



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI  
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS – PPGCA

RÉGIA SIMONY BRAZ DA SILVA

**ESTUDO DA PRECIPITAÇÃO SAZONAL NA QUALIDADE DAS ÁGUAS NA ÁREA  
DE INFLUÊNCIA DO LIXÃO DE SALINÓPOLIS, PA**

Belém - PA

2016

RÉGIA SIMONY BRAZ DA SILVA

**ESTUDO DA PRECIPITAÇÃO SAZONAL NA QUALIDADE DAS ÁGUAS NA ÁREA  
DE INFLUÊNCIA DO LIXÃO DE SALINÓPOLIS, PA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental.

Área de Concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Orientador: Dr. Adriano Marlisom Leão de Sousa.

Coorientadora: Dr.<sup>a</sup> Maria Isabel Vitorino/UFPA.

Belém - PA

2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFPA

---

Silva, Régia Simony Braz da, 1985-

Estudo da precipitação sazonal na qualidade das  
águas na área de influência do lixão de Salinópolis, PA  
/ Régia Simony Braz da Silva. - 2016.

Orientador: Adriano Marlisom Leão de  
Sousa;

Coorientadora: Maria Isabel Vitorino.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade  
Federal do Pará, Instituto de Geociências,  
Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Ambientais, Belém, 2016.

1. Precipitação (Meteorologia) - Salinópolis  
(PA). 2. Água - Qualidade - Salinópolis (PA). 3.  
Lixo - Eliminação - Salinópolis (PA). I. Título.

CDD 22. ed. 551.57728115

---

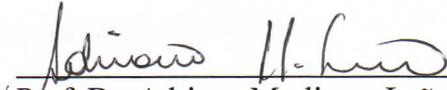
RÉGIA SIMONY BRAZ DA SILVA

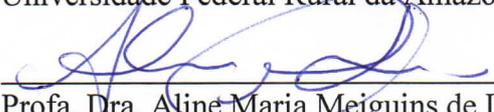
**ESTUDO DA PRECIPITAÇÃO SAZONAL NA QUALIDADE DAS ÁGUAS NA  
ÁREA DE INFLUÊNCIA DO LIXÃO DE SALINÓPOLIS, PA**

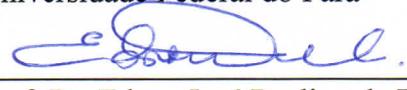
Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Área em Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

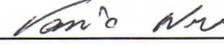
Data de aprovação: 25/ 04 / 2016

Banca Examinadora:

  
Orientador  
Prof. Dr. Adriano Marlisom Leão de Sousa  
Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental  
Universidade Federal Rural da Amazônia

  
Prof.ª Dra. Aline Maria Meiguins de Lima  
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido  
Universidade Federal do Pará

  
Prof. Dr. Edson José Paulino da Rocha  
Doutor em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará

  
Prof.ª Dra. Vania Neu  
Doutora em Ecologia Aplicada  
Universidade Federal Rural da Amazônia

À minha mãe, Salete Braz. A meu pai, Raimundo Pereira (*in memoriam*). A meus irmãos, Regiane e André Wallisson. À minha avó, Maria de Lourdes. À tia Cícera e aos primos Taynara e Talysson. De quem me orgulho por serem minha família, melhores amigos e principais motivadores de minha vida acadêmica.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que me sustenta, fortalece e orienta não somente em minha vida acadêmica, mas em todas as áreas de minha vida.

Ao meu orientador, Dr. Adriano Marlisom, pela orientação, apoio e dedicação dispensados a mim sempre que precisei.

À minha coorientadora, professora Dr.<sup>a</sup> Maria Isabel, que iniciou comigo essa jornada e continuou atuante, com sugestões e correções ao decorrer de todo o trabalho, agradeço pela confiança, que me motivou nos momentos mais difíceis.

À professora Dr.<sup>a</sup> Silvana Sodré, pela companhia, orienta o, exemplo e amizade, tão valiosos para a conclusão do meu trabalho.

  minha família, que em nenhum momento me cobrou pelas ausências. Antes, me apoiou e me motivou para que eu desse o melhor de mim.

Ao Programa de Pós-Gradua o em Ciências Ambientais (PPGCA).  s pessoas da coordena o, da secretaria e aos professores, que contribuíram substancialmente nesta importante etapa de minha forma o acadêmica.

Ao CNPq/Edital Universal – n.º 14/2012 e   FAPESPA/Universal 2014, pelo apoio financeiro, indispensável para a realiza o desta pesquisa.

Ao Instituto Federal do Maranhão, por viabilizar meu afastamento no decorrer de meu mestrado.

Ao Instituto Evandro Chagas, especialmente ao Msc. Kelson Faial e   Thalita de Lourdes Sousa, que viabilizaram a realiza o das análises dos metais pesados em todas as amostras.

Ao professor Dr. José Augusto Martins Correa, pela solicitude com que disponibilizou o Laboratório de Hidroquímica para a realiza o das análises físico-químicas e bacteriológicas. E   química Leila Maria Miranda Hanna, pela amizade, colabora o e orienta o nas análises.

Aos meus colegas de mestrado, que tornaram mais agradável essa caminhada acadêmica; principalmente, às minhas amigas Dhne Maria, Desirr  Jastes e Milena Pantoja.

Ao Pedro, que tão prontamente contribuiu como guia e ajudante nas coletas de água nas seis campanhas amostrais.

  professora Dr.<sup>a</sup> Célia Campos Braga e ao Msc. Edicarlos Sousa, pelo valioso auxílio com a Análise Fatorial em Componentes Principais.

Aos amigos que colaboraram com a elaboração dos gráficos e a tabulação de dados de precipitação: Susy e Jefferson Inayan, respectivamente.

A todos os amigos que contribuíram direta e indiretamente na construção desse trabalho.

“Ama e faz o que quiseres. Se calares, calarás com amor; se gritares, gritarás com amor; se corrigires, corrigirás com amor; se perdoares, perdoarás com amor. Se tiveres o amor enraizado em ti, nenhuma coisa senão o amor serão os teus frutos”.

Santo Agostinho

## RESUMO

A precipitação pluviométrica influi diretamente na composição físico-química e microbiológica dos corpos hídricos, por meio de processos complexos de interação superfície-atmosfera. Entretanto, a qualidade de um corpo hídrico não depende apenas de fatores naturais. A influência antrópica é uma importante variável a ser considerada para a análise da qualidade de água, que é fundamental para a manutenção do equilíbrio ambiental e a saúde da população que dela faz uso. Embora muitos trabalhos enfatizem a qualidade da água em lixões e aterros, avaliações que relacionem variáveis hidrológicas com parâmetros físico-químicos ainda são escassas, sobretudo na região amazônica. Assim, o objetivo deste trabalho foi investigar o papel da precipitação sazonal na qualidade das águas superficiais e subterrâneas nas proximidades do lixão de Salinópolis, situado na Vila de Cuiarana, por meio da caracterização da precipitação da região e da sua influência na composição físico-química e microbiológica das águas locais. Para isso, foram observados a climatologia da precipitação de Cuiarana e os dados dos acumulados mensais da precipitação local nos anos de 2014-2015, por meio de sensoriamento CMORPH, medição da velocidade de infiltração no solo nos meses de março e outubro de 2015 e medição da vazão dos rios Cachoeira e Teixeira em março de 2015. Para as análises físico-químicas e bacteriológicas, foram selecionados os parâmetros: pH, oxigênio dissolvido, temperatura da água, sólidos totais dissolvidos, turbidez, condutividade elétrica, salinidade, amônia, nitrato, nitrito, coliformes totais e *Escherichia coli*; e os metais: alumínio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel e zinco. Tanto as águas superficiais quanto as subterrâneas se apresentaram inadequadas para uso e consumo humano. Parâmetros como oxigênio dissolvido, ferro, alumínio, chumbo, mercúrio, coliformes totais e *E. coli* estão em desconformidade com as legislações vigentes, tanto em águas superficiais quanto em subterrâneas. O período chuvoso influenciou negativamente a qualidade em águas superficiais. Já o período menos chuvoso foi mais importante para a deterioração da qualidade em águas subterrâneas. A região próxima ao lixão demonstrou maior vulnerabilidade para uma progressiva deterioração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, uma vez que a junção de fatores como alta velocidade de infiltração da água no solo, topografia e regime de chuvas favorece a dispersão dos poluentes advindos do lixão em direção aos corpos hídricos.

Palavras-chave: Precipitação. Qualidade da água. Lixão. Cuiarana.

## ABSTRACT

The rainfall directly influences in the physicochemical and microbiological water bodies composition through complex processes of surface-atmosphere interaction. However, the quality of a water body does not depend only on natural factors, anthropic influence is an important variable to be considered for the analysis of water quality. The water quality is critical to the maintenance of the environmental balance and the health of the population who uses it. Although, many studies emphasize the quality of water in dumps and landfills, assessments that relate hydrologic variables with physicochemical parameters are still scarce, especially in the Amazon region. The objective of this study was to investigate the role of seasonal precipitation in the quality of surface water and groundwater near the landfill in Salinópolis, located in the village of Cuiarana through the characterization of rainfall in the region and its influence on the physicochemical and microbiological composition of the local waters. For this, we obtained the precipitation climatology of Cuiarana and data of the monthly accumulated precipitation for the period of 2014-2015 through the CMORPH technique, infiltration rate measurement on the ground in March and October 2015, and flow measurement of the rivers Cachoeira and Teixeira in March 2015. For the physicochemical and bacteriological analysis, we selected the following parameters: pH, dissolved oxygen, water temperature, total dissolved solids, turbidity, conductivity, salinity, ammonia, nitrate, nitrite, total coliforms, and *Escherichia coli*; and the metals: aluminum, cadmium, lead, copper, chromium, iron, manganese, mercury, nickel and zinc. Both surface and groundwater presented unsuitable for use and human consumption. Parameters such as dissolved oxygen, iron, aluminum, lead, mercury, total coliforms and *E. coli* are in violation of the current legislation, for both surface and groundwater. The rainy season affected negatively the quality of the surface water, while dry period was more important to the groundwater quality deterioration. The region near the dumpsite showed greater vulnerability to a progressive deterioration of the quality of surface and groundwater, since the junction of factors such as high speed of water infiltration into the soil, topography and rainfall allow the dispersion of pollutants arising from the dump towards water bodies.

Keywords: Rainfall. Water quality. Dumping ground. Cuiarana.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo na Vila de Cuiarana. Nascentes: N1, N2 e N3; Rios perenes: RP1 e RP2; Rios intermitentes: RI1 e RI2; Poços: P1, P2, P3 e P4.....	33
Figura 2. Lixão de Salinópolis, localizado na Vila de Cuiarana.....	34
Figura 3. Torre micrometeorológica no sítio experimental da UFRA em Cuiarana.....	36
Figura 4. Infiltrômetro durante a medição da velocidade de infiltração, próximo ao lixão às margens do ramal São Sebastião.....	38
Figura 5. Seções e profundidades dos trechos dos rios Teixeira e Cachoeira onde foram medidas as vazões.....	39
Figura 6. Placas contendo os meios de cultura, logo após a incubação para realização da contagem das colônias bacterianas.....	42
Figura 7. Dados acumulados mensais de precipitação em Cuiarana no período de 2010-2015 obtidos pelo CMORPH.....	48
Figura 8. Distribuição temporal do Índice de Oscilação Sul (IOS) mensal no período de 2014 e 2015.....	48
Figura 9. Anomalia mensal da precipitação na Vila Cuiarana nos anos de 2014 e 2015..	49
Figura 10. Balanço hídrico do solo em Cuiarana no ano de 2014.....	50
Figura 11. Balanço hídrico do solo em Cuiarana no ano de 2015.....	50
Figura 12. Velocidade de infiltração (Vi). a) Vi no ramal de São Sebastião, em março de 2015; b) Vi no Sítio Teixeira, em março de 2015; c) Vi no ramal de São Sebastião, em outubro de 2015; d) Vi no Sítio Teixeira, em outubro de 2015.....	51
Figura 13. Variação sazonal do pH em nascentes.....	54
Figura 14. Variação sazonal do pH em rios.....	54
Figura 15. Variação sazonal da turbidez em nascentes.....	55
Figura 16. Variação sazonal da turbidez em rios.....	55
Figura 17. Variação sazonal dos Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) em nascentes.....	56
Figura 18. Variação sazonal dos Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) em rios.....	56
Figura 19. Variação sazonal do Oxigênio Dissolvido na água (OD) em nascentes.....	57
Figura 20. Variação sazonal do Oxigênio Dissolvido na água (OD) em rios.....	58
Figura 21. Variação sazonal da Condutividade Elétrica (CE) em nascentes.....	58
Figura 22. Variação sazonal da Condutividade Elétrica (CE) em rios.....	59
Figura 23. Variação sazonal da amônia (NH <sub>3</sub> ) em nascentes.....	60
Figura 24. Variação sazonal da amônia (NH <sub>3</sub> ) em rios.....	60
Figura 25. Variação sazonal do nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) em nascentes.....	61
Figura 26. Variação sazonal do nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) em rios.....	61
Figura 27. Variação do nitrato (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) em nascentes.....	62
Figura 28. Variação do nitrato (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) em rios.....	62
Figura 29. Variação sazonal da turbidez nos poços.....	65
Figura 30. Variação sazonal do pH nos poços.....	65
Figura 31. Variação sazonal dos Sólidos Totais Dissolvidos na água (TDS) nos poços...	66
Figura 32. Variação sazonal do Oxigênio Dissolvido na água (OD) nos poços.....	67

Figura 33. Variação sazonal da Condutividade Elétrica (CE) nos poços.....	67
Figura 34. Variação sazonal de amônia (NH <sub>3</sub> ) nos poços.....	68
Figura 35. Variação sazonal do nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) nos poços.....	69
Figura 36. Variação do nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) nos poços.....	69
Figura 37. Variação sazonal da concentração de cobre (Cu) nas nascentes.....	72
Figura 38. Variação sazonal da concentração de cobre (Cu) nos rios.....	72
Figura 39. Variação sazonal da concentração de cádmio (Cd) nas nascentes.....	73
Figura 40. Variação sazonal da concentração de cádmio (Cd) nos rios.....	73
Figura 41. Variação sazonal da concentração de chumbo (Pb) nas nascentes.....	74
Figura 42. Variação sazonal da concentração de chumbo (Pb) nos rios.....	74
Figura 43. Variação sazonal da concentração de alumínio (Al) nas nascentes.....	75
Figura 44. Variação sazonal da concentração de alumínio (Al) nos rios.....	75
Figura 45. Variação sazonal da concentração de ferro (Fe) nas nascentes.....	76
Figura 46. Variação sazonal da concentração de ferro (Fe) nos rios.....	76
Figura 47. Variação sazonal da concentração de mercúrio (Hg) nas nascentes.....	77
Figura 48. Variação sazonal da concentração de mercúrio (Hg) nos rios.....	78
Figura 49. Variação sazonal da concentração de cobre (Cu) nos poços.....	78
Figura 50. Variação sazonal da concentração de cádmio (Cd) nos poços.....	79
Figura 51. Variação sazonal da concentração de chumbo (Pb) nos poço.....	80
Figura 52. Variação sazonal da concentração de alumínio (Al) nos poços.....	80
Figura 53. Variação sazonal da concentração de ferro (Fe) nos poços.....	81
Figura 54. Variação sazonal da concentração de mercúrio (Hg) nos poços.....	82
Figura 55. Modelo digital de elevação da área de estudo, com destaque para os pontos amostrais e rede de drenagem.....	83
Figura 56. Representação gráfica dos autovetores (a) e autovalores (b) da Componente 1 (34%). Nível de significância de 95%.....	85
Figura 57. Representação gráfica dos autovetores(a) e autovalores (b) da Componente 2 (23%). Nível de significância de 95%.....	86
Figura 58. Representação gráfica dos autovetores (a) e autovalores (b) da Componente 3 (20%). Nível de significância de 95%.....	87
Figura 59. Representação gráfica dos autovetores (a) e autovalores (b) da Componente 4 (10%). Nível de significância de 95%.....	88
Figura 60. Correlações das componentes 1 e 2 com os meses de coleta.....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características básicas que diferenciam um lixão de um aterro sanitário.....	29
Tabela 2. Parâmetros analisados nas amostras de água e seus respectivos equipamentos de medição.....	42
Tabela 3. Valores máximos e mínimos para enquadramento de águas superficiais classe 2 (CONAMA 357/05) e subterrâneas (Portaria 2.9014/11).....	43
Tabela 4. Contagem de colônia de Coliformes Totais (CT) e <i>Escherichia coli</i> em UFC/100 ml em amostras de águas superficiais.....	63
Tabela 5. Características dos poços P1, P2, P3 e P4.....	64
Tabela 6. Contagem de colônia de Coliformes Totais (CT) e <i>Escherichia coli</i> em UFC/100 ml em amostras de águas superficiais e subterrâneas.....	70
Tabela 7. Características dos moradores entrevistados na área adjacente ao lixão (1 a 3) e à montante do lixão (4 a 6).....	91

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AB – Alta da Bolívia
- ACP – Análise Fatorial em Componentes Principais
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
- APHA – *American Public Health Association*
- CAD – Capacidade de Armazenamento de Água no Solo
- CE – Condutividade Elétrica
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
- CMORPH – CPC MORPHing technique
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CONDER – Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia
- CPC-NOAA – *Climate Prediction Center- National Oceanic and Atmospheric Administration*
- CT – Coliformes Totais
- DOL – Distúrbios Ondulatórios de Leste
- ENOS – El Niño Oscilação Sul
- FUNASA – Fundação Nacional de Saúde
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ICP OES – Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Induzido
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- INAMHI – Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia
- KMO – Kaiser-Meyer-Olkin
- LI – Linhas de Instabilidade
- MS – Ministério da Saúde
- NH<sub>3</sub> – Amônia
- NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – Amônio
- Ni – Níquel
- NO<sub>2</sub> – Nitrito
- NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – Nitrato
- OD – Oxigênio Dissolvido
- pH – Potencial Hidrogeniônico
- PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
- SCC – Sistemas Convectivos Circulares
- SENAMHI – *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología*

TDS – Sólidos Totais Dissolvidos  
TSM – Temperaturas da Superfície do Mar  
UFC – Unidade Formadora de Colônia  
UFRA – Universidade Federal Rural da Amazônia  
UFPA – Universidade Federal do Pará  
WHO – *World Health Organization*  
VCAN – Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis  
VMP – Valor Máximo Permitido  
ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul  
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	18
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	20
2.1	OBJETIVO GERAL .....	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	21
3.1	CICLO HIDROLÓGICO .....	21
3.2	PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE PARAENSE .....	22
3.3	QUALIDADE DA ÁGUA .....	24
<b>3.3.1</b>	<b>Variáveis físico-químicas e bacteriológicas na qualidade de água</b> .....	25
3.4	GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E A QUALIDADE DE ÁGUA .....	28
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODO</b> .....	32
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	32
<b>4.1.1</b>	<b>Caracterização dos pontos de amostragens</b> .....	34
4.2	VARIÁVEIS DO CICLO HIDROLÓGICO .....	35
<b>4.2.1</b>	<b>Precipitação</b> .....	35
<b>4.2.2</b>	<b>Velocidade de infiltração</b> .....	37
<b>4.2.3</b>	<b>Vazão</b> .....	38
<b>4.2.4</b>	<b>Balço de água no solo</b> .....	40
4.3	VARIÁVEIS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS .....	40
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA .....	43
4.5	PERCEPÇÃO DOS MORADORES NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO LIXÃO .....	45
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	47
5.1	CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DE CUIARANA .....	47
5.2	QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS EM CUIARANA .....	53
<b>5.2.1</b>	<b>Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos</b> .....	53
5.2.1.1	Águas superficiais .....	53
5.2.1.2	Águas subterrâneas .....	64
<b>5.2.2</b>	<b>Concentração de metais em águas superficiais e subterrâneas</b> .....	71
5.2.2.1	Concentração de metais em águas superficiais .....	71

5.2.2.2	Concentração de metais em águas subterrâneas .....	78
<b>5.2.3</b>	<b>Análise de componentes principais (covariância) em águas superficiais ....</b>	<b>84</b>
<b>5.2.4</b>	<b>Metais e precipitação em águas subterrâneas .....</b>	<b>89</b>
5.3	PERCEPÇÃO DOS MORADORES .....	90
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>93</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>95</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>106</b>
	<b>APÊNDICE A: Coordenadas dos pontos de coleta .....</b>	<b>106</b>
	<b>APÊNDICE B: Planilhas para medição de Velocidade de Infiltração (a) e Vazão (b) .....</b>	<b>106</b>
	<b>APÊNDICE C: Roteiro de Entrevista .....</b>	<b>107</b>
	<b>APÊNDICE D: Resultados dos parâmetros físico-químicos em águas superficiais .....</b>	<b>109</b>
	<b>APÊNDICE E: Resultados dos parâmetros físico-químicos em águas subterrâneas .....</b>	<b>110</b>
	<b>APÊNDICE F: Resultados da concentração de metais pesados em águas superficiais .....</b>	<b>111</b>
	<b>APÊNDICE G: Resultados da concentração de metais pesados em águas subterrâneas .....</b>	<b>112</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>113</b>
	<b>ANEXO A: Pontos de coleta .....</b>	<b>113</b>
	<b>ANEXO B: Procedimentos para análises .....</b>	<b>115</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A região amazônica apresenta elevada taxa de precipitação pluviométrica anual e grande disponibilidade de radiação solar, o que propicia grande biodiversidade. A precipitação é um elemento climático importante na indução do comportamento e das características de outras variáveis meteorológicas, como temperatura do ar, umidade relativa e ventos (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998; NOBRE *et al.*, 2009). Além disso, é fundamental na manutenção do equilíbrio hídrico em uma região e influi na composição físico-química e microbiológica dos corpos hídricos, por meio de processos complexos de interação superfície-atmosfera (MACHADO; PACHECO, 2010).

O nordeste paraense é uma das regiões que apresentam maiores quantitativos anuais de precipitação no estado do Pará (AMANAJÁS; BRAGA, 2012), causada por sistemas meteorológicos precipitantes de diversas escalas de tempo. Destacam-se, na escala global e sinótica, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), e na mesoescala, as Linhas de Instabilidade (LI) e os Sistemas Convectivos Circulares (SCC) (COHEN; DIAS; NOBRE, 1995; MOURA; VITORINO, 2012; CAMPONOGARA, 2012; LOPES; SOUZA; FERREIRA, 2013; SODRÉ, 2013).

A precipitação pluviométrica é a principal variável hidrológica para o abastecimento de rios, lagos e riachos, influenciando diretamente na cota e na vazão desses corpos hídricos (PRATHUMRATANA; STHIANNOPKAO; KIM, 2008). A água precipitada por meio das chuvas traz consigo partículas e gases presentes no ar que podem ser carregados para os corpos hídricos, por infiltração, percolação e/ou escoamento superficial. Além disso, pode lixiviar compostos orgânicos e inorgânicos presentes no solo. Desse modo, a precipitação pluviométrica influi na composição e na concentração química e biológica das águas (SILVA *et al.* 2008; VERONEZ, 2011).

