concentração em mg L<sup>-1</sup>

Fonte: Próprio autor, 2018.