Entretanto, a qualidade da água não depende apenas de condições naturais. A ação antrópica interfere qualitativa e quantitativamente à medida que afeta as características químicas, físicas e biológicas dos sistemas hídricos (PINTO *et al.*, 2009). A urbanização engendrada de forma acelerada e sem o devido planejamento aumentou a pressão antrópica sobre os recursos hídricos, sobretudo no que se refere àqueles usados para o abastecimento urbano. Isso gerou numerosos impactos sobre esse recurso natural, principalmente por meio do lançamento de esgotos e de resíduos urbanos e industriais nas águas (TUCCI, 2008).

No Brasil, a população urbana passou de 55,9% da população total, em meados de 1970, para cerca de 85% em 2010 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2010). Os impactos negativos nos recursos hídricos dessa grande densidade de pessoas nos centros urbanos são inúmeros: aumento das vazões máximas; aumento da produção de sedimentos e resíduos sólidos que, quando não geridos adequadamente, chegam aos corpos hídricos; deterioração da qualidade da água, principalmente pela má gestão de resíduos sólidos e de esgotos pluviais e cloacais; deposição e obstrução de rios, canais e condutos por lixões e sedimentos; dentre muitos outros (TUCCI, 1997, 2007; SANTOS JÚNIOR; SANTOS, 2013).

A constante e crescente produção de resíduos sólidos e sua posterior destinação inadequada, sobretudo nos centros urbanos, como ocorre nos lixões, geram inúmeros impactos ambientais e sociais, dentre os quais, destacam-se: a contaminação do solo, das águas superficiais e do lençol freático; a transmissão de doenças às pessoas pelo contato direto com os resíduos ou animais vetores ou pelo uso de recursos contaminados indiretamente pelos poluentes provenientes dos lixões (OLIVEIRA; PASQUAL, 2004; PEREIRA *et al.*, 2013).

A contaminação de águas superficiais e subterrâneas por compostos orgânicos e inorgânicos provenientes do chorume de lixões e aterros mal planejados é verificada comumente por meio de elevadas concentrações de metais pesados, compostos nitrogenados e/ou coliformes (SANTOS, 2008; MEDEIROS *et al.*, 2008; COSTA, 2009; GALARPE; PARILLA, 2012; PEREIRA *et al.*, 2013).

Desse modo, o presente trabalho tem por objetivo investigar o papel da precipitação sazonal na qualidade das águas nas proximidades do lixão de Salinópolis, situado na Vila de Cuiarana, por meio da caracterização da precipitação da região e sua influência na composição físico-química e microbiológica das águas locais.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a contribuição da precipitação sazonal na qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do lixão do município de Salinópolis – PA.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar a precipitação, a velocidade da infiltração e a vazão da área de estudo;
- b) Analisar as características físico-químicas da água, por meio dos parâmetros: pH, temperatura da água, turbidez, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido (OD), salinidade, sólidos totais dissolvidos (TDS), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ) e metais (mercúrio, alumínio, cádmio, chumbo, cromo, cobre, zinco, ferro, níquel e manganês);
- c) Analisar as características bacteriológicas (coliformes totais e *Escherichia coli*) nas amostras de água coletadas;
- d) Correlacionar os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos à variabilidade da precipitação sazonal, da infiltração e da vazão;
- e) Investigar a percepção da população em relação à qualidade da água de consumo.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar, pela gravidade e pela rotação terrestre, sendo distribuído em três reservatórios: oceano, continente e atmosfera (SILVEIRA, 2009; MACHADO; PACHECO, 2010). O transporte da água entre oceano, continente e atmosfera é contínuo e os processos envolvidos são dinâmicos. Basicamente, esses processos são: evaporação, evapotranspiração, sublimação, interceptação, precipitação, infiltração e escoamento superficial. De maneira geral, o intercâmbio da água da superfície e a da atmosfera ocorre em dois sentidos: superfície-atmosfera, por meio da evaporação nos oceanos e da evapotranspiração no continente; e atmosfera-superfície, por meio das precipitações (chuva, neve e granizo) (MIRANDA; OLIVEIRA; SILVA, 2010; SANTOS, 2014).

Na Meteorologia, precipitação é o conjunto de águas originadas do vapor de água presente na atmosfera que retorna à superfície terrestre em estado líquido ou sólido (GARCEZ; ALVAREZ, 1988). Desse modo, a precipitação é um termo geral que abrange a chuva, o granizo e a neve. Entretanto, nesse trabalho o termo precipitação sempre será relacionado à chuva, forma que corresponde à quase totalidade de todo o volume precipitado em regiões tropicais.

Quando a água evaporada se condensa e retorna à superfície como chuva, ela infiltra pelos poros do solo e percola para camadas inferiores, abastecendo aquíferos ou lençóis de água subterrânea. Quando o volume de água precipitada supera a velocidade de infiltração do solo ou quando o solo atinge a capacidade de saturação, essa água esco superficialmente e, de acordo com a topografia do terreno, com o tipo de solo e com o volume da chuva, vai abastecer os reservatórios naturais, contribuindo para aumentar a vazão dos rios. Uma parcela da água acumulada na superfície evapora e retorna para a atmosfera (CARVALHO; BRUMATTI; DIAS, 2012; SANTOS, 2014).

O conhecimento da taxa de infiltração em um solo é importante para definir técnicas de conservação do solo, assim como para planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, além de possibilitar melhor compreensão sobre os processos físicos, químicos e biológicos existentes no solo (GODIM *et al.*, 2010; FAGUNDES *et al.*, 2012). A velocidade de infiltração em um solo está diretamente relacionada à estrutura e à textura do solo, à

percentagem de umidade e à temperatura do solo, à irrigação, à porosidade, ao teor de matéria orgânica, às características das camadas mais e menos permeáveis ao longo do perfil do solo, à cobertura vegetal e outros (POTT; DE MARIA, 2003; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006; ZONTA *et al.*, 2012).

A vazão de um rio corresponde ao volume de água que passa numa determinada seção do rio em relação a uma unidade de tempo, sendo expressa comumente em metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ). Normalmente, a vazão tende a aumentar de montante para jusante até a foz (CARVALHO, 2008). A vazão de um rio é influenciada por inúmeros fatores relacionados à interação entre a precipitação regional e a fisiologia da bacia hidrográfica (TUCCI, 2009; FERRAZ; CARDOSO; CAPOZZOLI, 2013).

### 3.2 PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE PARAENSE

O Brasil possui uma extensa área territorial, o que favorece diferentes regimes de chuva nas suas regiões, como, por exemplo: altos índices pluviométricos no noroeste amazônico; um extenso semiárido no nordeste brasileiro; bons volumes de chuva nas regiões costeiras; e significativa variabilidade espacial das chuvas na região sul (RAO; HADA, 1990).

A convecção tropical é o principal mecanismo que caracteriza o clima na região amazônica, sendo regulada, sobretudo, por mecanismos oceano-atmosfera que modulam os sistemas meteorológicos precipitantes de diferentes escalas de tempo, tais como: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) na escala global; os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN); os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), na escala sinótica; e as Linhas de Instabilidades de mesoescala (MOLION, 1987; UVO, 1989; COHEN; DIAS; NOBRE, 1995). Além disso, a precipitação climática na região amazônica sofre influência dos fenômenos El Niño Oscilação Sul (ENOS) e Gradiente Inter-hemisférico do Atlântico Equatorial, que provoca redução ou aumento da chuva na região (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998; FOLEY *et al.*, 2002).

A precipitação na região amazônica apresenta marcante sazonalidade, com a maior parte das chuvas concentradas no verão e outono austrais. Ou seja: durante os meses de dezembro a maio (RAO; HADA, 1990; LOPES *et al.*, 2013). No nordeste paraense, o máximo de precipitação ocorre predominantemente nos meses de março e abril, quando a ZCIT se encontra posicionada mais ao sul. Quando a ZCIT migra em direção ao hemisfério norte, durante os meses de junho, julho e agosto, inicia-se a transição do período mais chuvoso para o menos chuvoso (LOPES; SOUZA; FERREIRA, 2013).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é formada pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte e hemisfério sul. Ela se movimenta de norte a sul durante o ano, alcançando sua posição-limite norte (cerca de 14° N) em agosto-setembro; e sua posição-limite sul (cerca de 2° S) em março-abril. A ZCIT se localiza no ramo ascendente da célula de Hadley e atua na transferência de calor e umidade dos níveis inferiores da atmosfera para médias e altas latitudes e níveis superiores da troposfera (MOLION, 1987; FERREIRA, 1998; MELO; CAVALCANTI; SOUZA, 2009).

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) são sistemas fechados de baixa pressão e escala sinótica. Quando observados em imagens de satélites, têm forma de um círculo girando em sentido horário. Os VCANs se formam na alta troposfera, frequentemente entre os meses de dezembro e fevereiro, no Brasil, com um período de vida que varia de 4 a 11 dias. O seu centro possui alta pressão (subsidiência), inibindo a formação de nuvens. Entretanto, a periferia do vórtice apresenta baixa pressão e forma nuvens causadoras de chuvas. Os VCANs interagem com a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e com a Alta da Bolívia (AB), mecanismos importantes para modular o clima, o ciclo hidrológico e o balanço de energia na América do Sul (GAN, 1982; LOURENÇO, FERREIRA; GAN, 1996; FERREIRA; MELLO, 2005).

Os Distúrbios Ondulatórios de Leste são sistemas meteorológicos de escala sinótica que se formam no oceano Atlântico sul e têm ocorrência na baixa troposfera tropical. Caracterizam-se por possuir comprimento de onda em torno de 2.000 a 3.500 km, com período de duração de 3 a 9 dias, e por se deslocarem para oeste (MACHADO *et al.*, 2009; MACHADO *et al.*, 2012). Contribuem nas condições de tempo e clima por provocarem alterações das condições sinóticas (principalmente na componente meridional do vento), aumento de nebulosidade e precipitação, e intensificação das linhas de instabilidade. No Brasil, ocorrem na costa norte-nordeste (BARBOSA, 2005; COUTINHO; FISH, 2007; MACHADO *et al.*, 2012).

As Linhas de Instabilidade (LI) tropicais se caracterizam por possuir grandes conglomerados de nuvens cúmulos-nimbos, originadas em consequência do contraste térmico diário entre o continente e o oceano. Estão presentes na costa brasileira desde a região norte até a região nordeste. As LI são de grande importância para a manutenção do regime de chuvas nas regiões costeiras e contribuem com 45% da precipitação no período chuvoso no nordeste paraense. Apresentam duração diária em torno de 10 horas e, por possuírem grande dimensão, são facilmente observadas por imagens de satélites (COHEN, 1989; COHEN; DIAS; COSTA, 2000; LOUREIRO, GOMES; ROCHA, 2006).

A variabilidade na precipitação na bacia amazônica e, especificamente no nordeste paraense, é modulada pela interação de vários sistemas em diferentes escalas, como já citado anteriormente. Sistemas convectivos associados ao mecanismo de aquecimento da atmosfera tropical pela radiação solar conduzem a formação de nuvens e a precipitação na região. Diversos estudos associam a ocorrência dos fenômenos El Niño ou La Niña e a variação nas temperaturas da superfície do mar (TSM) no Pacífico equatorial, no Atlântico sul e no Atlântico norte à redução ou à intensidade de chuvas no nordeste paraense, como também em toda a bacia amazônica (RAO; HADA, 1990; MARENGO 1991, 1992; FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998; RONCHAIL *et al.*, 2002; MARTINS *et al.*, 2004; NOBRE; MARENGO; ARTAXO, 2009).

### 3.3 QUALIDADE DA ÁGUA

A água é um recurso indispensável para a sobrevivência humana. Sua disponibilidade e qualidade são indispensáveis para o estabelecimento das populações. Entretanto, o rápido desenvolvimento industrial, o aumento do número de habitantes e o crescimento da produtividade agrícola nas últimas décadas vêm trazendo consequências negativas sobre os corpos hídricos, pois a ocupação e o uso do solo têm provocado alterações biológicas, físicas e químicas nos sistemas naturais (MARQUES; COTRIM; PIRES, 2007; MIRANDA *et al.*, 2009).

O planejamento inadequado da ocupação em grande parte das cidades brasileiras provoca alterações no ambiente, influenciando na qualidade dos sistemas fluviais, sobretudo naqueles que cortam grandes cidades (MIRANDA *et al.*, 2009). Segundo Tucci (2008), os principais problemas relacionados à infraestrutura de água no ambiente urbano são: falta de tratamento de esgoto e lançamento de efluentes em canais fluviais; ocupação urbana do leito de rios; impermeabilização de estradas; canalização dos rios urbanos, o que provoca aumento da vazão de cheia (em até sete vezes) e de sua frequência; aumento da carga de resíduos sólidos e do volume da água pluvial sobre os rios próximos das áreas urbanas; e ocupação das áreas de contribuição de reservatórios de abastecimento urbano. Fatores estes que afetam diretamente a qualidade dos sistemas hídricos urbanos, além de expor a população ao risco de inundações e doenças.

A região amazônica é privilegiada quanto à disponibilidade de água. Portanto, a manutenção da qualidade da água distribuída à população local precisa ser uma prioridade (SILVA *et al.*, 2008). Segundo Lima *et al.* (2011), a disponibilidade de água na Amazônia

está diminuindo rapidamente devido à degradação dos recursos hídricos e ao aumento da população. A potabilidade da água é imprescindível para a saúde de uma população, uma vez que inúmeras doenças estão direta ou indiretamente vinculadas aos corpos hídricos (COSTA, 2009; BECK *et al.*, 2010).

No Brasil, os padrões de potabilidade de água são determinados pela Portaria N.º 2.914/2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Já os valores máximos e a classificação de corpos de água superficial são dispostos pela Resolução N.º 357, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (CONAMA, 2005).

### 3.3.1 Variáveis físico-químicas e bacteriológicas na qualidade de água

As variáveis físico-químicas e bacteriológicas selecionadas para a análise da qualidade da água são largamente utilizadas no estudo de águas superficiais e subterrâneas e possibilitam caracterizar as condições ambientais dos corpos hídricos em questão. Segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (2009) e Parron, Muniz e Pereira (2011), pode-se definir da seguinte forma essas variáveis:

➤ O potencial hidrogeniônico (pH) representa a atividade do íon hidrogênio na água, variando de 0 a 14, e indicando a intensidade da acidez ( $\text{pH} < 7,0$ ), da neutralidade ( $\text{pH} = 7,0$ ) ou da alcalinidade ( $\text{pH} > 7,0$ ). O pH influencia diretamente na fisiologia de diversas espécies, além de indiretamente contribuir para a precipitação de metais pesados e para a solubilidade de nutrientes na água.

➤ O oxigênio dissolvido (OD) é indispensável para a vida aquática. A maioria dos seres vivos, sobretudo os peixes, não são capazes de sobreviver a concentrações de OD inferiores a  $4,0 \text{ mgL}^{-1}$ . A taxa de fotossíntese, o nível de eutrofização e a temperatura da água são alguns fatores que contribuem para elevar ou para diminuir a concentração de OD na água. O OD é medido em miligrama por litro ( $\text{mgL}^{-1}$ ).

➤ A temperatura da água é uma das características mais importantes do meio aquático, afetando uma série de variáveis físico-químicas. À medida que a temperatura aumenta, de  $0^\circ$  a  $30^\circ\text{C}$ , a viscosidade, a tensão superficial, a compressibilidade, o calor específico, a constante de ionização e o calor latente de vaporização diminuem. Já a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam a solubilidade quando se eleva a temperatura.

➤ A turbidez é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar o meio aquático devido à presença de materiais em suspensão na água, tais como:

argila, silte, matéria orgânica e inorgânica, compostos orgânicos solúveis coloridos, micro-organismos aquáticos. A turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas, uma vez que uma alta turbidez reduz a fotossíntese da vegetação enraizada submersa e das algas. A turbidez é medida em Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT).

➤ Os sólidos nas águas consistem em toda matéria química que resta após a evaporação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado. Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) correspondem à soma de todos esses resíduos dissolvidos na água, os quais podem conter íons orgânicos e inorgânicos (como carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, fosfato, cálcio, magnésio e sódio) que, quando em concentrações elevadas, podem causar prejuízos à vida aquática. Os STD são medidos em miligrama por litro ( $\text{mgL}^{-1}$ ).

➤ A Condutividade Elétrica (CE) se refere à capacidade de a água conduzir corrente elétrica, o que se deve à presença de íons. A medição da CE revela a concentração mineral e indica modificações na composição da água, o que fornece uma medida indireta da concentração de poluentes de determinado corpo hídrico. Em geral, níveis superiores a  $100 \mu\text{Scm}^{-1}$  indicam ambientes impactados. A CE é influenciada pela temperatura da água e pela quantidade de STD. A unidade de medida da CE é o Micro *Siemens* por centímetro ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ ).

➤ O nitrogênio é um macronutriente importante para as plantas, sendo encontrado em diferentes formas nos ambientes aquáticos em virtude dos processos de nitrificação e desnitrificação. Dessa forma, o nitrogênio pode ser encontrado em águas nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. As fontes naturais de nitrogênio para as águas são diversas. No entanto, a principal fonte antrópica é o lançamento de esgotos *in natura* nas águas. O excesso de compostos nitrogenados pode levar à eutrofização dos sistemas aquáticos, além de acarretar alta toxicidade para peixes e outros animais, inclusive para o homem. São consideradas concentrações elevadas de amônia geralmente as que estão acima de  $5 \text{mgL}^{-1}$ ; e de nitrato, as que estão acima de  $10 \text{mgL}^{-1}$ .

As bactérias do grupo coliformes podem ser definidas como bacilos aeróbios e anaeróbios, gram-negativos e que são capazes de crescer na presença de concentrações elevadas de sais biliares e fermentar a lactose em uma temperatura entre  $35^\circ$  e  $37^\circ\text{C}$ , com formação de ácido, gás e aldeído em um período de 24 a 48 horas (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008; CETESB, 2007). Elas constituem parâmetros eficientes para avaliar a qualidade de um sistema hídrico e a eficiência de processos de tratamento de água.

A *Escherichia coli* é uma bactéria do grupo dos coliformes totais. Entretanto, ela habita exclusivamente o trato intestinal de humanos e animais de sangue quente, o que torna a sua presença na água um eficiente indicador de contaminação fecal. Para os padrões de

potabilidade adotados no Brasil, a água para consumo não deve apresentar nenhuma colônia de *E. coli* (LECLERC *et al.*, 2001; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008; CETESB, 2007). Tanto os coliformes totais quanto a *E. coli* são medidos em Unidade Formadora de Colônia por 100 mL (UFC/100mL).

A análise da qualidade da água é fundamental para a avaliação da conservação dos corpos hídricos. A escolha de diferentes parâmetros depende do objetivo da análise. Contudo, de maneira geral, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, turbidez, coliformes e metais pesados são exemplos de parâmetros largamente utilizados para avaliar a qualidade da água em ambientes impactados por lixões ou aterros (FATTA; PAPADOPOULOS; LOZIDOU, 1999; OLIVEIRA; PASQUAL, 2004; IQBAL *et al.*, 2015). Cada parâmetro contribui para a caracterização da qualidade da água, seja de forma isolada, seja de conjunta com outros parâmetros. Assim, foram selecionados, nesta seção, alguns parâmetros como OD, série nitrogenada, alumínio, cádmio, mercúrio e chumbo para discutir a sua importância em meio aquático e em relação à saúde humana. Foram escolhidos parâmetros que tiveram destaque no trabalho e se relacionam diretamente à saúde humana e ambiental.

O oxigênio dissolvido é indispensável para a vida aquática e de grande relevância para a classificação da qualidade das águas. O teor de oxigênio é influenciado por características hidráulicas do corpo hídrico. Por exemplo: águas com maior velocidade possuem concentração superior de O<sub>2</sub> em relação a ambientes lênticos. Além disso, a taxa de fotossíntese das algas varia de acordo com a entrada de luz na água. Desse modo, elevados valores de turbidez e cor diminuem a atividade fotossintética das algas. Ademais, a decomposição orgânica é outro fator que interfere na concentração de oxigênio, pois elevada quantidade de matéria orgânica na água diminui o teor de O<sub>2</sub> (PIVELI; KATO, 2006).

A amônia é um composto que ocorre naturalmente em corpos d'água, sendo resultado da degradação de compostos orgânicos e inorgânicos do solo e da água, da excreção da biota, da redução do nitrogênio gasoso da água por micro-organismos ou por trocas gasosas com a atmosfera. Além disso, a concentração de amônia aumenta em águas que recebem efluentes domésticos e industriais. Pode ser encontrada na forma ionizada (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ou não ionizada (NH<sub>3</sub>), sendo esta última a forma mais tóxica. A concentração das formas ionizadas e não ionizadas depende do pH e da temperatura da água. Quanto maior o pH e a temperatura, maior a concentração da forma não ionizada (ATHAYDE JÚNIOR *et al.*, 2009; REIS; MENDONÇA, 2009).

O consumo de água com elevadas concentrações de metais e compostos nitrogenados pode provocar problemas de saúde nas populações que fazem uso da água contaminada. Altas concentrações de nitrato podem provocar casos de metemoglobinemia em crianças. O consumo de águas com concentrações elevadas de metais como Al, Cd, Hg e Pb pode provocar inúmeros problemas de saúde. O alumínio é um composto neurotóxico que, em longo prazo, pode causar encefalopatias em pacientes que sofrem de diálise renal. Além disso, alguns estudos sugerem que a ingestão de elevadas concentrações de alumínio pode estar associada à ocorrência de mal de Alzheimer (QUINTAES, 2000; FREITAS; BRILHANTE; ALMEIDA, 2001).

O cádmio, quando ingerido em quantidades significativas por meio de alimentos e da água, pode provocar problemas de saúde, sendo os rins geralmente os órgãos mais afetados (D'ILIO *et al.*, 2013). O mercúrio é um metal tóxico. No entanto, sua toxicidade depende de sua forma química, pois a forma inorgânica é menos tóxica que a forma metilada (MeHg). Esta última possui ação neurotóxica e teratogênica em seres humanos (WHO, 1990; CESAR *et al.*, 2011). Estudos como o de Ohriel *et al.* (2008) sugerem a existência de bioacumulação e biomagnificação de MeHg na cadeia trófica aquática, o que afeta a saúde desses ecossistemas e dos seres humanos que se alimentarem de animais contaminados.

O chumbo é um potencial contaminador ambiental e tem como fonte antrópica baterias automotivas, chapas de metal semiacabado, canos de metal, aditivos em gasolina, munição, tintas, soldas de latas, pesticidas, agrotóxicos, entre outros (PIVELI; KATO, 2006). O chumbo é um metal neurotóxico, não essencial e que, em excesso, pode causar distúrbios no sistema cardiovascular e alterar o funcionamento de importantes mecanismos fisiológicos, além de provocar danos à saúde de peixes, aves, mamíferos e microrganismos que sejam expostos a altas concentrações desse metal (CESAR *et al.*, 2011). Capellini *et al.* (2008) encontraram relação entre a contaminação por chumbo e o baixo rendimento escolar em crianças de 6 a 13, quando estas foram comparadas a outras crianças na mesma situação socioeconômica e que não tenham sido contaminadas por Pb.

### 3.4 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E A QUALIDADE DE ÁGUA

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei n.º 12.305/2010, resíduo sólido é todo material, substância, objeto ou bem descartado oriundo de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido. Portanto, resíduo sólido não é necessariamente

lixo. Quando esses resíduos não têm condições de reuso ou reciclagem, são denominados de rejeitos. O rejeito, segundo a lei supracitada, salvo algumas exceções, precisa de um destino adequado: o aterro sanitário. (BRASIL, 2010).

A urbanização, o crescimento populacional e a melhoria do poder aquisitivo, aliados a uma cultura de consumo, têm provocado aumento significativo na produção de resíduos sólidos urbanos, que, se dispostos em ambientes inadequados, causam a contaminação da água e do solo pela infiltração do lixiviado, e afetam diretamente a saúde da população, devido à proliferação de vetores de doenças, como bactérias, vírus, protozoários, baratas e ratos. (BECK *et al.*, 2010; COSTA, 2009).

A geração de resíduos sólidos *per capita*, no Brasil, entre os anos de 2002 e 2009, aumentou em 28%, indo de 0,75 kg a 0,96 kg.habitante<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>. Por outro lado, o aumento populacional no mesmo período foi de apenas 8,3% (CAMPOS, 2012). Cerca de 20% dos resíduos sólidos gerados no Brasil, em 2008, tiveram os lixões como destino final (BRASIL, 2012). Para uma melhor compreensão das características de um lixão, assim como das principais diferenças em relação a um aterro sanitário, convém observar a Tabela 1.

Tabela 1. Características básicas que diferenciam um lixão de um aterro sanitário.

	<b>Aterro</b>	<b>Lixão</b>
Recepção de veículos	Entrada restrita a veículos devidamente cadastrados, com resíduos permitidos para o tipo de aterro.	Sem qualquer controle de entrada de veículos e resíduos.
Controle de entrada	Pesagem, procedência, composição do lixo, horário de entrada e de saída dos veículos.	Sem controle de pesagem, horário e procedência.
Impermeabilização	Local devidamente impermeabilizado de acordo com características do solo e do clima locais.	Lixo depositado diretamente sobre a camada do solo.
Deposição	De acordo com critério definidos.	Sem nenhum critério.
Drenagem	Com dispositivo para captação e drenagem do chorume.	Sem dispositivo de drenagem. O chorume infiltra e escoar livremente.
Cobertura	Feita diariamente com camada de solo.	Lixo exposto, com espalhamento de lixo leve.
Acessibilidade	Acesso restrito a pessoas devidamente identificadas.	Sem cercamento e fiscalização.
Impacto visual	Amenizado com a construção de "cinturão verde" com espécies nativas da região.	Área degradada e desagradável quanto o visual e odor.

Fonte: Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia - CONDER (2016), adaptado pela autora.

No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente, em colaboração com o CONAMA, com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), com diversos outros ministérios, com a Associação de Catadores e com diversos setores da sociedade civil, elaborou, em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei n.º 12.305, sancionada em 2 de agosto de 2010 pelo então presidente, Luiz Inácio Lula da Silva. Em novembro do mesmo ano, foi assinado o Decreto n.º 7.404/2010, que regulamenta a Lei n.º 12.305/2010.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) tem por objetivo reduzir a quantidade de resíduos urbanos produzidos e garantir uma destinação ambientalmente e socialmente adequada aos rejeitos. A PNRS instituiu a logística reversa e a responsabilidade compartilhada, inserindo os catadores na gestão dos resíduos. Além disso, estabeleceu prazos para a elaboração de Planos Estaduais e Municipais de Gestão de Resíduos Sólidos e para o fim dos lixões, até o dia 02 de agosto de 2014 (CAMPOS, 2012). No entanto, cerca de 40% dos municípios brasileiros não cumpriram o prazo de desativação dos lixões determinado pela lei (SALLES, 2014). A prorrogação do prazo ainda está sendo votada.

O chorume gerado pela decomposição da matéria orgânica oriunda dos resíduos e rejeitos dos lixões e aterros é uma substância tóxica, de composição variável, com elevada concentração de cloretos, ferro, zinco e compostos nitrogenados (BAGCHI, 1987; MOREIRA; BRAGA; HANSEN, 2011). A sazonalidade da precipitação influi na concentração de metais em águas superficiais e subterrâneas, como constatado por Rocha e Horbe (2006) ao analisarem a água de 18 poços em área de influência de um lixão no município de Manaus-AM. Valores mais elevados de alumínio, ferro, astato, cádmio, chumbo, antimônio e selênio foram encontrados no período menos chuvoso. Além da concentração dos compostos, a vazão de rios e mesmo de sistemas de coleta de chorume em aterros sanitários é influenciada pela precipitação, o que promove maior lixiviação do chorume para os rios no período chuvoso (MANGIMBULUDE *et al.*, 2009).

Entretanto, variáveis como a precipitação, a topografia da bacia hidrográfica, o nível do lençol freático (COSTA; ALVES, 2011), a composição mineralógica dos substratos por onde a água escoar e infiltra e o tipo de solo da região da bacia são fatores que contribuem com a composição natural das águas e que determinam o grau de contaminação ou depuração do chorume nas águas superficiais e no lençol freático (ROCHA; HORBE, 2006).

Além disso, outras variáveis que interferem no nível de contaminação das águas em áreas de lixão e aterros mal projetados são as características do lixiviado. Estas, por sua vez, são influenciadas por fatores como composição dos resíduos dispostos nestes ambientes, distância destes em relação às fontes de águas, tamanho das partículas dos resíduos, grau de

compactação do resíduo, idade do aterro, condições de umidade e temperatura e oxigênio disponível (LONGE; BALOGUN, 2010).

## 4 MATERIAL E MÉTODO

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

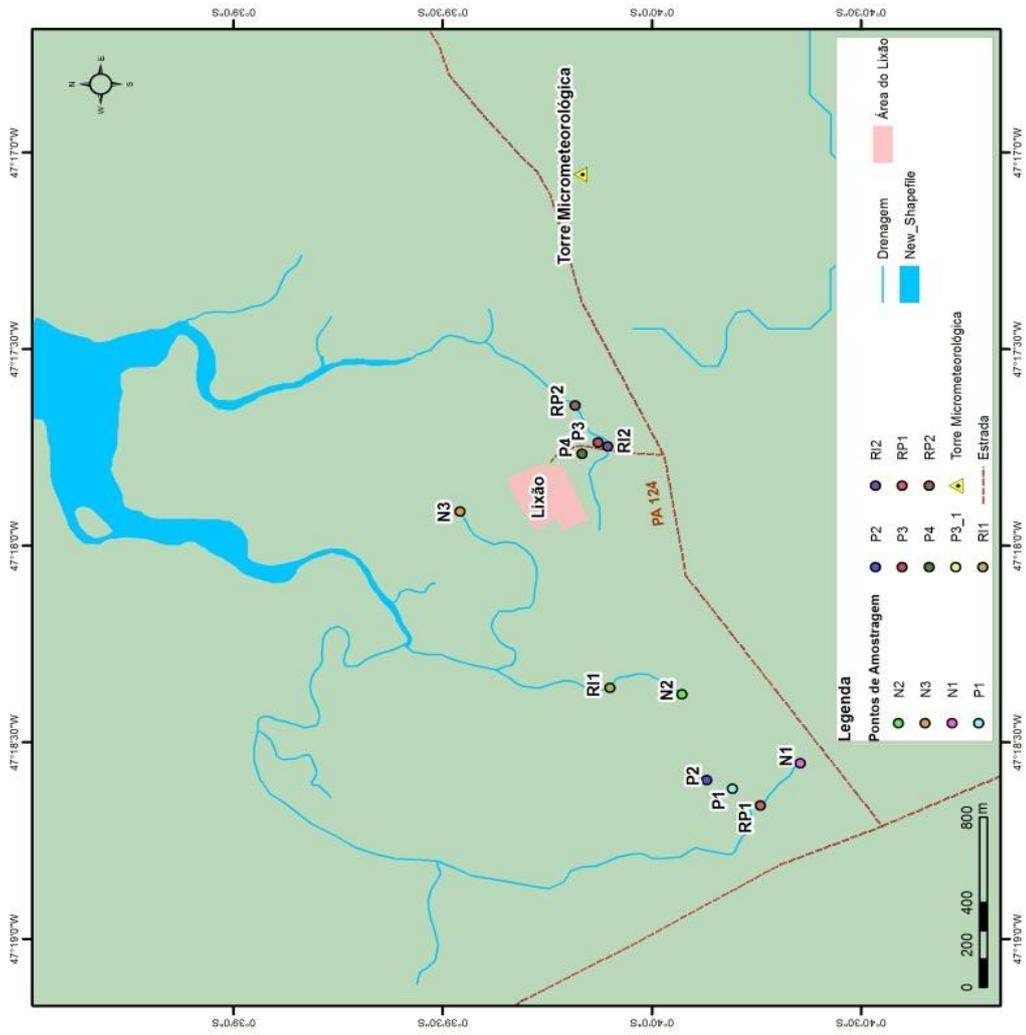
O município de Salinópolis (Figura 1) pertence à mesorregião nordeste paraense e à microrregião Salgado. Possui as seguintes coordenadas geográficas: 0°63'13"4" S e 47°34'61"3" W, distante 227 km de Belém, com elevação de 19 metros acima do nível do mar. Segundo dados do IBGE (2010), tem uma população estimada em 37.421 habitantes, com área territorial de 237,738 km<sup>2</sup>.

O município apresenta precipitação anual que varia entre 1.800 e 2.300 mm, sendo que cerca de 90% da precipitação se distribuem nos seis primeiros meses do ano (FIGUEROA; NOBRE, 1990; MORAES *et al.*, 2005). Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante na região é Aw, com temperatura média anual de 27,7° C, com oscilações que variam entre 25° e 31° C. (MENGAWACO, 1995; LEITE, 2010, RODRIGUES; SOUZA; LIMA, 2013).

A vegetação predominante no município se enquadra na definição de florestas secundárias, com campos herbáceos na região da planície costeira e extensas áreas de capoeira no planalto costeiro, além de vegetação de mangue (FREIMANN, 2012). Os solos da região estudada são classificados como latossolo amarelo distrófico e gleissolo tiomórfico nas áreas alagáveis (SANTOS, 2014).

A principal atividade econômica do município é o turismo, uma vez que possui na sua paisagem um leque atrativo de elementos naturais, tais como praias, ilhas, dunas, mangues, rios, furos e igarapés. Além do turismo, a economia se baseia na pesca artesanal e na agricultura de subsistência, com destaque para o cultivo de arroz, milho, feijão e mandioca, além de uma cultura permanente de coco (BRITO, 2008; NUNES, 2012).

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo na Vila de Cuiarana. Nascentes: N1, N2 e N3; Rios Perenes: RP1 e RP2; Rios intermitentes: RI1 e RI2; Poços: P1, P2, P3 e P4.



Fonte: Autora

O lixão de Salinópolis (Figura 2) está localizado na Vila de Cuiarana, situada a cerca de 7 km do centro urbano do município, no ramal conhecido como São Sebastião. Esse lixão foi instalado em 2001 com o objetivo de que funcionasse na área um aterro sanitário, cujo projeto e planta foram elaborados e tiveram as obras iniciadas pela prefeitura. No entanto, desde o início do funcionamento da área, o despejo de resíduos e a não conclusão do projeto caracterizaram a área como um lixão ou vazadouro (NUNES, 2012).

Figura 2. Lixão de Salinópolis, localizado na Vila de Cuiarana.



Fonte: autora.

#### **4.1.1 Caracterização dos pontos de amostragens**

Foram selecionados 11 pontos amostrais, sendo seis localizados a montante do lixão (N1, N2, RP1, RI1, P1 e P2) e cinco à jusante (N3, RP2, RI2, P3 e P4). Ao todo, foram selecionadas 3 nascentes, 2 rios perenes, 2 rios intermitentes e 4 poços (Anexo A).

A nascente 1 (N1) é o ponto mais a montante do lixão e não possui mata ciliar conservada. O acesso da população local é mais esporádico quando comparado aos demais pontos. Porém, no período de chuvas, é utilizada para banho pelos moradores do sítio Teixeira.

A nascente 2 (N2) é uma nascente localizada próxima a uma residência nas imediações do Sítio Teixeira. Ela é utilizada para banho e, em outubro, para deixar mandioca de molho. Também não possui mata ciliar conservada.

A nascente 3 (N3) se localiza à jusante do lixão, em uma declividade do terreno, quando comparada à residência do proprietário da área. É utilizada para banho, lavagem de roupas e demais usos domésticos. A mata ciliar é praticamente ausente em sua extensão inicial e não apresentou aspecto límpido durante praticamente todas as campanhas.

O rio Teixeira (RP1) atravessa e abastece o sítio Teixeira. Trata-se de um corpo hídrico perene e de pequeno porte, com menos de 3 metros de largura, e que fica com nível de água em seu leito bem baixo no período menos chuvoso. No período de cheia, é usado para colocar mandioca de molho e para lavagem de material reciclável, no trecho próximo às residências. Além disso, suas águas servem para diversos usos domésticos e para irrigação de agricultura familiar, principalmente de milho e mandioca. O rio Cachoeira (RP2) é um rio perene, também de pequeno porte, com trechos preservados e outros notoriamente antropizados, sendo utilizado de forma mais esporádica pela população dos arredores.

O trecho de rio intermitente nomeado RI1 se localiza entre o sítio Teixeira e a área do lixão. Aparentemente é pouco utilizado pela população, com fluxo modesto mesmo no período de chuvas. Possui vegetação ciliar, embora representada em grande parte por floresta secundária. Já o rio intermitente RI2 fica localizado na área adjacente ao lixão, atravessando o ramal de São Sebastião. Não possui margens vegetadas no trecho das coletas e, por estar em cota altimétrica menor que o lixão, recebe o escoamento superficial proveniente da área desse mesmo lixão durante as chuvas. No período chuvoso, deságua no ponto de rio RP2.

Os poços P1 e P2 se localizam no sítio Teixeira. O poço P1 tem a abertura no mesmo nível do terreno e é mantido coberto por lona, enquanto o P2 tem “boca” com cerca de 1m de altura do solo e é mantido fechado com a utilização de lona e elástico. Os poços P3 e P4 ficam às margens do ramal São Sebastião (estrada que dá acesso ao lixão). Não chegam a ter 5 metros de profundidade. O poço P3 fica na cozinha dos proprietários e é revestido por tijolos, enquanto o poço P4 não possui qualquer revestimento.

## 4.2 VARIÁVEIS DO CICLO HIDROLÓGICO

### 4.2.1 Precipitação

Os dados de precipitação (mm) foram obtidos por meio da torre micrometeorológica de Cuiarana (Figura 3), cujas coordenadas são 0°39'49.72''S, 47°17'03.41''W. Ela está localizada no sítio experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), em área de cultivo de mangueira. Os dados meteorológicos são gerados em uma frequência de 10 em 10 minutos, conectados a um sistema automático de aquisição e

armazenamento de dados (datalogger CR10X, *Campbell Scientific Inc.*) e a um multiplexador (AM 416/32, *Campbell Scientific Inc.*), com dados coletados desde setembro de 2010 (LIMA, 2012). Em virtude de falhas no banco de dados, no ano de 2015, devido a problemas técnicos nos aparelhos, foi realizado o preenchimento com dados provenientes da torre micrometeorológica da Universidade Federal do Pará (UFPA), que se encontra 100m distante da torre da UFRA, no mesmo sítio experimental. Entretanto, como os dados da torre da UFPA também apresentavam algumas falhas, alguns dias não puderam ter seus valores preenchidos, a saber: de 7 a 28 de março; e de 27 de abril a 6 de maio de 2015.

Desse modo, os dados obtidos por meio das torres foram comparados com dados de precipitação mensal estimados por sensoriamento CPC MORPHing technique (CMORPH) no ponto de grade referente à torre da UFRA, o que revelou boa equivalência entre os dados estimados e os observados, com erro inferior a 10%. Desse modo, foi convencionado utilizar a precipitação mensal acumulada do CMORPH com uso do ponto de grade correspondente à coordenada do lixão de Salinópolis, uma vez que esses dados não apresentam falhas em escala temporal. Os dados disponíveis no banco de dados do CMORPH correspondem ao período de 1998 a 2015.

Figura 3. Torre micrometeorológica no sítio experimental da UFRA, em Cuiarana.



Fonte: autora.

Para caracterização climática da precipitação, foram somados os acumulados mensais do CMORPH desde 1998, para obtenção da média de precipitação anual e mensal.

Embora não perfaça um período de 30 anos, utilizar esse banco de dados foi mais conveniente que utilizar os dados da estação automática de Salinópolis, uma vez que esta última foi instalada somente no ano de 2010. Estudos como o de Sodr e e Rodrigues (2013) comprovam a acurácia dos dados do CMORPH quando comparados a dados coletados por esta es meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em diversas regiões brasileiras.

A análise da precipita o local para o período de estudo foi realizada por meio do cálculo da anomalia, o que possibilita caracterizar a precipita o local durante o período de estudo. A anomalia foi calculada conforme fórmula:

$$PRP_A = PRP_O - PRP_M$$

Sendo:

$PRP_A$  = anomalia da precipita o

$PRP_O$  = precipita o observada

$PRP_M$  = normal climática

#### 4.2.2 Velocidade de infiltra o

Os dados da velocidade de infiltra o (cm/h) foram obtidos nos meses de março (período chuvoso) e outubro (período menos chuvoso) de 2015, em duas áreas residenciais. A  rea residencial a montante do lixão fica localizada no sítio Teixeira. Já a outra área habitada fica às margens do ramal de São Sebastião, em uma estrada que d  acesso ao lixão. Os pontos de coleta foram escolhidos por se encontrarem próximos aos poços P1 e P2 (sítio Teixeira) e P3 e P4 (ramal de São Sebastião), o que pode fornecer informa es adicionais para a avalia o da qualidade da água nos poços.

O método utilizado para obter a velocidade de infiltra o no solo foi o infiltrômetro de anéis concêntricos (Figura 4), descrito detalhadamente por Brandão *et al.* (2006) e também em trabalhos como o de Fagundes *et al.* (2012). Esse método consiste na introdu o de 2 anéis concêntricos (600 e 300mm) em uma profundidade de 15 cm no solo, com medi es de infiltra o em intervalos regulares de tempo. A presença do anel externo tem a finalidade de reduzir o efeito de dispersão lateral da água infiltrada do anel interno. A medi o da altura da coluna de água foi feita com uma régua posta verticalmente no cilindro interno. Durante o ensaio, a lâmina de água foi mantida entre 30mm e 50mm no cilindro, sendo reabastecida sempre que necessário, até o intervalo de 60 minutos. Todavia, no mês de

março, no sítio Teixeira, em virtude da rápida infiltração de água no solo e da pouca disponibilidade de água no local, o ensaio foi encerrado aos 30 minutos.

A velocidade de infiltração foi calculada por meio da seguinte fórmula:

$$V_i = DH/T$$

Sendo:

$V_i$ : velocidade de infiltração

DH: coluna de água infiltrada (cm) num intervalo de tempo

T: intervalo de tempo (min)

Figura 4. Infiltrômetro durante a medição da velocidade de infiltração, próximo ao lixão às margens do ramal São Sebastião.



Fonte: autora.

#### 4.2.3 Vazão

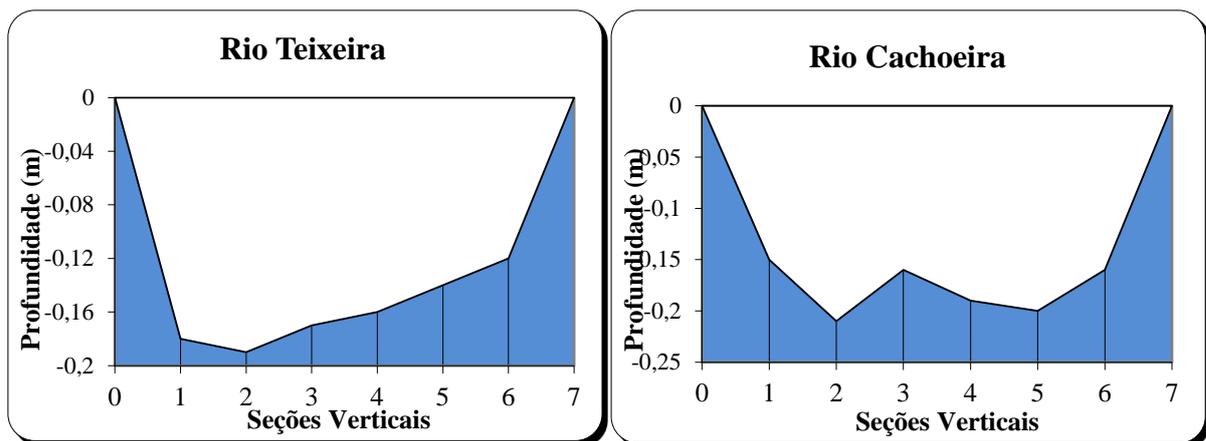
A vazão ( $m^3/s$ ) dos rios foi determinada no mês de março de 2015, época que corresponde ao período chuvoso na região. Consequentemente, trata-se do período em que se observou maior vazão nos rios perenes da área estudada, uma vez que as chuvas só se intensificaram na região de Cuiarana a partir do mês de fevereiro. Devido a características locais e climáticas, o período menos chuvoso não dispôs de condições para que se realizasse a medição de vazão, pois o fluxo é descontínuo em alguns trechos, mesmo nos rios perenes.

A vazão ( $m^3/s$ ) foi calculada em dois locais, selecionados devido ao fato de possuírem maior fluxo de água e considerável acessibilidade para o uso dos equipamentos. Na

área próxima ao lixão, o local escolhido foi o riacho Cachoeira, em um trecho próximo ao ramal São Sebastião. Já na área a montante, foi selecionado um trecho do rio Teixeira, nas proximidades da área residencial do sítio Teixeira.

Os dados de vazão foram calculados por meio do método convencional com medição direta e uso de molinete hidrométrico, de acordo com Carvalho (2008) e Santos (2014). Em virtude da pequena largura e profundidade dos riachos estudados, a medição foi feita com o uso do método de medição a vau, com a escolha de 6 seções de diferentes profundidades para cada rio (figura 5). O rio Cachoeira, no trecho medido, teve 2,22m de largura e seções de 0,15m, 0,21m, 0,16m, 0,19m, 0,2 m e 0,16m de profundidade, com 0,30m de distância entre as seções. Já o rio Teixeira obteve total de 2,8m de largura e seções de 0,18m, 0,19m, 0,17m, 0,16m 0,14m e 0,12m, com distância de 0,5m.

Figura 5 – Seções e profundidades dos trechos dos rios Teixeira e Cachoeira onde foram medidas as vazões.



Fonte: Autora.

O cálculo da vazão para cada seção transversal foi realizado por meio da seguinte fórmula:

$$q_i = v_i h_i \left( \frac{d_{i+1} - d_{i-1}}{2} \right)$$

Sendo:

$q_i$  = vazão na seção  $m^3/s$

$d_{i+1}$  = distância a partir do ponto inicial até a vertical posterior (m)

$d_{i-1}$  = distância a partir do ponto inicial até a vertical anterior (m)

$h_i$  = profundidade da vertical  $i$  (m)

$v_i$  = velocidade média na vertical  $i$  (m/s)

A vazão total foi obtida pela soma das vazões parciais.

#### 4.2.4 Balanço de água no solo

Para compreender a dinâmica da água precipitada no solo e, conseqüentemente, a influência dessa dinâmica na dispersão dos compostos químicos autóctones e alóctones, foi calculado o armazenamento de água no solo por meio do método do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955), descrito por Costa (1994). Para efeito de cálculo, foi considerado a capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) de 100 mm, conforme orientado por Pereira, Angelocci e Sentelhas (2007), quando não é realizado cálculo da CAD com dados de campo.

#### 4.3 VARIÁVEIS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

Foram realizadas 6 campanhas de amostragem de água superficial e subterrânea (poço), entre os meses de novembro de 2014 e outubro de 2015. Ou seja: foram feitas três coletas durante o período menos chuvoso (novembro/2014, julho/2015 e outubro/2015) e três coletas durante o período chuvoso (fevereiro/2015, março/2015 e maio/2015). Ao todo, foram selecionados 11 pontos amostrais (Figura 1), sendo 3 nascentes (N1, N2 e N3), 4 poços (P1, P2, P3 e P4), 2 rios perenes (RP1 e RP2) e 2 rios intermitentes (RI1 e RI2). Desses, N1, N2, P1, P2, RP1 e RI1 se localizam a montante da área do lixão. Os demais ficam na área do lixão. Os pontos foram selecionados com a finalidade de priorizar áreas habitadas e nascentes e que, ao mesmo tempo, oferecessem possibilidade de acesso durante todo o período do estudo.

As nascentes foram selecionadas em virtude da importância dessas para a avaliação da qualidade de água, uma vez que alterações, mesmo que pequenas, em seus fluxos e composições podem comprometer a qualidade do ambiente e da água (OLIVEIRA *et al.*, 2013). A escolha das nascentes teve, ainda, por objetivo estabelecer valores de *background* para a análise dos resultados, sobretudo a nascente N1, que se encontra mais a montante na microbacia e em ambiente mais vegetado, quando comparada às demais.

As amostras de água subterrânea são provenientes de poços do tipo “amazonas”, com profundidades que variam entre 3,6m e 8,12m, sendo localizados em áreas habitadas. Os poços são utilizados para consumo pela população residente, excetuando-se o poço P1, que só é utilizado aos fins de semana. No mês de fevereiro de 2015, o poço P3 estava em reforma e, por isso, a coleta foi realizada em outro poço, localizado a uns 30m de distância de P3.

Foram analisados 10 parâmetros físico-químicos: pH, oxigênio dissolvido, temperatura da água, turbidez, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, amônia, nitrato e nitrito. Foram analisados, ainda, 2 parâmetros bacteriológicos: coliformes totais e

*Escherichia coli*. Por fim, foram analisados os metais: alumínio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel e zinco. Os metais foram selecionados com base em diversos trabalhos que também objetivaram avaliar a qualidade da água em áreas de aterros ou lixões, como, por exemplo, Oliveira e Pascal (2004), Al-Muzaini (2009), Athayde Júnior *et al.* (2009), Lopes, Brigante e Schalch (2007) e Baawain e Al-Futaisi (2014).

Os parâmetros temperatura da água, pH, condutividade elétrica, salinidade e sólidos totais dissolvidos foram aferidos em campo, seguindo as orientações de uso determinado pelo fabricante de cada aparelho. O oxigênio dissolvido também foi medido em campo, por meio do método de Winkler (GOLTERMAN; CLYMO; OHNSTAD, 1978). Já as medições da turbidez, amônia, nitrato, nitrito e a bacteriologia foram realizados no Laboratório de Hidroquímica da Universidade Federal do Pará (Tabela 2), sendo obedecidas rigorosamente as normas de preservação, armazenamento e validade das amostras, conforme Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (BRANDÃO *et al.*, 2011).

As amostras para análise de metais foram acondicionadas em recipientes de polietileno, filtradas e acidificadas com 1 ml de ácido nítrico (100%), em campo, até a obtenção de valores de pH inferiores a 2. Posteriormente, foram encaminhadas ao Instituto Evandro Chagas. A análise da concentração dos metais (Hg, Al, Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Fe, Ni e Mn) foi feita pelo Instituto Evandro Chagas, obedecendo ao método Standard (American Public Health Association - APHA, 2012), por meio de Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Induzido (ICP OES), modelo Vista- MPX CCD simultâneo (Varian, Mulgrave, Austrália). O controle das condições operacionais do ICP OES foi realizado com o software ICPExpert Vista.

Tabela 2. Parâmetros analisados nas amostras de água e seus respectivos equipamentos de medição.

Parâmetro	Unidade de medida	Equipamento/Método
pH		pHmeter 523, WTW
Temperatura da água	Celsius	
Oxigênio dissolvido (OD)	mg.L <sup>-1</sup>	Método de Winkler
Turbidez	NTU	Turbidímetro HACH 2100 P
Sólidos totais dissolvidos (TDS)	mg.L <sup>-1</sup>	Sonda Multiparâmetro Órion, mod. 115 HACH
Condutividade elétrica	µS.cm <sup>-1</sup>	
Salinidade	mg.L <sup>-1</sup>	
Amônia (NH <sub>3</sub> ), Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) e Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg.L <sup>-1</sup>	Espectrofotômetro HACH DR/2010 Portable Datalogging
Coliformes Totais e <i>E. coli</i>	UFC por 100 mL	Membrana filtrante (CETESB, 2007)

Fonte: autora

As amostras para bacteriologia foram coletadas em frascos de vidro estéreis e imediatamente refrigeradas a uma temperatura entre 2° e 4°C. Posteriormente, foram levadas ao laboratório de Hidroquímica da UFPA, em um prazo inferior a 24 horas. Em virtude da alta densidade de colônias bacterianas desenvolvidas nos meios de cultura, foi necessário realizar diluições. Para obtenção da diluição ideal para contagem de todas as amostras, foram testadas placas preparadas sem diluição (T1), com diluição 50/100 ml (T2) e 10/100 ml (T3). A diluição T3 apresentou maior viabilidade para contagem das colônias em todas as amostras e, portanto, foi a diluição utilizada para todas as campanhas seguintes. A filtragem, a inoculação das placas, o cultivo das culturas de colônias bacterianas (Figura 6) e a posterior contagem foram realizadas segundo orientação da CETESB (2007) para metodologia de membrana filtrante.

Figura 6. Placas contendo os meios de cultura, logo após a incubação para realização da contagem das colônias bacterianas.



Fonte: autora.

Os valores de concentração dos parâmetros físico-químicos, metálicos e bacteriológicos encontrados foram comparados com os valores máximos permitidos para a classe 2 de águas doces pela Resolução n.º 357/2005, do CONAMA, no caso das águas superficiais. Para as concentrações encontradas nos poços, foram comparadas aos valores expressos pela Portaria n.º 2.914/2011, do Ministério da Saúde, que estabelece parâmetros para enquadramento da água para consumo humano (Tabela 3). Para análise da sazonalidade dos parâmetros, foi comparada graficamente a variabilidade na concentração dos parâmetros em águas superficiais e subterrâneas com a variabilidade da precipitação no mesmo período.

Tabela 3. Valores máximos e mínimos para enquadramento de águas superficiais classe 2 (CONAMA n.º 357/05) e subterrâneas (Portaria n.º 2.9014/11).

Parâmetro	CONAMA n.º 357/05	Portaria n.º 2914/11
OD (mg/l)	> 5	*
Ph	6 a 9	6,0 a 9,5
Temp (°C)	*	*
Turb (UNT)	100	5
TDS (mg/l)	500	1000
CE (µS/cm)	*	*
NH <sub>3</sub> (mg/l)	3,7	1,5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	10	10
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	1	1
Al (mg/l)	0,1	0,2
Cd (mg/l)	0,001	0,005
Cr (mg/l)	0,05	0,05
Cu (mg/l)	0,009	2
Fe (mg/l)	0,3	0,3
Hg (mg/l)	0,0002	0,001
Mn (mg/l)	0,1	0,1
Ni (mg/l)	0,025	0,07
Pb (mg/l)	0,01	0,01
Zn (mg/l)	0,18	5

\*: Não estabelecido valor padrão. Fonte: CONAMA (2005) e BRASIL (2011)

#### 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

A metodologia estatística utilizada para avaliação da variabilidade espacial e temporal dos parâmetros de qualidade de água foi a Análise Fatorial em Componentes Principais (ACP). A ACP teve por objetivo reduzir a quantidade de dados por meio da

obtenção de autovalores e autovetores de uma matriz de covariância. Os autovalores e autovetores foram utilizados para a análise espacial e temporal dos parâmetros estudados. A aplicação dessa metodologia estatística foi largamente utilizada em estudos de qualidade de água (ANDRADE *et al.*, 2007; GIRÃO *et al.*, 2007, GUEDES *et al.*, 2012; BERTOSSI *et al.*, 2013; AL-MUTAIRI; ABAHUSSAIN; EL-BATTAY, 2014; WILBERS *et al.*, 2014).

Como as variáveis apresentavam diferentes ordens de grandeza e unidades de medidas, os dados foram padronizados antes da aplicação da ACP, segundo a fórmula:

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - X_j}{S(X_j)}$$

Sendo:  $Y_{ij}$ ,  $S(X_j)$  e  $X_j$ , respectivamente, a variável padronizada, o desvio-padrão e a média da  $j$ -ésima variável original. A padronização seguiu o método exposto por Guedes *et al.* (2012).

Para realizar a análise espacial e temporal das variáveis de forma simultânea, os dados podem ser dispostos de dois modos: Modo T e Modo S. A matriz do Modo T gera autovalores temporais; já a do Modo S gera autovalores espaciais (AMANAJÁS; BRAGA, 2012; AL-MUTAIRI; ABAHUSSAIN; EL-BATTAY, 2014). Para os dados obtidos nesse trabalho, o Modo S não foi adequado, uma vez que gerou uma matriz de covariância com determinante zero. Dessa forma, o Modo T foi o utilizado para as análises das variáveis em águas superficiais e subterrâneas. Nas suas linhas, continha os parâmetros organizados por pontos amostrais; e nas suas colunas, os meses de coleta. Os pontos de coleta RI1 e RI2 não foram considerados por não possuírem a série temporal completa. Mesmo motivo pelo qual não foram considerados os parâmetros nitrito e mercúrio.

Os valores mensais da precipitação utilizados para análise estatística foram selecionados com base no seguinte critério: quando a campanha de amostragem ocorreu após o dia 15 do mês, os dados de precipitação foram os do mês da campanha; quando a campanha ocorreu antes do dia 15, os dados foram os do mês anterior. O objetivo foi avaliar de modo mais adequado a influência do acumulado de chuvas mensais sobre os parâmetros de qualidade de água. Esse critério foi utilizado por Silva *et al.* (2008) para verificar a influência da precipitação na qualidade de água do rio Purus. Desse modo, foram selecionados os acumulados mensais de novembro de 2014, janeiro, março, maio, julho e setembro de 2015.

Para verificação da adequação do método da ACP aos dados, foram examinados os testes de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e o teste de esfericidade de Barlett. Para que a matriz seja adequada para a metodologia, o KMO precisa obter valores maiores que 0,5. Já o teste de

Barlett deve obter valores abaixo de 0,05 (WU *et al.*, 2010; GYAWAII *et al.*, 2012; AL-MUTAIRI; ABAHUSSAIN; EL-BATTAY, 2014).

Para análises em águas superficiais, foram selecionados os parâmetros físico-químicos, bacteriológicos, metálicos e a precipitação para os nove pontos considerados (excluindo-se os pontos em rios intermitentes). Foram obtidos os autovalores e autovetores da matriz de covariância. Os autovetores foram especializados no Surfer 11 e os autovalores foram plotados em gráfico, para visualização da variação dos coeficientes de expansão temporal.

Como foram gerados 20 coeficientes para cada ponto de amostragem, devido ao número de parâmetros em cada ponto, foi realizada a média dos coeficientes por ponto. Assim, para cada coordenada foi gerado um coeficiente, resultante da média dos coeficientes do ponto. Posteriormente, os coeficientes médios foram interpolados por meio do método da distância ao quadrado, visto que esse método foi o que melhor se adequou à espacialização dos dados. Para a escolha dos intervalos mais significativos ( $>0,05$ ) para plotagem das isolinhas no mapa de interpolação, foi utilizado o teste de significância t-Student.

No caso das águas subterrâneas, não foi possível a realização da espacialização por meio de interpolação, pois os pontos foram apenas 4 e estavam muito próximos (P1 de P2, e P3 de P4), o que inviabiliza a construção de um mapa adequado. Desse modo, optou-se por não rodar a matriz com todos os parâmetros. Em virtude da importância da análise da concentração de metais pesados na água de consumo e da influência do chorume na concentração desses metais na água subterrânea, foi realizado uma ACP somente com os dados de metais e da precipitação da água dos poços. Para isso, foram utilizados os dados padronizados da concentração de metais nos quatro poços mais a precipitação, com uso da matriz de covariância e Modo T (variabilidade espacial nas linhas e temporal nas colunas).

#### 4.5 PERCEPÇÃO DOS MORADORES NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO LIXÃO

Foram realizadas seis entrevistas semiestruturadas nas duas áreas residenciais: 3 na região adjacente ao lixão; e 3 no sítio Teixeira. Embora o número de entrevistas seja pequeno, por ser uma área pouco habitada, sobretudo na área do lixão, o quantitativo foi significativo. No ramal de São Sebastião, havia somente duas residências habitadas durante o período das entrevistas. A última entrevista na área foi realizada na residência de localização da nascente N3. No sítio Teixeira, foi estimada a presença de 8 famílias de moradias fixas, sendo entrevistados três moradores na área.

Na avaliação de água subterrânea, foram priorizados os moradores usuários dos poços estudados. Desse modo, foram entrevistados os proprietários dos poços P2, P3 e P4. A entrevista foi composta por 11 perguntas objetivas e subjetivas, que visaram a obter a percepção dos moradores em relação ao impacto do lixão na água subterrânea e superficial local ao longo do tempo. Para tanto, foram selecionados moradores antigos da área, todos com cerca de 10 anos de residência na localidade.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse capítulo foi organizado em três seções. Na primeira, é feita a caracterização hidrológica da área de estudo, com ênfase na precipitação local. Na segunda seção, é desenvolvida a abordagem referente à variabilidade dos parâmetros da qualidade de água, a comparação dos valores obtidos com os máximos permitidos pela legislação correspondente e a influência da precipitação nessa variação. Na terceira seção, é apresentada a percepção dos moradores locais em relação ao uso da água e à influência do lixo na qualidade ambiental e de saúde na região.

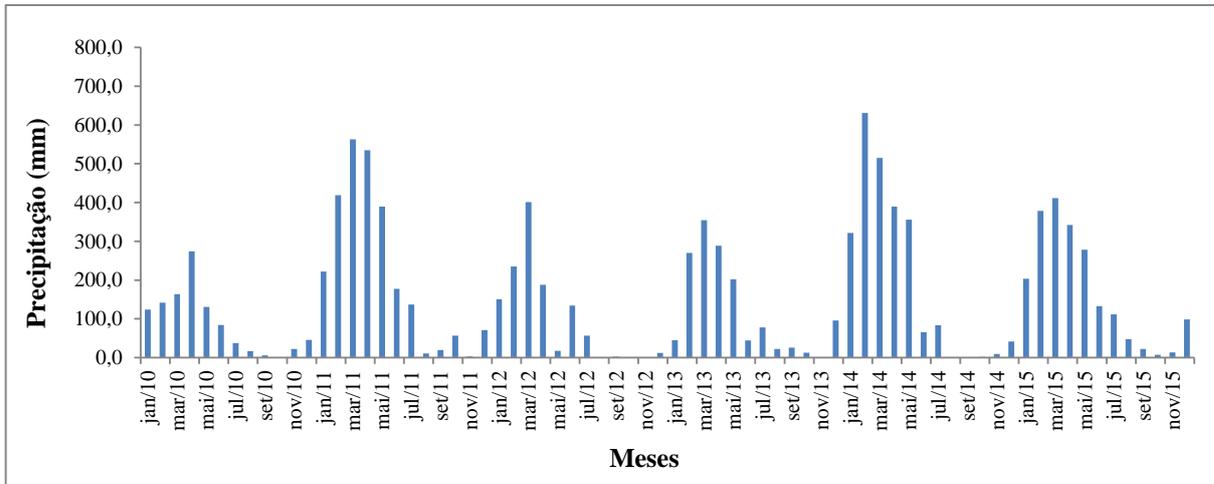
### 5.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DE CUIARANA

O período chuvoso em Cuiarana (figura 7) abrange os meses de janeiro a maio. Durante esse período, pode se concentrar cerca de 90% do total anual precipitado na região. Quando considerado o intervalo entre 2010 e 2015, os anos de 2011 e 2014 apresentaram maiores acumulados anuais de precipitação: 2.604,2 mm e 2.414,3 mm, respectivamente.

Durante os anos referentes à pesquisa de campo, 2014 e 2015, os acumulados anuais corresponderam a 2.414,3 mm em 2014 e 2.046,5 mm em 2015. O período chuvoso concentrou, em 2014, o correspondente a 2.213,5 mm. Já o período menos chuvoso obteve o acumulado de 200,8 mm. Em 2015, os acumulados foram de 1.613,6 mm e 432,9 mm, correspondentes ao período chuvoso e ao menos chuvoso, respectivamente. O maior pico mensal de precipitação foi de 631 mm, em fevereiro de 2014 (figura 7).

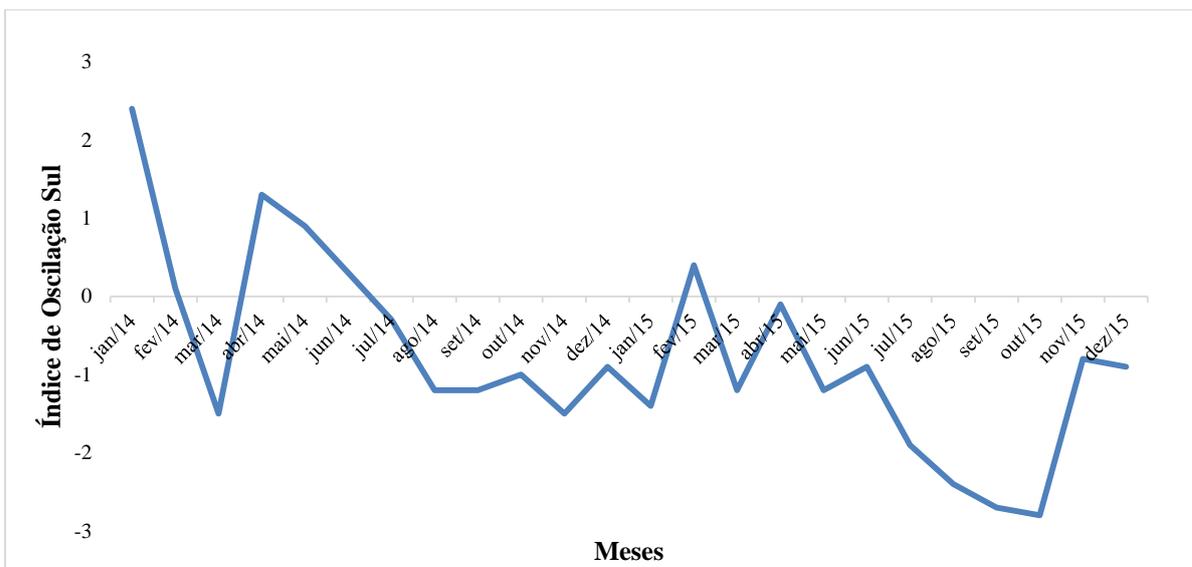
A redução do volume precipitado em 2015 se deve, sobretudo, à ocorrência do fenômeno El Niño, iniciado efetivamente no segundo trimestre de 2015 (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA, 2016), como pode ser observado na figura 8. Quanto mais negativos os coeficientes do Índice de Oscilação Sul (IOS), maior o aquecimento nas águas do oceano Pacífico e, portanto, maior a ocorrência do El Niño. A influência do El Niño na redução das chuvas na região amazônica já foi relatada em diversos trabalhos, como os de Ronchail *et al.* (2002), Martins *et al.* (2004) e Nobre *et al.* (2009).

Figura 7. Dados acumulados mensais de precipitação em Cuiarana do período 2010-2015 obtidos pelo CMORPH.



Fonte: autora.

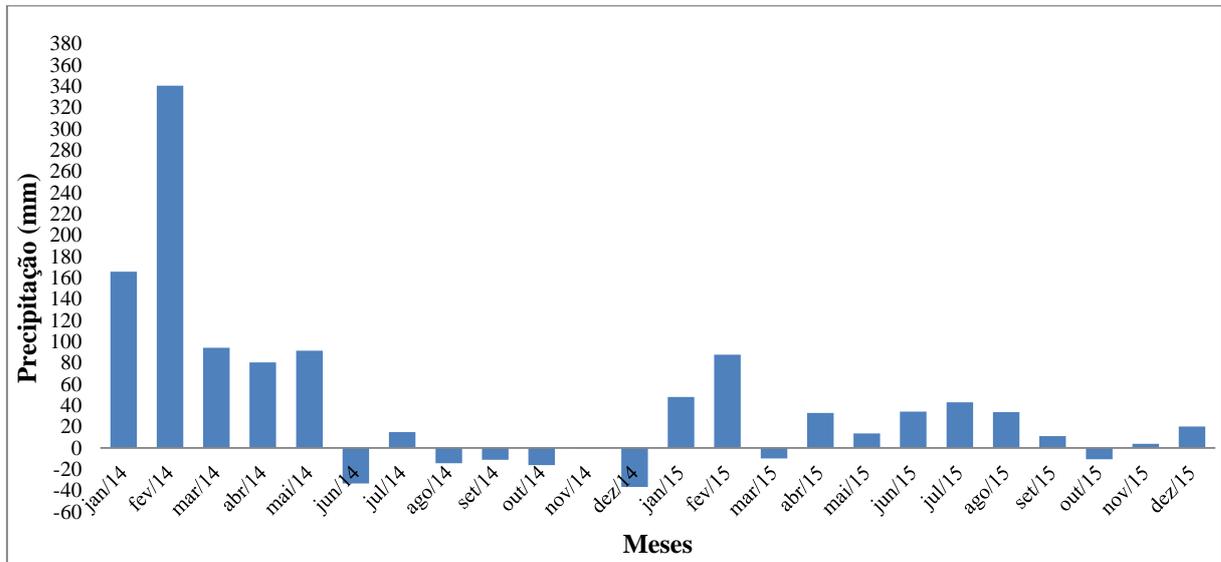
Figura 8. Distribuição temporal do Índice de Oscilação Sul (IOS) mensal no período de 2014 a 2015.



Fonte: NOAA, 2016.

O primeiro semestre de 2014 foi marcado por anomalias positivas na precipitação, com máximo de 340 mm em fevereiro. Já o segundo semestre foi caracterizado por anomalias significativamente negativas (figura 9). Embora o ano de 2015 tenha apresentado acumulados mensais menores quando comparado ao ano de 2014, as anomalias foram predominantemente positivas, tanto no período chuvoso quanto no menos chuvoso.

Figura 9. Anomalia mensal da precipitação da Vila Cuiarana nos anos de 2014 e 2015.



Fonte: autora.

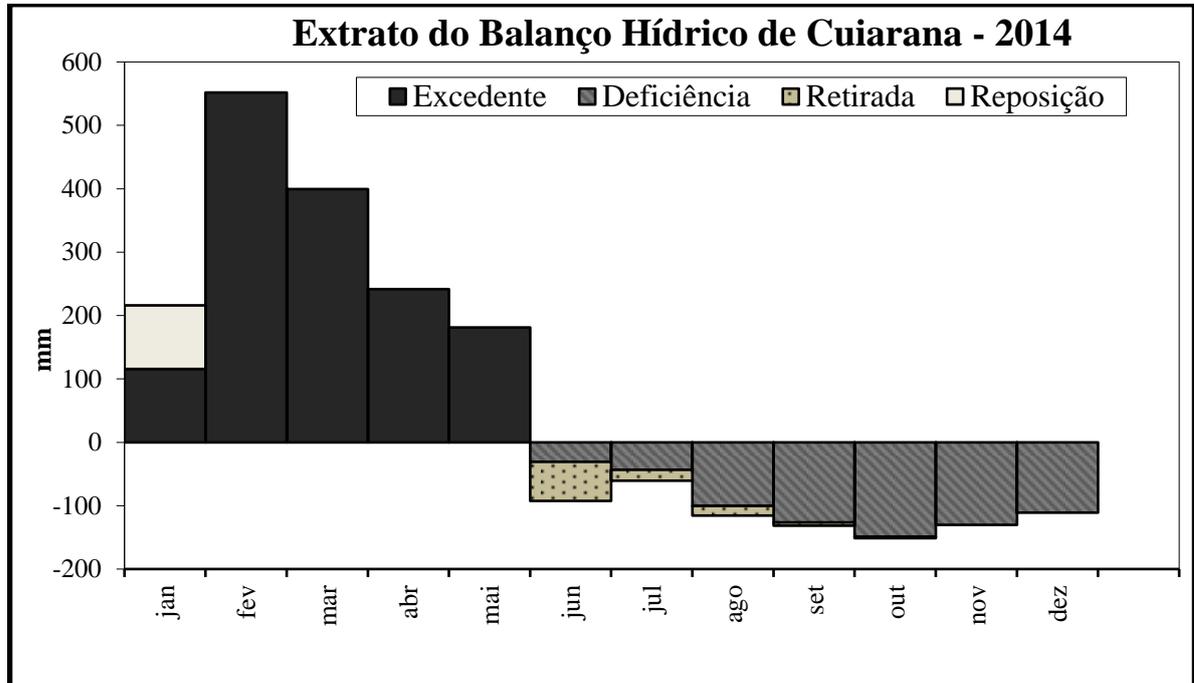
A partir do segundo semestre do ano de 2014, houve o estabelecimento do fenômeno El Niño, com o aumento gradual da temperatura da superfície do mar (TSM) na área de referência para monitoramento no oceano Pacífico, denominada “Área Niño 3.4”. Assim, pode-se compreender a predominância das anomalias de precipitação positivas no ano de 2015, apesar da ocorrência do El Niño. Além disso, a contribuição das linhas de instabilidade e dos processos convectivos locais na formação de nuvens é um fator determinante na região. Segundo Cohen (1989), as linhas de instabilidade são responsáveis por 45% da precipitação no nordeste paraense.

O balanço hídrico do solo de Cuiarana (figuras 10 e 11) nos anos de 2014 e 2015 demonstra que o período de reposição hídrica na região ocorre em janeiro, em virtude do aumento da ocorrência das chuvas nesse período. A redução de chuvas e o aumento nas temperaturas do ar no segundo semestre provocam a perda de água do solo por evapotranspiração, o que acarreta a deficiência hídrica observada entre os meses de junho e dezembro.

Em virtude dessa característica da região, a disponibilidade de água para a coleta de amostras dos rios intermitentes, RI1 e RI2, só ocorreu a partir do mês de março, pois as chuvas só se intensificaram na região em meados de fevereiro de 2015, uma vez que as chuvas do mês de janeiro de 2015 só repuseram a água do solo perdida no segundo semestre de 2014. Além disso, a resposta dos corpos hídricos à chuva não é imediata. Assim, os rios intermitentes demonstraram necessitar de cerca de um mês de excedente hídrico para

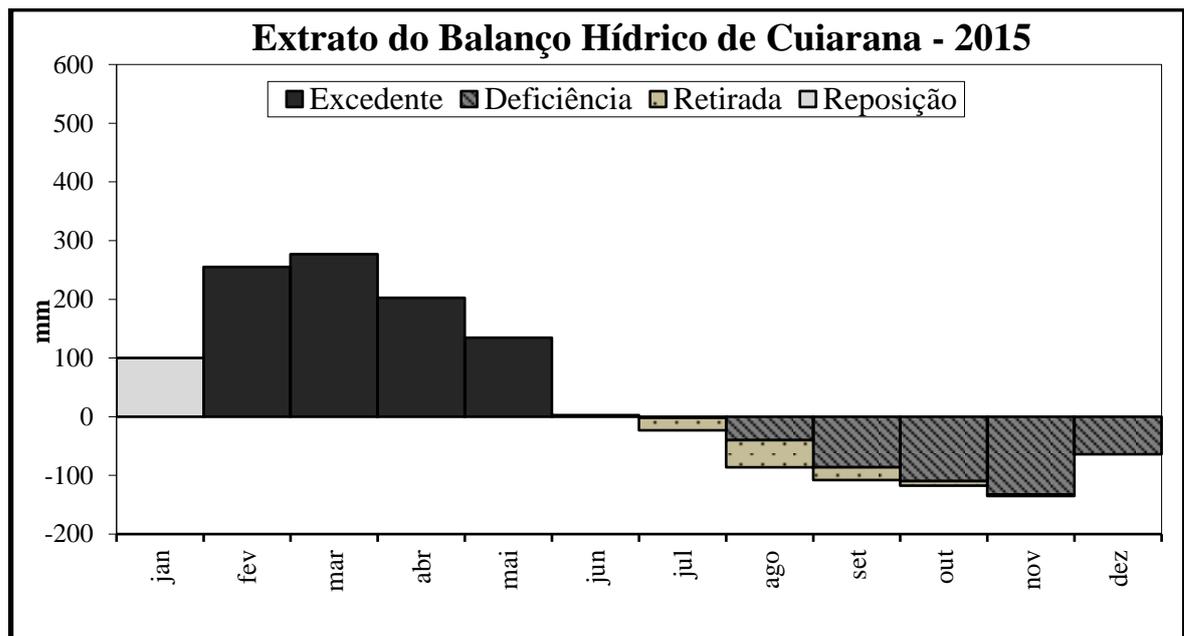
reposição do fluxo de água nos rios. Os meses entre fevereiro e maio foram responsáveis por gerar um excedente hídrico no solo. Esse período correspondeu aos meses de maiores volumes de chuvas na área.

Figura 10. Balanço hídrico do solo em Cuiarana no ano de 2014.



Fonte: autora.

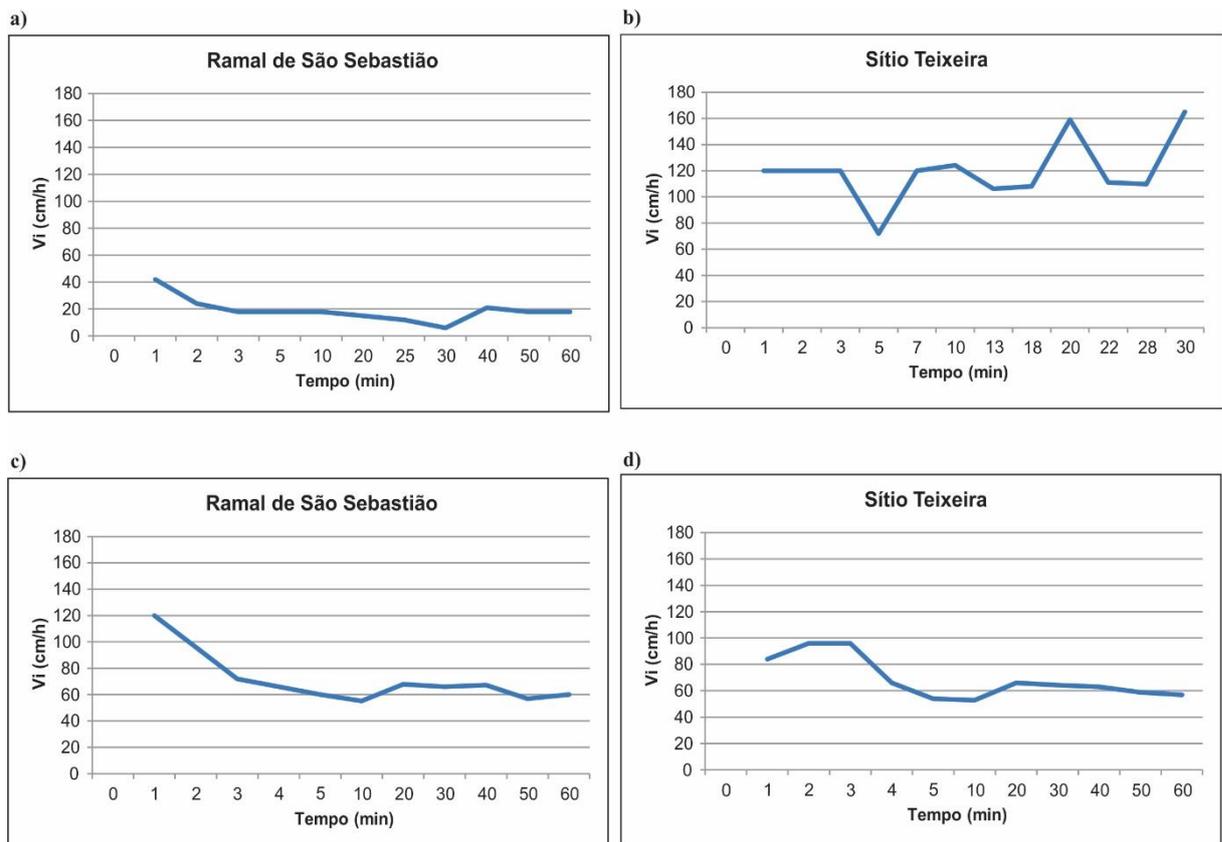
Figura 11. Balanço hídrico do solo em Cuiarana no ano de 2015.



Fonte: autora.

As velocidades de infiltração instantânea medidas nos meses de março e outubro de 2015, no ramal de São Sebastião e no sítio Teixeira, podem ser vistas na figura 12. A velocidade de infiltração no ramal de São Sebastião, área próxima ao lixão, foi de  $18 \text{ cm.h}^{-1}$  em março; e de  $60 \text{ cm.h}^{-1}$ , em outubro. Já no sítio Teixeira foi de  $57 \text{ cm.h}^{-1}$  em outubro; e  $160 \text{ cm.h}^{-1}$ , em março. Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006) solos com velocidade de infiltração acima de  $3 \text{ cm.h}^{-1}$  são classificados como solos com velocidade de infiltração muito alta. Desse modo, os solos das áreas estudadas se enquadram nessa categoria. A alta taxa de infiltração no mês de outubro se deve ao déficit hídrico do solo nesse período (figuras 10 e 11). Além disso, no período em que foram realizadas as medições, dia 6 de outubro, a área estava há mais de 2 semanas sem chuvas.

Figura 12. Velocidade de infiltração ( $V_i$ ). a)  $V_i$  no ramal de São Sebastião em março de 2015; b)  $V_i$  no sítio Teixeira em março de 2015; c)  $V_i$  no ramal de São Sebastião em outubro de 2015; d)  $V_i$  no sítio Teixeira em outubro de 2015.



Fonte: autora.

No mês de março, no sítio Teixeira, a infiltração foi muito maior que nos demais ensaios (figura 12), mesmo em relação ao período chuvoso, no qual a saturação do solo devido às águas das chuvas diminui o potencial de infiltração da água no solo. Isso talvez seja

em decorrência de algum evento local, pois trata-se de uma área próxima a pequenas lavouras e influenciada antropicamente. Ademais, a área do sítio Teixeira tem uma cota mais elevada que a área do ramal de São Sebastião, o que favorece, nesta última localidade, o acúmulo de água da chuva em seus declives, o que mantém por mais tempo a saturação do solo local. Segundo Franco *et al.* (2015), quanto maior a declividade de um terreno, menor a taxa de infiltração. Dito de outro modo: superfícies planas tendem a apresentar melhores condições de infiltração da água.

Nos meses de março e maio, foi observado em campo escoamento superficial do solo proveniente da área do lixão em direção ao ramal de São Sebastião. Essa área estava quase intrafegável em maio devido ao acúmulo de água e aos buracos abertos na estrada sem asfalto. A observação em campo confirmou o excedente hídrico encontrado no balanço hídrico de 2015 nos meses de fevereiro, março e maio. A mesma observação ajuda a explicar os valores inferiores da velocidade de infiltração no mês de março no ramal de São Sebastião.

Segundo Santos (2014), o solo na região estudada é do tipo latossolo amarelo, que se caracteriza por ser um solo profundo, com boa drenagem e baixa fertilidade natural em sua maioria, textura francamente arenosa ou mais fina, com baixos teores de siltes. Os valores da velocidade de infiltração em Cuiarana foram mais elevados quando comparados aos encontrados por Cunha *et al* (2011), que avaliaram a infiltração em um latossolo amarelo distrófico no estado de Alagoas no período de novembro de 2007 a janeiro de 2008. No trabalho desses autores, a VI variou de 75 a 25  $\text{cm.h}^{-1}$ .

Enquanto os valores de infiltração foram muito elevados, as vazões nos dois rios estudados foram baixas, como a própria observação *in loco* previa, uma vez que muitos rios da bacia têm comportamento intermitente. No rio Teixeira, a vazão no trecho medido foi de  $0,17 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ; e de  $0,16 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  no rio Cachoeira. Santos (2014) mediu a vazão na bacia do rio Araepó, bacia essa localizada do lado oposto da PA 124, quando comparada à microbacia estudada neste trabalho. O autor encontrou valores de vazões entre  $0,14 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e  $0,60 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Convém observar que este último valor foi encontrado depois de um evento de chuva de 21 mm, após seguidas medições entre os dias 22 e 26 de abril de 2014, o que confirma a característica da área.

## 5.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS EM CUIARANA

### 5.2.1 Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos

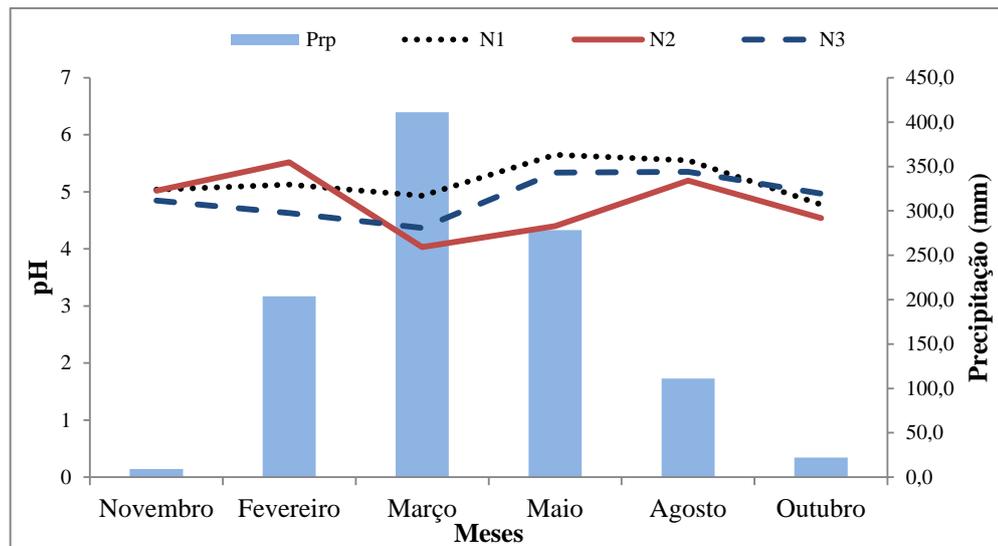
Os resultados dos parâmetros físico-químicos em águas superficiais e subterrâneas estão expostos nos apêndices D e E. Os valores em **negrito** correspondem aos que não estão em conformidade com os valores máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA n.º 357/2005, em águas superficiais, ou pela Portaria n.º 2.914/2011, do Ministério da Saúde, em águas subterrâneas. Em novembro de 2014, não foi realizada medição do nitrito devido à falta de reagente no período.

#### 5.2.1.1 Águas superficiais

As amostras de água superficial não apresentaram salinidade, com exceção do ponto RI2, que apresentou salinidade 0,1 ‰. No ponto RI2, a presença de salinidade na coleta de março pode ter se dado em virtude do carreamento de sais presentes no solo ou, provavelmente, pelo lixiviado advindo do lixão, pois se trata de um rio intermitente que estava até fevereiro completamente seco. O início das chuvas favorece o escoamento superficial do solo, partindo do lixão em direção ao ramal de São Sebastião. Além da salinidade, os sólidos totais dissolvidos (95 mg/l) e a condutividade elétrica (202 µS/cm) alcançaram os maiores valores nesse mesmo período, comprovando a lixiviação de sais e de sedimentos para o rio por meio das chuvas.

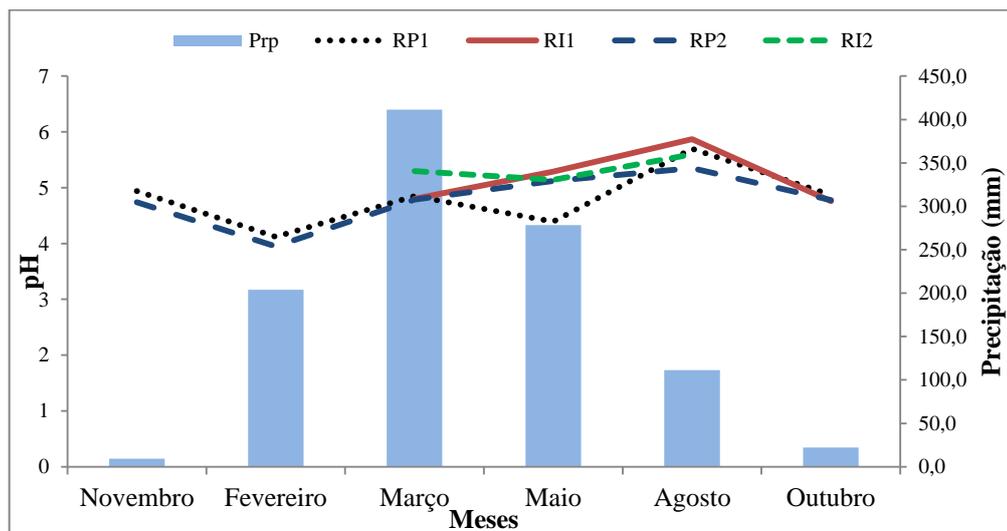
O pH não apresentou nítida variabilidade sazonal, embora o período menos chuvoso tenha obtido valores levemente superiores, sobretudo nos rios (figuras 13 e 14). Os valores de pH em todos os pontos e em todas as campanhas amostrais apresentaram valores inferiores ao determinado como ideal pela já referida Resolução CONAMA, haja vista que obtiveram valores inferiores a 5. Entretanto, segundo alguns estudos, como o de Gunkel *et al.* (2000), por exemplo, os rios amazônicos tendem a ter águas levemente ácidas, sem que isso indique, contudo, desequilíbrio no ecossistema local.

Figura 13. Variação sazonal do pH em nascentes.



Fonte: autora.

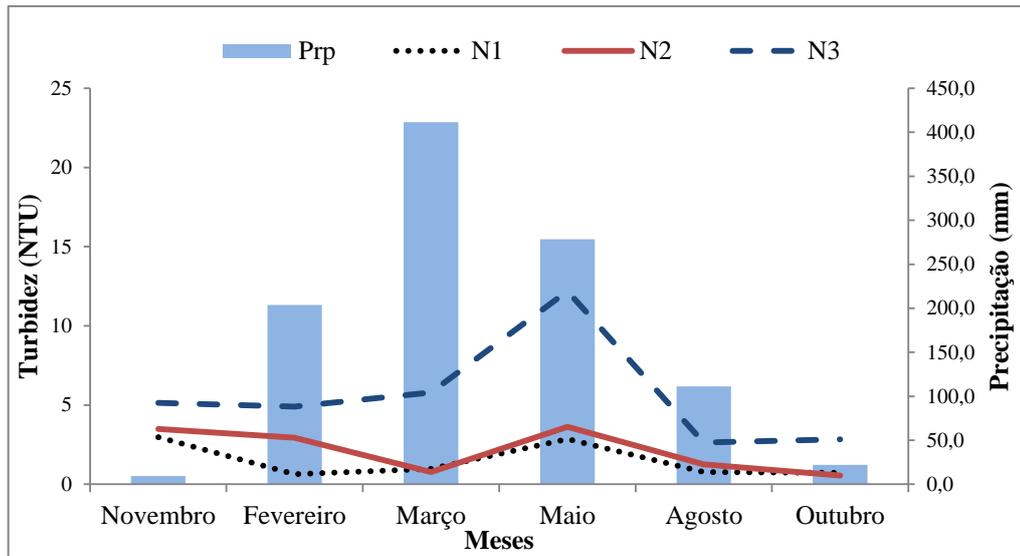
Figura 14. Variação sazonal do pH em rios.



Fonte: autora.

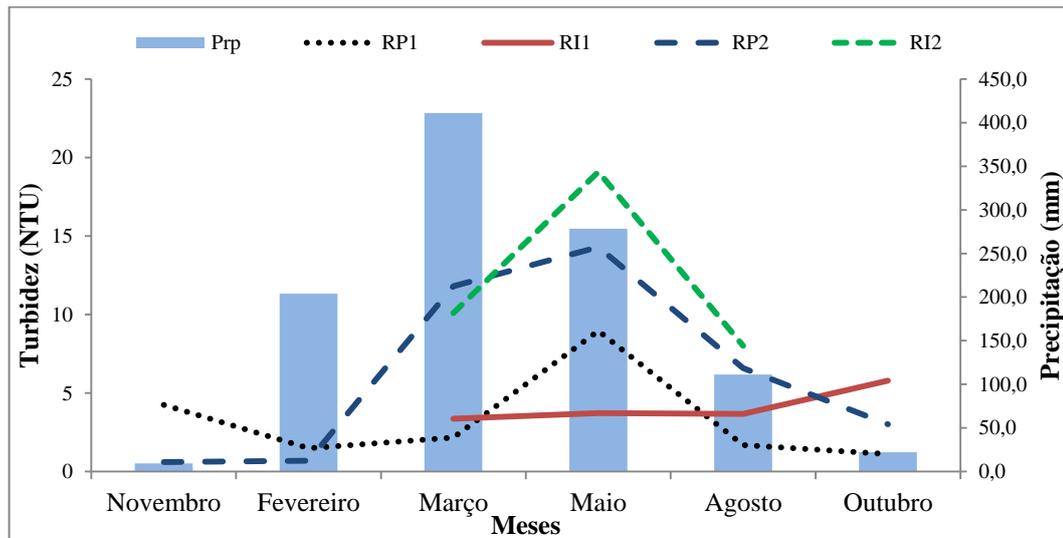
A turbidez variou de 0,6 a 19,1 NTU, alcançando maiores valores de modo geral nos meses de março e maio, meses mais chuvosos do período de campanhas (figuras 15 e 16). A nascente N3 foi aquela com maior variabilidade nos valores de turbidez (figura 15), o que pode estar associado à ausência de mata ciliar e ao maior nível de impacto antrópico, quando comparada às demais. O rio RI1, ao contrário dos demais pontos em rios, apresentou elevação da turbidez em outubro (figura 16), o que pode ser explicado devido à diminuição do nível do rio nesse período e, portanto, à maior concentração de sedimentos em seu leito.

Figura 15. Variação sazonal da turbidez em nascentes.



Fonte: autora.

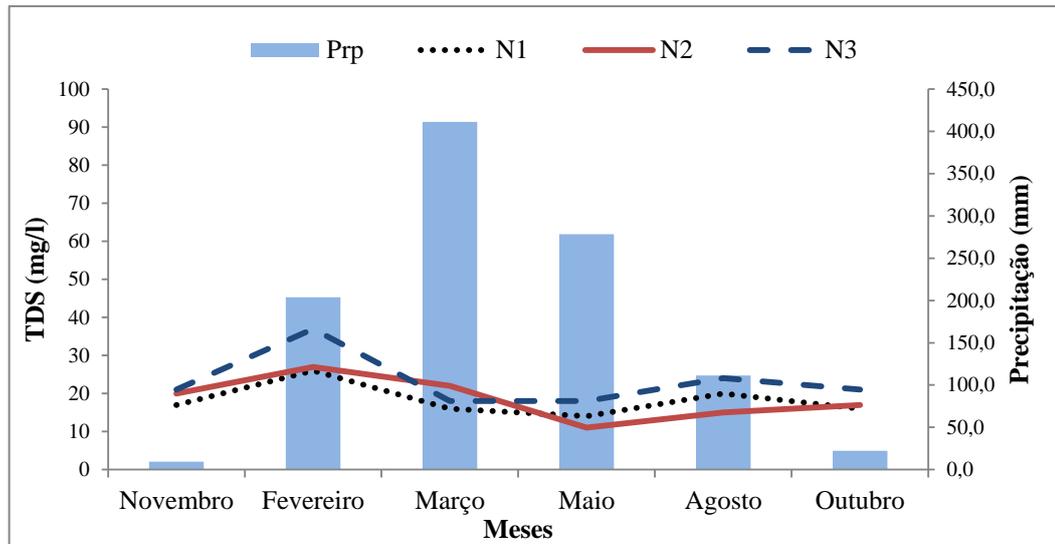
Figura 16. Variação sazonal da turbidez em rios.



Fonte: autora.

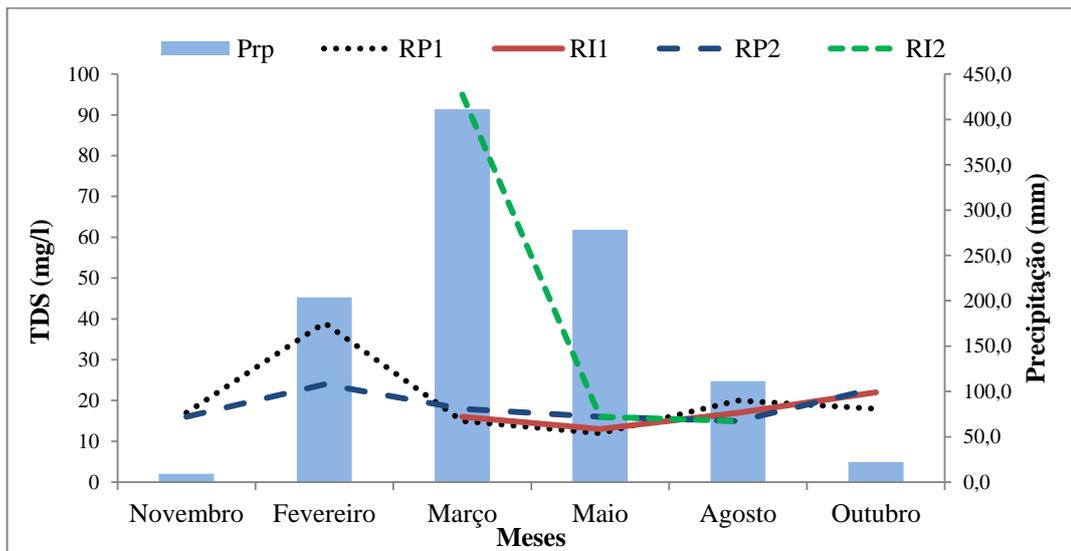
Os sólidos totais dissolvidos (TDS) também apresentaram maiores concentrações no período chuvoso, principalmente no mês de fevereiro, momento da primeira coleta do desse período (figuras 17 e 18). Os valores de TDS variaram entre 11 e 95 mg/l. O pico do TDS ocorreu em março, no ponto RI2 (figura 18), possivelmente deve estar associado ao carreamento de sedimentos por escoamento superficial do solo do lixão, como já mencionado anteriormente. O fato de tanto os rios como as nascentes não apresentarem mata ciliar conservada ajuda a explicar essa variabilidade, uma vez que as chuvas carreiam, por meio do escoamento superficial, sedimentos e compostos presentes nos solos adjacentes.

Figura 17. Variação sazonal dos sólidos totais dissolvidos (TDS) em nascentes.



Fonte: autora.

Figura 18. Variação sazonal dos sólidos totais dissolvidos (TDS) em rios.

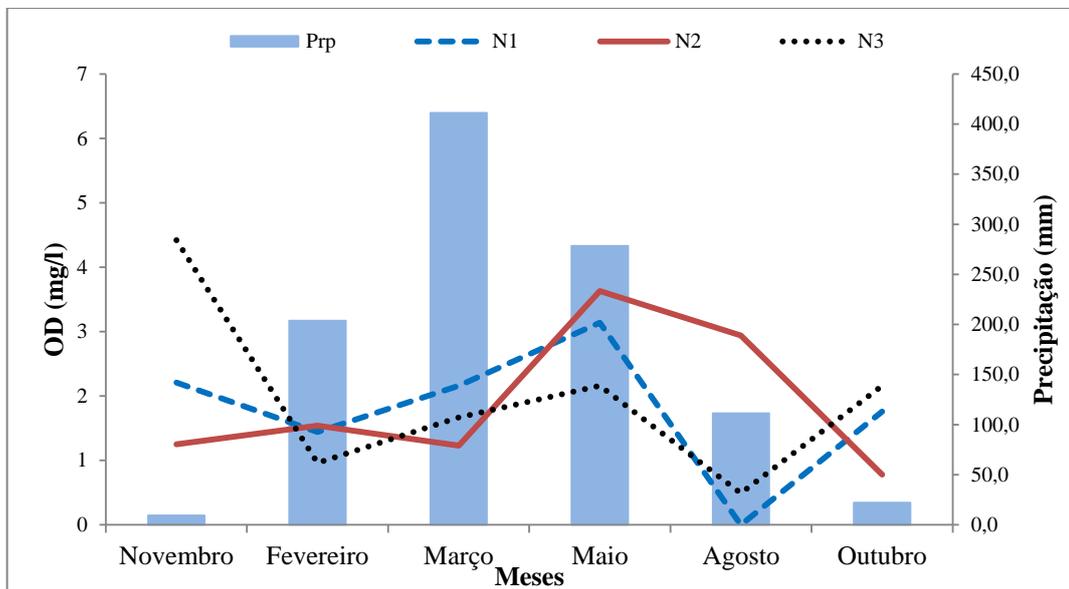


Fonte: autora.

Os maiores valores de turbidez e de sólidos totais dissolvidos no período de chuvas corroboram os resultados obtidos por Santi *et al.* (2012) na microbacia hidrográfica do igarapé São Francisco; e também confirmam os resultados obtidos por Franco e Hernandez (2012) em estudo realizado na microbacia do rio Coqueiro, no estado de São Paulo. Para Silva *et al.* (2008), os valores de turbidez se relacionam à precipitação, principalmente em solos cujo uso e ocupação interfiram na qualidade da água. Assim, a precipitação deve contribuir para a oscilação nos valores de turbidez no período chuvoso.

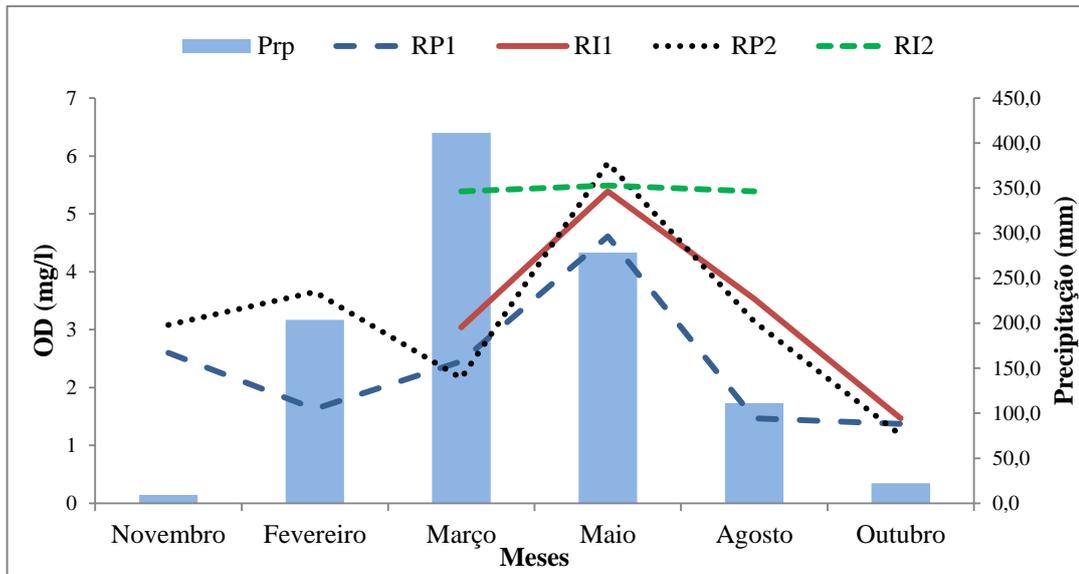
A concentração de oxigênio dissolvido (OD) variou entre 0 e 5,88 mg/l, e apresentou maiores valores no período chuvoso (março e maio) (figuras 19 e 20). Somente o RI1 (em maio), o RP2 (em maio) e o RI2 (em março, maio e agosto) apresentaram valores maiores que 5 mg/L, referência determinada pela legislação já mencionada (figura 20). A nascente N1 obteve OD igual a 0 no mês de agosto (figura 19). Em *situ*, foi verificado acúmulo de grande quantidade de matéria orgânica na água, o que pode ter sido um importante fator para a determinação desse resultado. Nos rios, a maior concentração de OD foi em maio, período em que apresentaram maior cota e, portanto, maior turbulência, o que favorece a aeração dos corpos hídricos.

Figura 19. Variação sazonal do Oxigênio Dissolvido na água (OD) em nascentes.



Fonte: autora.

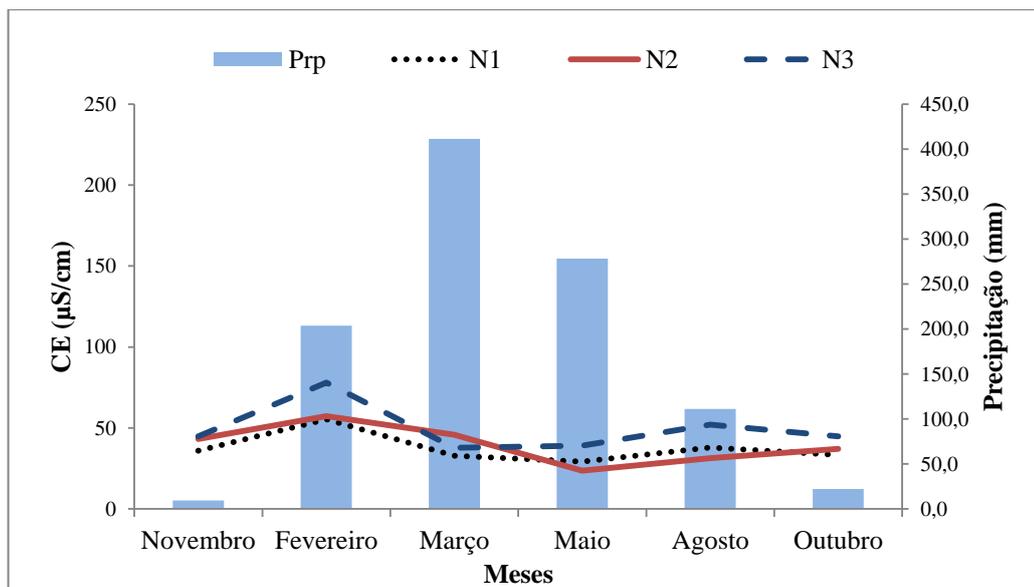
Figura 20. Variação sazonal do Oxigênio Dissolvido na água (OD) em rios.



Fonte: autora.

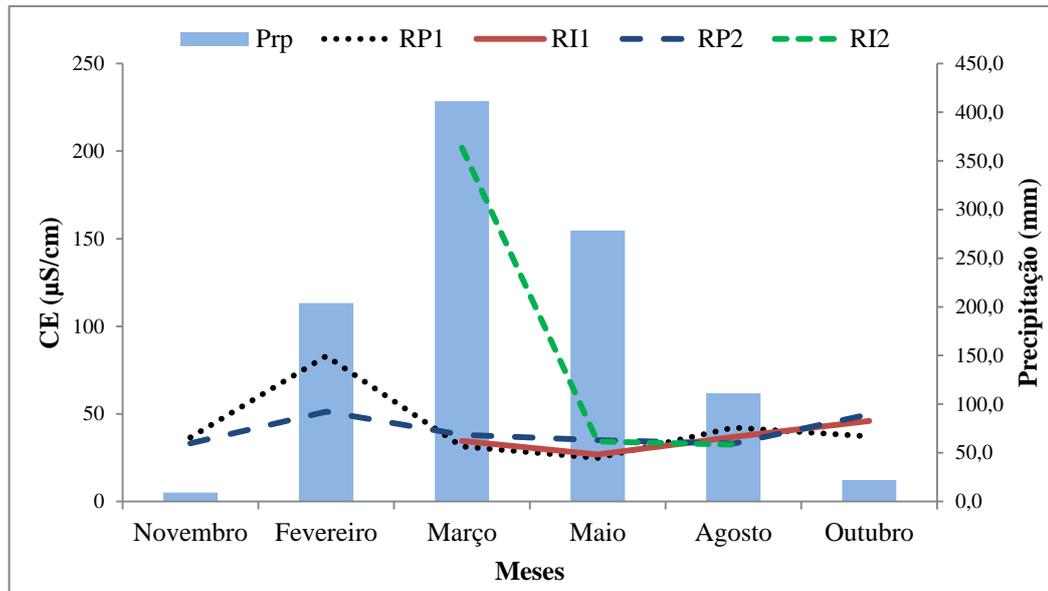
A condutividade em águas superficiais variou de 31,3 a 202  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . De modo geral, o mês de fevereiro apresentou os maiores valores de condutividade (figuras 21 e 22), possivelmente isso está relacionado ao início do escoamento superficial gerado pelo excedente hídrico do solo, o qual carrega compostos provenientes do solo e das atividades humana em direção aos rios. Já os menores valores ocorreram nos meses de março e maio, com exceção de RI2, que apresentou menores valores em março (figura 22).

Figura 21. Variação sazonal da condutividade elétrica (CE) em nascentes.



Fonte: autora.

Figura 22. Variação sazonal da condutividade elétrica (CE) em rios.

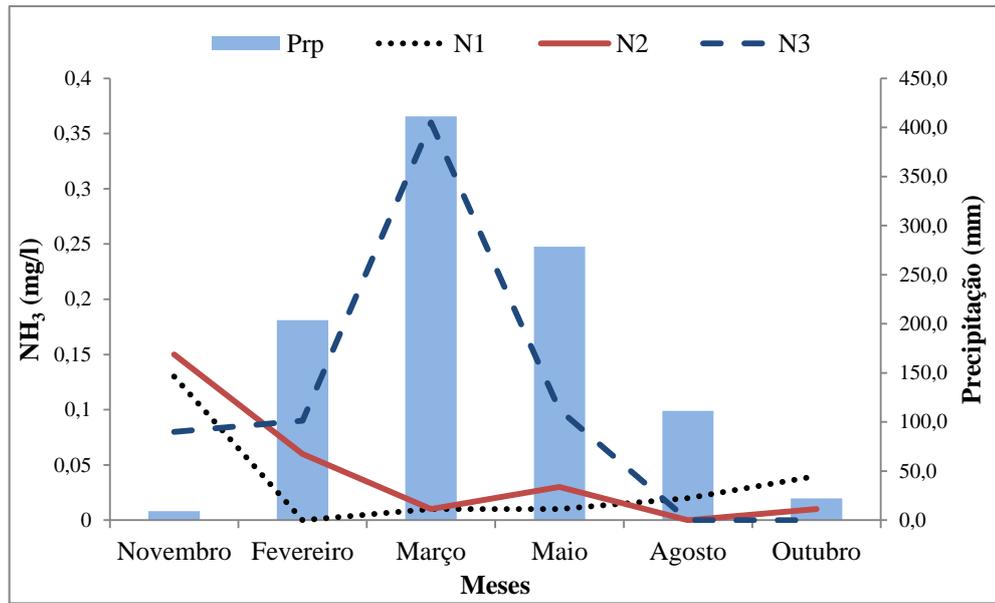


Fonte: autora.

Em relação à temperatura da água, as variações ficaram entre 26,6°C e 29,9°C, com as maiores temperatura no período menos chuvoso, momento no qual se dão os menores volumes de chuvas e maiores temperaturas do ar, fatores que favorecem o maior aquecimento das águas.

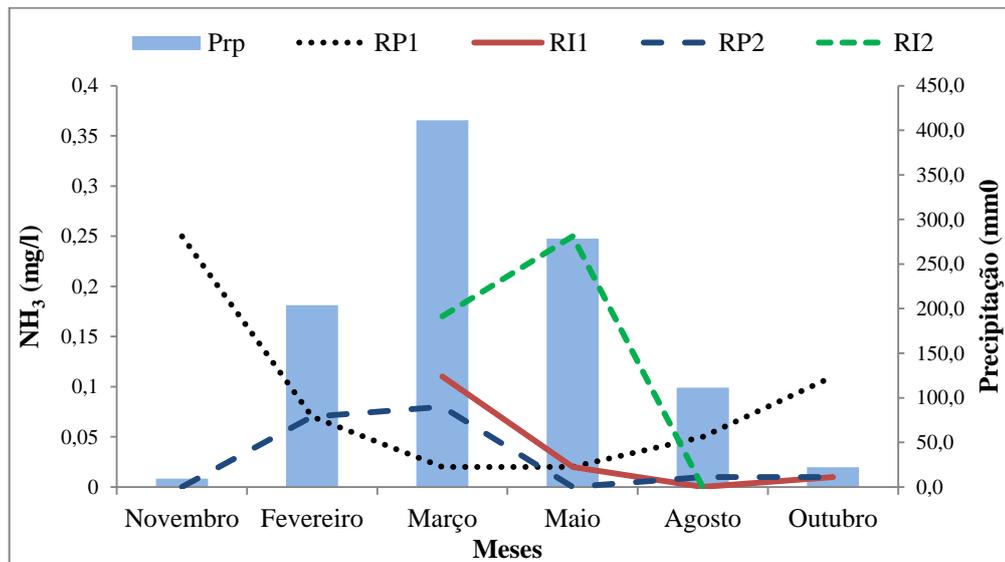
Os pontos amostrais na área do lixão, N3, RP2 e RI2, tiveram maiores concentrações de amônia no período de chuvas (figuras 23 e 24), o que indica maior lixiviação de compostos orgânicos – possivelmente, em parte, provenientes do lixão – para os rios e nascentes nesse período. Já os pontos N1, N2 e RP1, a montante do lixão, apresentaram concentrações mais elevadas em novembro, período menos chuvoso. Quando comparada aos demais pontos, a nascente N3, no mês de março, apresentou a maior concentração de amônia.

Figura 23. Variação sazonal da amônia (NH<sub>3</sub>) em nascentes.



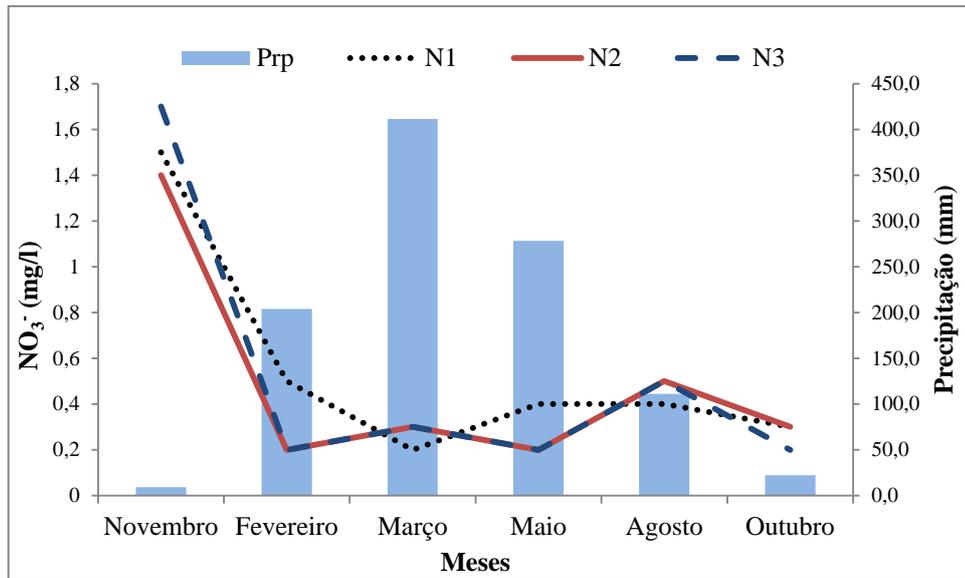
Fonte: autora.

Figura 24. Variação sazonal da amônia (NH<sub>3</sub>) em rios.

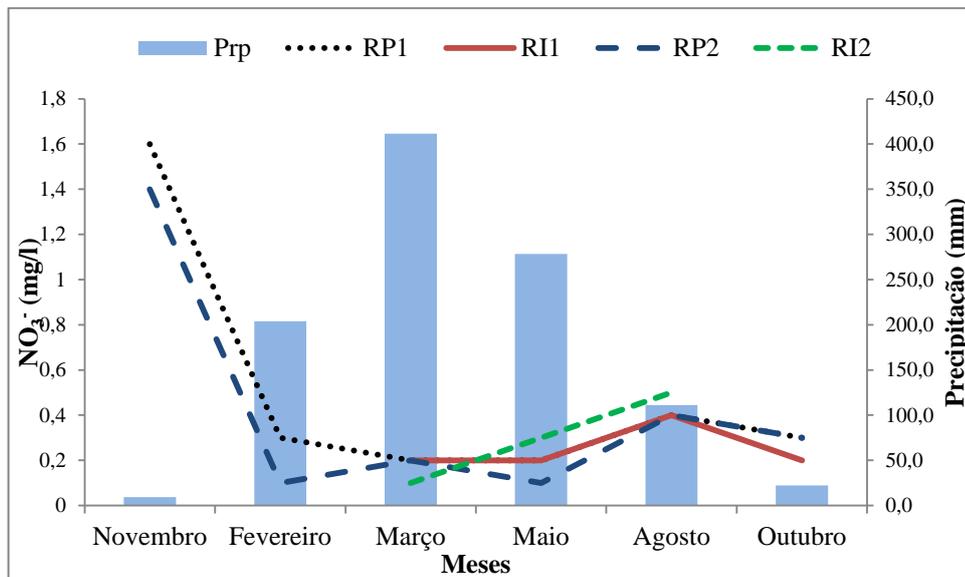


Fonte: autora.

A concentração de nitrato variou de 0,1 a 1,7 mg/l, e obteve os maiores valores no mês de novembro, tanto nas nascentes como nos rios (figuras 25 e 26). De modo geral, o período menos chuvoso apresentou concentrações mais elevadas e as amostras, tanto a montante quanto a jusante do lixão, não diferiram substancialmente na concentração do nitrato.

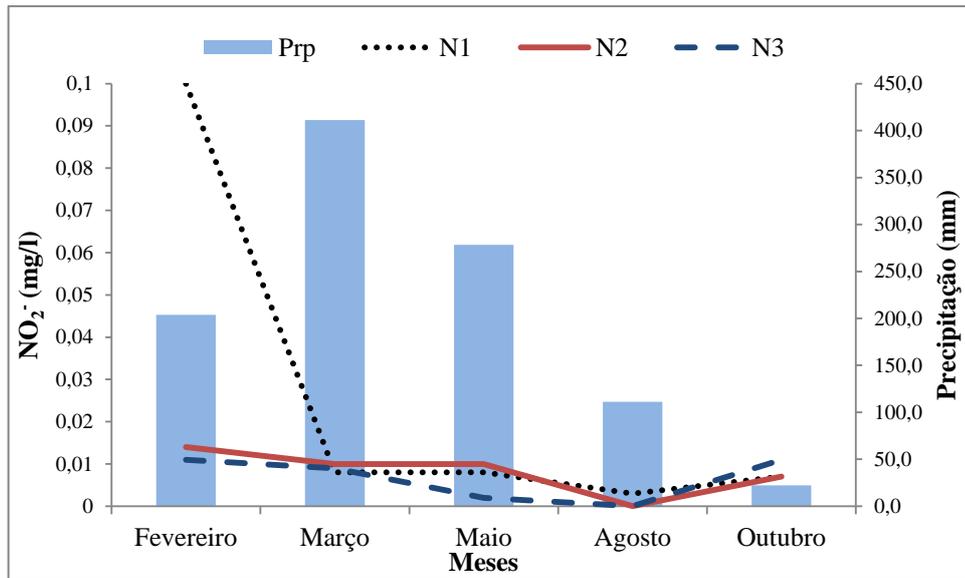
Figura 25. Variação sazonal do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) em nascentes.

Fonte: autora.

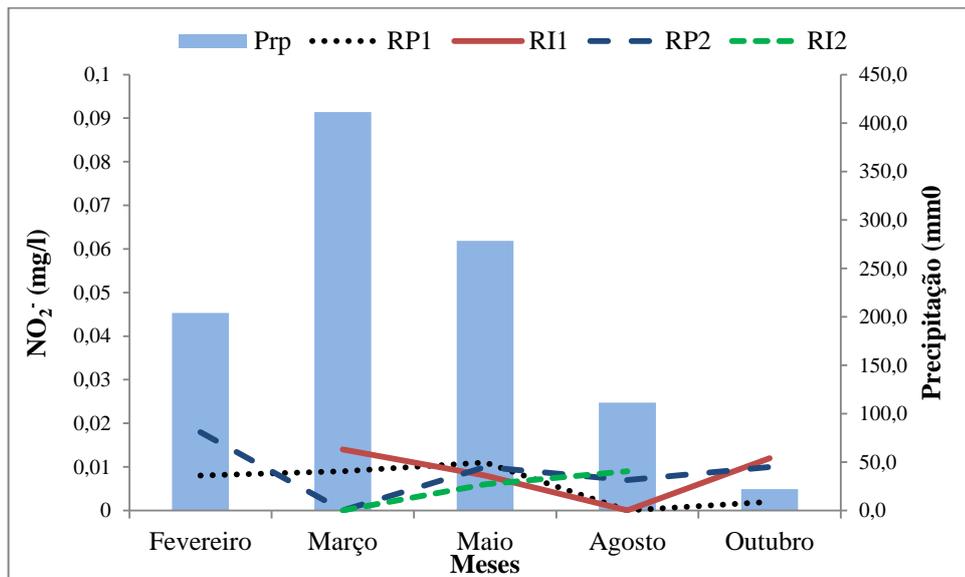
Figura 26. Variação sazonal do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) em rios.

Fonte: autora.

Quanto à concentração de nitrito, todas as amostras obtiveram valores inferiores aos máximos permitidos pela legislação, sendo o maior valor encontrado, de 0,1 mg/L, na nascente N1 (figura 27). O nitrito não demonstrou sazonalidade nítida (figuras 27 e 28). O ponto N1 apresentou, em novembro, a maior concentração de nitrito quando comparado aos demais pontos (figura 27). A observação em campo revelou alta concentração de matéria orgânica e folhas na água, o que pode ter influenciado nesse resultado, como também na concentração de nitrato.

Figura 27. Variação do nitrato ( $\text{NO}_2^-$ ) em nascentes.

Fonte: autora.

Figura 28. Variação do nitrato ( $\text{NO}_2^-$ ) em rios.

Fonte: autora.

A amônia, o nitrato e o nitrito apresentaram concentrações abaixo do esperado para uma área de lixão, uma vez que elevadas quantidades de matéria orgânica são facilmente encontradas nesses ambientes. A alta concentração de compostos nitrogenados foi encontrada por Rocha e Horbe (2006) no aquífero de Alter do Chão, em Manaus, em área de lixão, fator que ajudou a classificar esse aquífero como inadequado para consumo humano em virtude da contaminação da água.

A análise bacteriológica em águas superficiais está expressa na tabela 4. Com exceção do ponto RP2, em fevereiro, todas as demais amostras apresentaram coliformes totais. Mesmo com diluição de 10/100 ml, a amostra do ponto N3 (em fevereiro) apresentou placa com tal densidade de colônias que não foi possível realizar contagem, devido à sobreposição das colônias.

Tabela 4. Contagem de colônia de Coliformes Totais (CT) e *Escherichia coli* em UFC/100 ml em amostras de águas superficiais.

		Amostras superficiais						
		N1	RP1	N2	RI1	N3	RP2	RI2
Nov	CT	65	10	163		296	401	
	<i>E. coli</i>	11	11	20		0	0	
Fev	CT	2	2	42		Incontáveis	0	
	<i>E. coli</i>	54	6	2		6	0	
Mar	CT	750	730	320	1280	190	220	1660
	<i>E. coli</i>	340	170	0	80	250	140	110
Mai	CT	380	680	130	120	590	560	1120
	<i>E. coli</i>	200	350	30	330	210	1520	510
Ago	CT	70	100	310	210	1010	430	610
	<i>E. coli</i>	0	0	0	30	10	10	70
Out	CT	200	160	200	710	4090	1890	
	<i>E. coli</i>	10	260	0	0	10	0	

Fonte: autora.

As amostras de águas superficiais RI1, N3, RP2 e RI2, praticamente todos esses pontos localizados na área do lixão, obtiveram maior densidade de colônias quando comparadas às demais amostras superficiais. Os meses de março e maio apresentaram valores levemente maiores, com exceção do ponto N3 (fevereiro e outubro) e do ponto RP2 (outubro). Oliveira (2012), ao estudar a qualidade do rio Poti, em Teresina, encontrou relação semelhante entre o aumento da densidade dos coliformes termotolerantes e o período de chuvas.

A Resolução CONAMA já referida não explicita valores máximos para coliformes, mas estabelece o máximo de 1.000 UFC/100 ml de coliformes termotolerantes ou *E. coli*, no caso de águas doces classe 2. Com base nisso, somente a amostra superficial RP2 (em maio) obteve valor acima do VMP determinado pela legislação (tabela 4).

Medeiros *et al.* (2008) encontraram evidências de contaminação na água superficial em mananciais próximos ao lixão de Engenheiro Coelho, em São Paulo, por meio do aumento

crecente do número de colônias de coliformes totais e heterotróficos no sentido montante- jusante do lixão. Contudo, não é possível observar de forma nítida essa mesma tendência na concentração de coliformes em Cuiarana, pois tanto a região a montante quanto a área adjacente ao lixão apresentaram altas concentrações de coliformes.

#### 5.2.1.2 Águas subterrâneas

As características dos poços pesquisados estão expressas na tabela 5. De modo geral, trata-se de poços do tipo Amazonas, de pouca profundidade, sem revestimento (exceção para P3) e com significativa variabilidade no nível de água entre os períodos chuvoso e menos chuvoso. Durante o período menos chuvoso, esses poços secam ou quase secam, o que evidencia a grande influência do regime de chuvas no abastecimento e na concentração de compostos e sedimentos desses pontos.

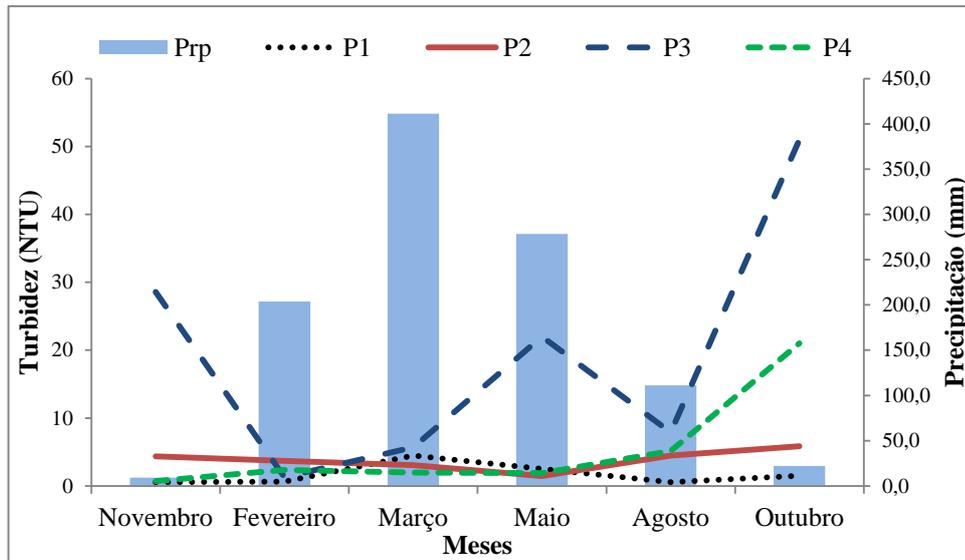
Tabela 5. Características dos poços P1, P2, P3 e P4.

Características	P1	P2	P3	P4
<b>Tipo</b>	Amazonas	Amazonas	Amazonas	Amazonas
<b>Profundidade</b>	8,15 m	6,3 m	3,6 m	4,6 m
<b>Altura da abertura</b>	-	1 m	0,20 m	0,55 m
<b>Revestimento</b>	Não	Não	Não	Não
<b>Distância da fossa</b>	21,5 m	16 m	17 m	18,5 m
<b>Nível médio</b>	5 m	3 m	2,3 m	2,8 m

Fonte: autora.

A turbidez variou de 0,54 a 51 NTU em águas subterrâneas. Os poços P2, P3 e P4 apresentaram turbidez acima do valor máximo permitido (figura 29), sobretudo P3 que obteve uma única amostra (fevereiro) com turbidez abaixo de 5 NTU, além de obter os maiores valores medidos (28,6 e 51 NTU), mesmo quando comparado às águas superficiais. O poço P4 também obteve altos valores nos meses de agosto e outubro (5,13 e 21 NTU, respectivamente). Ambos os poços se localizam na área do lixão. De maneira geral, os poços apresentaram maior turbidez no período menos chuvoso, o que pode ser explicado devido à diminuição acentuada da água nesse período e ao consequente aumento da concentração de sedimentos. O fato de os poços na área do lixão apresentarem maior turbidez é um indicativo de que eles podem estar sendo influenciados negativamente pela proximidade com o lixão.

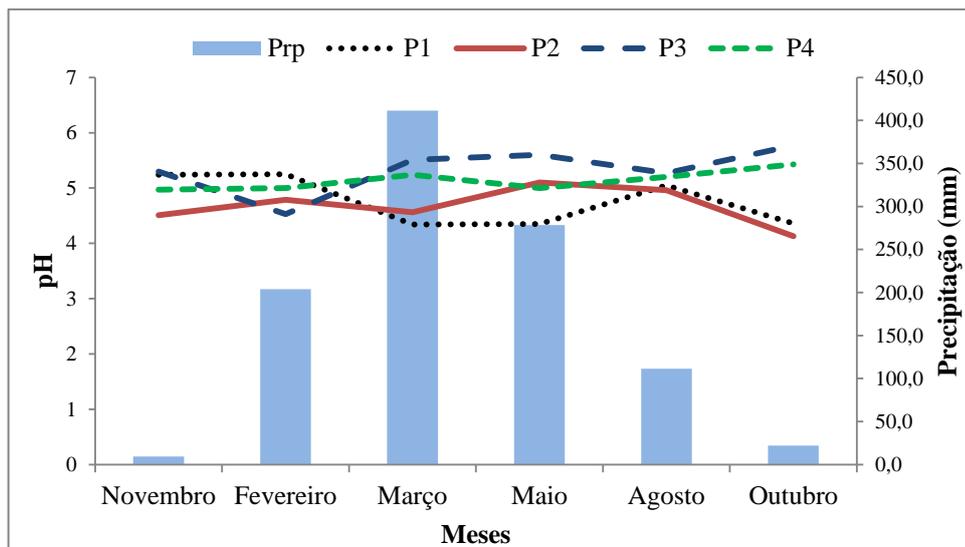
Figura 29. Variação sazonal da turbidez nos poços.



Fonte: autora.

O pH variou entre 4,13 (P2/novembro) e 5,77 (P3/outubro), com valores levemente superiores no ponto P3 em relação aos demais poços (figura 30). De forma semelhante ao que se observou nas águas superficiais, o pH nos poços não apresentou notável variabilidade sazonal e se manteve abaixo de 5. Os pontos a montante e a jusante do lixão também não apresentaram diferenças significativas.

Figura 30. Variação sazonal do pH nos poços.

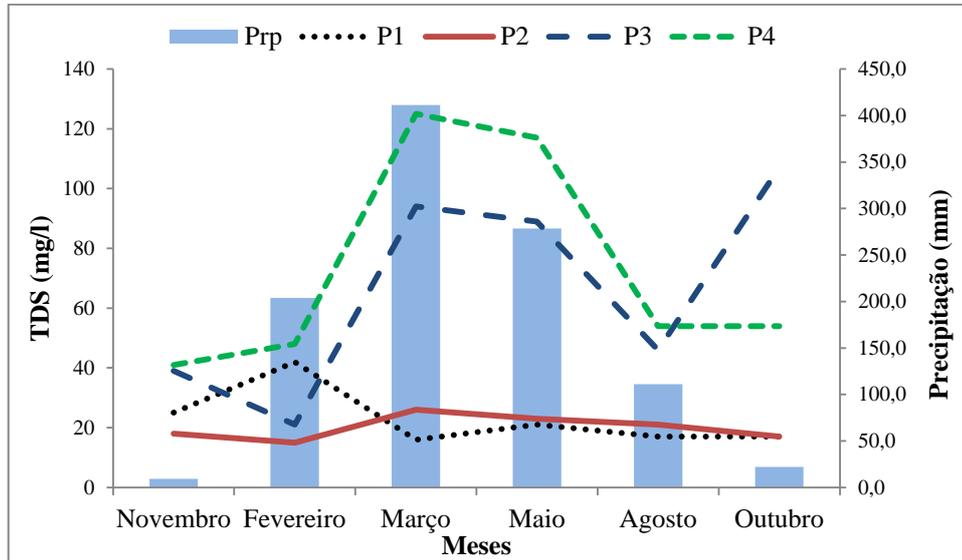


Fonte: autora.

Os sólidos totais dissolvidos obtiveram maiores valores nos meses de chuva (março e maio) (figura 31). Os poços P3 e P4 apresentaram valores superiores aos que foram encontrados em P1 e P2, o que corrobora o trabalho de Athayde Júnior *et al.* (2009), os quais

encontraram concentrações superiores de TDS em poços na região interna do antigo lixão do Roger, em João Pessoa, quando comparados com poços residenciais mais distantes da área do mesmo lixão.

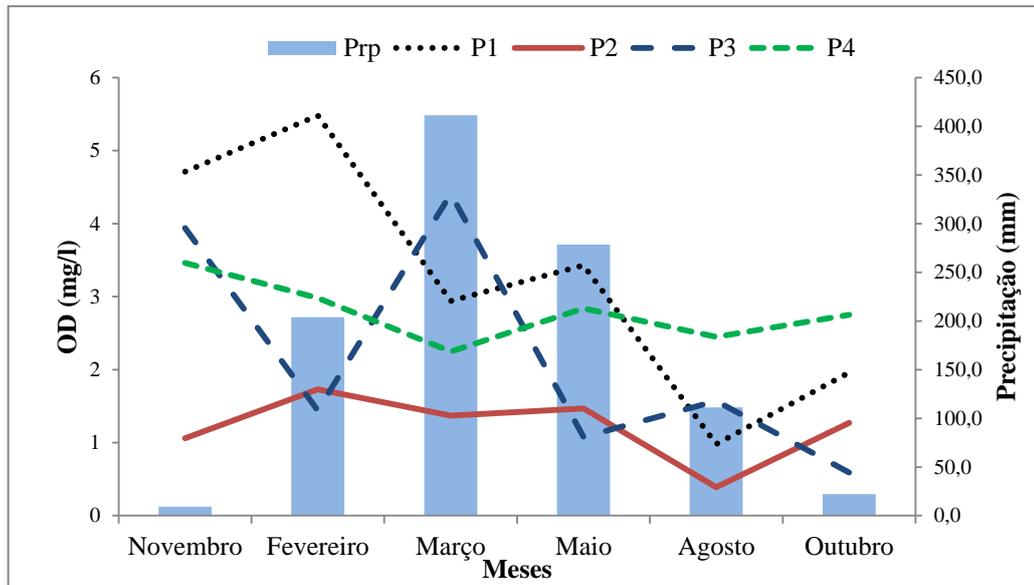
Figura 31. Variação sazonal dos sólidos totais dissolvidos na água (TDS) nos poços.



Fonte: autora.

A concentração de oxigênio dissolvido nos poços variou de 0,39 a 5,48 mg/l. Em média, o período chuvoso apresentou valores levemente superiores (figura 32), com exceção de P4, que obteve valores baixos em março. Apesar do poço P2 estar localizado no sítio Teixeira, área a montante do lixão, ele apresentou os menores valores de oxigênio dissolvido, o que contribui na caracterização dos poços estudados como não adequados ao consumo humano. O poço P1 obteve valores decrescentes de OD no decorrer das campanhas (figura 32), o que pode estar associado ao fato de o poço ficar muito tempo sem manutenção, uma vez que os proprietários só o utilizam em alguns fins de semana. Além disso, esse poço não é mantido adequadamente fechado durante o período de não utilização.

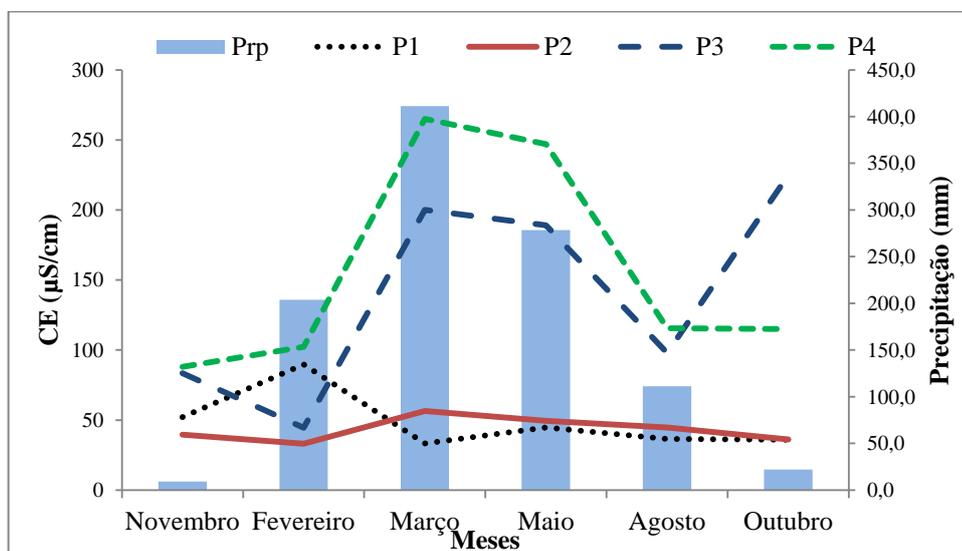
Figura 32. Variação sazonal do oxigênio dissolvido na água (OD) nos poços.



Fonte: autora.

A condutividade elétrica nos poços variou entre 33,2 e 265  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Os maiores valores registrados foram constatados exatamente nos meses de março e maio, em P3 e P4 (figura 33), ambos na área do lixão. Embora a Portaria do Ministério da Saúde e a Resolução do CONAMA não estabeleçam um Valor Máximo Permitido (VMP) para condutividade, a CETESB (2009) classifica como característica de ambientes impactados valores superiores a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nessa perspectiva, somente os poços P3 e P4 estariam em desacordo com esse padrão, uma vez que somente eles apresentaram valores acima de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Figura 33. Variação sazonal da condutividade elétrica (CE) nos poços.

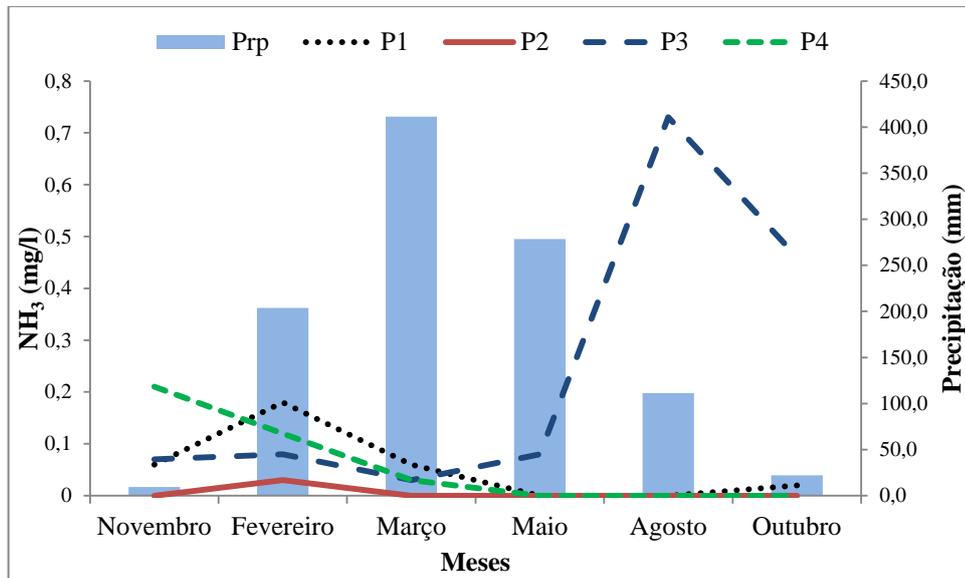


Fonte: autora.

A salinidade, parâmetro intimamente relacionado à condutividade, também só foi detectada em P3 e P4 (0,1‰), o que corrobora a teoria de influência do lixão na qualidade da água dos poços. Em outubro, o poço P4 estava com parte das paredes internas deslocadas, o que influenciou na elevação dos valores medidos da condutividade, dos sólidos totais dissolvidos e da turbidez nesse mês.

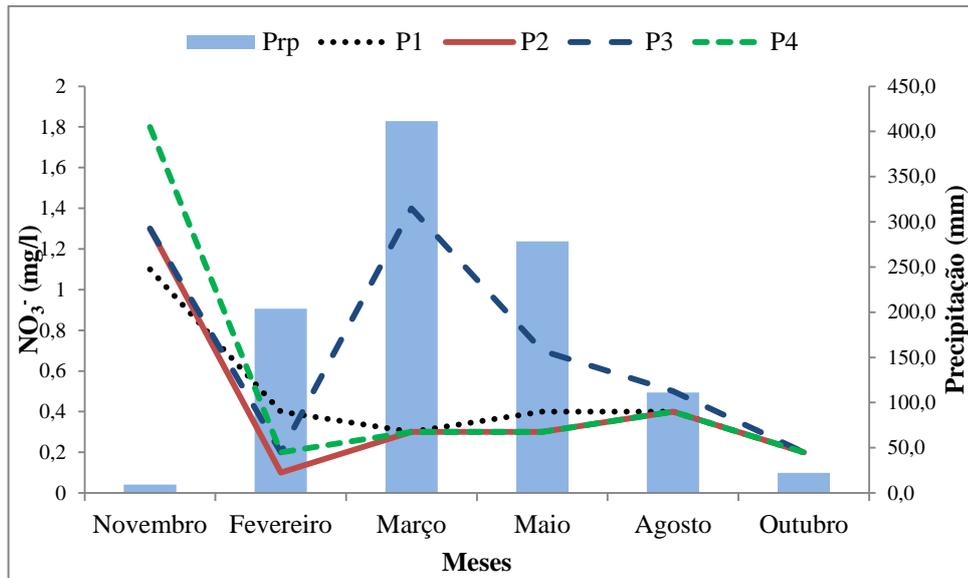
A amônia variou entre 0 e 0,73 mg/l. Contudo, nenhuma das coletas apresentou valores superiores a 1,5 mg/L de amônia, conforme a legislação determina. O poço P3 obteve maiores concentrações quando comparados aos demais (figura 34). Os meses que apresentaram maiores concentrações foram novembro e fevereiro, com exceção do ponto P3, que obteve maiores concentrações em agosto e outubro, meses em que os demais poços apresentaram valores muito baixo, zero ou abaixo do limite de detecção. O poço P3 apresentou os maiores valores quando comparado aos demais, principalmente quando comparado aos pontos de coleta em águas superficiais.

Figura 34. Variação sazonal de amônia (NH<sub>3</sub>) nos poços.



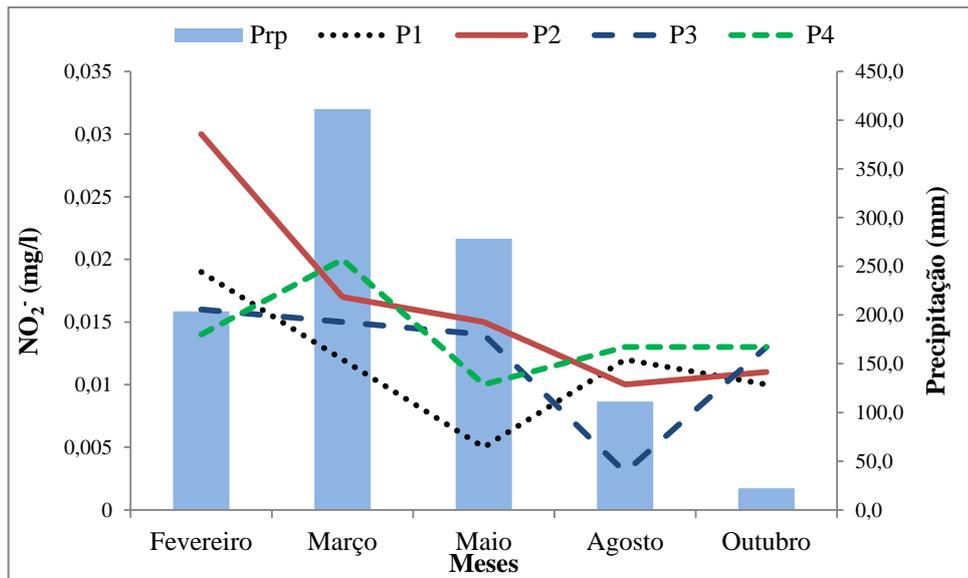
Fonte: autora.

A concentração de nitrato nos poços variou de 0,1 a 1,8 mg/l. De modo análogo ao observado em rios e nascentes, o mês de novembro apresentou as maiores concentrações, com exceção do ponto P3, que apresentou sua maior concentração no mês de março, de modo anômalo quando comparado aos demais pontos amostrais (figura 35).

Figura 35. Variação sazonal do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) nos poços.

Fonte: autora.

Em relação ao nitrito, as concentrações variaram de 0,003 a 0,03 mg/l, com valores levemente superiores no período chuvoso (figura 36). Tanto em águas superficiais quanto em águas subterrâneas, o mês de fevereiro apresentou maiores concentrações. O pico, em águas superficiais, em N1, foi de 0,1 mg/L e, em águas subterrâneas, em P2, foi de 0,03 mg/L.

Figura 36. Variação do nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) nos poços.

Fonte: autora.

A análise bacteriológica em águas subterrâneas está expressa na tabela 6. Com exceção de P2, em outubro, todas as demais amostras apresentaram coliformes totais. Mesmo com diluição de 10/100 ml, as amostras P1 (em fevereiro), P3 (em novembro) e P4 (em outubro) apresentaram placas com sobreposição das colônias, sendo, assim, consideradas como incontáveis.

Tabela 6. Contagem de colônias de Coliformes Totais (CT) e *Escherichia coli* em UFC/100 ml em amostras de águas superficiais e subterrâneas.

		Amostras subterrâneas			
		P1	P2	P3	P4
Nov	CT	159	32	Incontáveis	69
	<i>E. coli</i>	0	0	0	0
Fev	CT	Incontáveis	28	78	120
	<i>E. coli</i>	20	14	0	18
Mar	CT	210	780	240	200
	<i>E. coli</i>	930	20	300	1610
Mai	CT	1420	2190	380	180
	<i>E. coli</i>	30	0	40	270
Ago	CT	160	1300	560	270
	<i>E. coli</i>	0	0	40	30
Out	CT	150	0	150	Incontáveis
	<i>E. coli</i>	520	0	0	Incontáveis

Fonte: autora.

Os meses de maior concentração de colônias foram março, maio e agosto; com exceção de P3, em novembro; de P1, em fevereiro; e de P4, em outubro. De modo geral, o período chuvoso apresentou maior densidade de colônias de coliformes e *E. coli*, resultado explicado devido ao maior carregamento de poluentes no período de chuvas.

Segundo a Portaria n.º 2.914/2011, do Ministério da Saúde, as águas de consumo humano não devem apresentar presença de coliformes totais e *E. coli*. Desse modo, todas as amostras, com exceção de P2, no mês de outubro, estiveram em desconformidade com a referida portaria.

No mês de outubro, o poço P4 teve parte das paredes internas deslocadas, o que pode ter influenciado na alta densidade encontrada tanto de coliformes quanto de *E. coli* neste poço. Somente a presença e a densidade de coliformes não é determinante para estabelecer relação entre a contaminação das águas e proximidade do lixão, embora seja um parâmetro

essencial para avaliação da qualidade da água, sobretudo a de consumo. As presenças de fossas próximas aos poços contribuem com certeza para essa contaminação.

### **5.2.2 Concentração de metais em águas superficiais e subterrâneas**

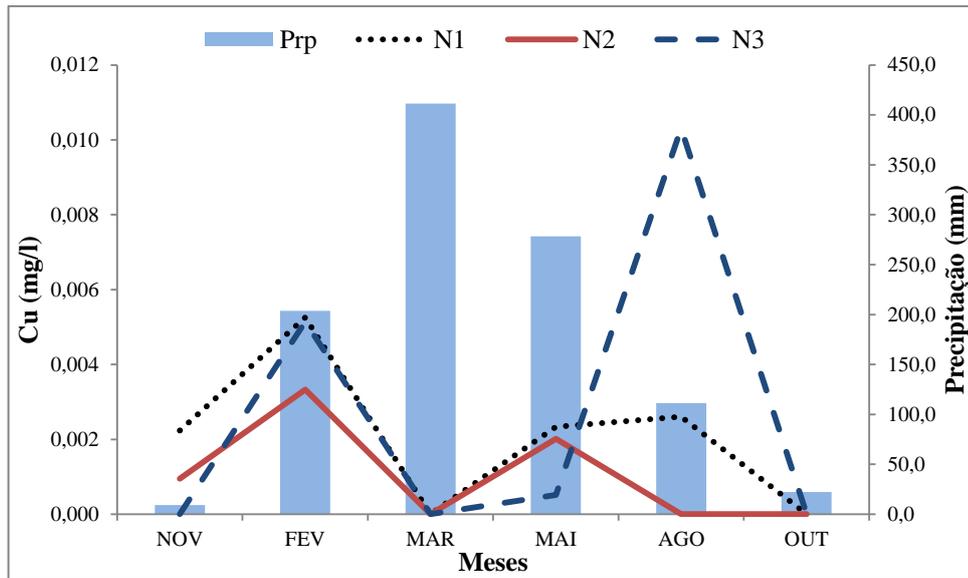
As concentrações de metais encontradas em águas superficiais e águas subterrâneas estão dispostas nos Apêndices F e G. Os metais cromo, manganês, níquel e zinco não apresentaram valores acima do máximo permitido pela legislação. O cromo obteve maiores concentrações nos meses de fevereiro e março nas águas superficiais e nos poços. Já os valores inferiores foram constatados no mês de agosto. No entanto, Mn, Ni e Zn não apresentaram variabilidade sazonal. O manganês obteve maiores concentrações nos poços P3 e P4. A maior concentração de níquel (0,009 mg/l) foi encontrada em N1, em agosto. O zinco em águas superficiais obteve amostras com maiores concentrações nos meses de novembro, fevereiro e maio, com pico em RP2, em fevereiro. O mês de fevereiro também apresentou maiores concentrações em águas subterrâneas.

#### **5.2.2.1 Concentração de metais em águas superficiais**

O cobre apresentou valores abaixo do limite de detecção nas amostras dos meses de março e outubro. Somente a amostra N3, no mês de agosto, apresentou valores superiores (0,010 mg/l) ao máximo permitido pelo CONAMA (0,009 mg/l). O mês de março apresentou as menores concentrações de cobre, tanto em nascentes como nos rios (figuras 37 e 38). As amostras N1, RP1 e N2 obtiveram valores levemente maiores quando comparadas às demais amostras.

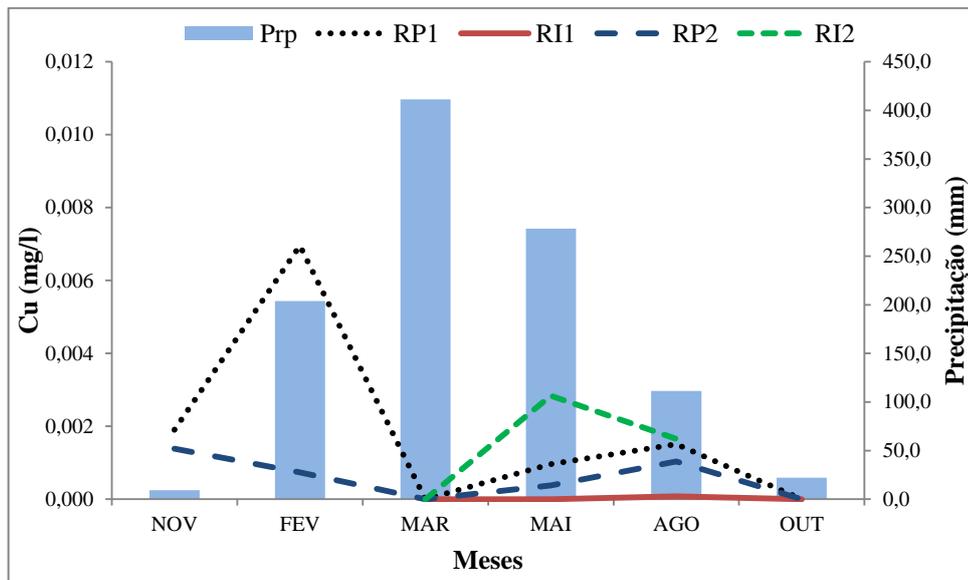
A concentração de cobre em N3, no mês de agosto, pode ser considerada uma anomalia, o que fundamenta a hipótese de uma influência local, pois a nascente se encontra em uma área de declive do terreno, o que favorece a lixiviação de materiais para a água. Segundo Casarini *et al.* (2001), o cobre pode ser encontrado naturalmente no solo, em fios elétricos, ligas metálicas, tintas, tubulações hidráulicas, algicidas e fungicidas. Desse modo, o uso do solo nas proximidades da nascente pode interferir na qualidade da água.

Figura 37. Variação sazonal da concentração de cobre (Cu) nas nascentes.



Fonte: autora.

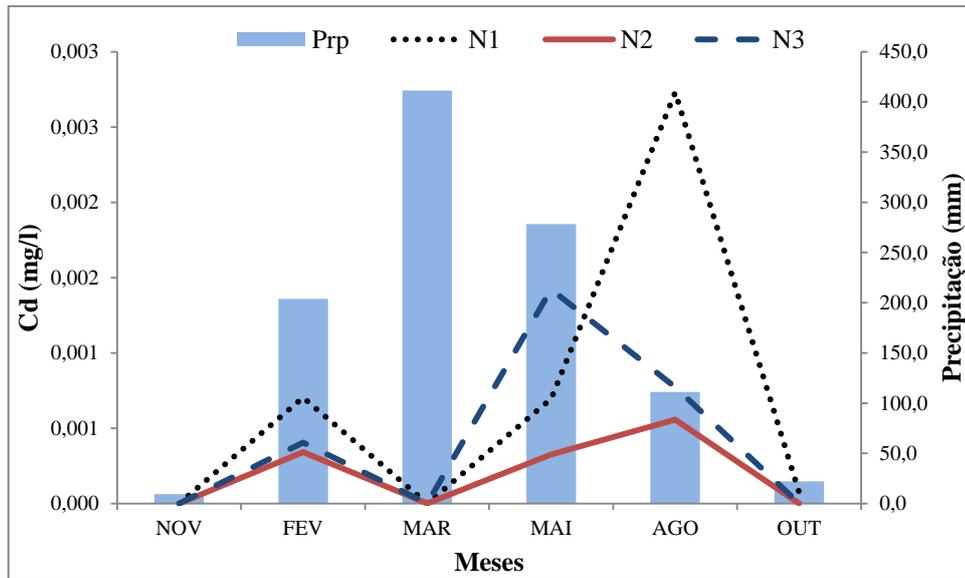
Figura 38. Variação sazonal da concentração de cobre (Cu) nos rios.



Fonte: autora.

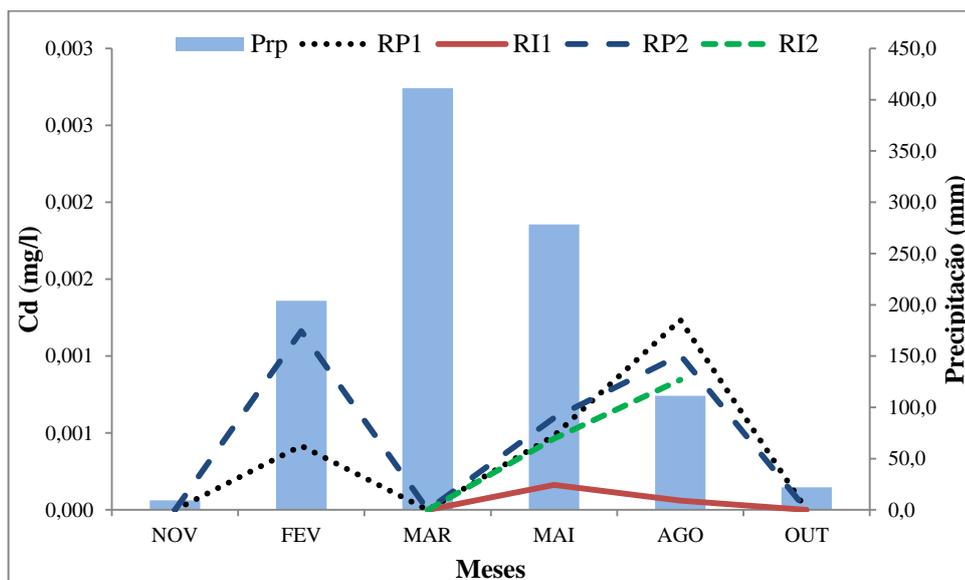
O cádmio apresentou uma única amostra acima do VMP (0,001 mg/l), o ponto N1, no mês de agosto (figura 39). O mês de agosto apresentou o maior número de amostras com cádmio (figuras 39 e 40), com valores bem próximos ao máximo recomendado. Somente o ponto RI1 não obteve traços de Cd em agosto. Os meses de novembro, março e outubro não apresentaram amostras positivas para Cd. Tanto em pontos a montante quanto em pontos a jusante do lixão, as concentrações de Cd foram semelhantes, exceto em N1.

Figura 39. Variação sazonal da concentração de cádmio (Cd) nas nascentes.



Fonte: autora.

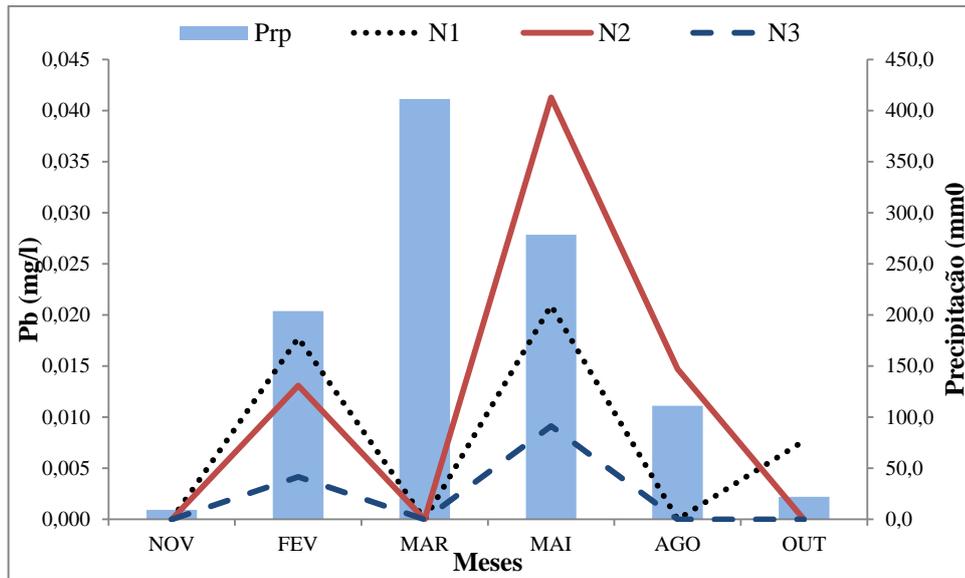
Figura 40. Variação sazonal da concentração de cádmio (Cd) nos rios.



Fonte: autora.

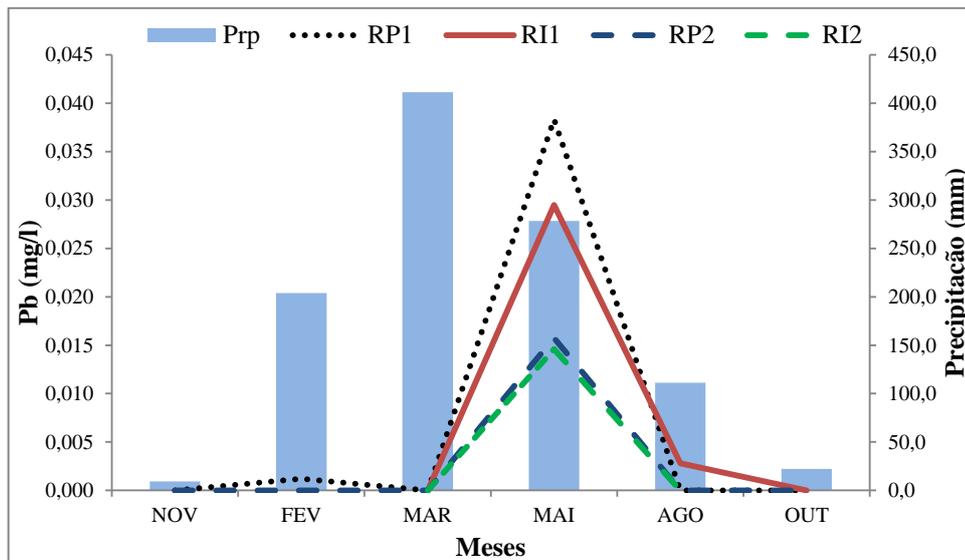
Com relação ao chumbo, somente os meses de fevereiro, maio e agosto apresentaram valores acima do VMP (0,01mg/l), sendo o mês de maio o mais significativo, tanto nas nascentes como nos rios (figuras 41 e 42). Os pontos que apresentaram mais amostras com elevadas concentrações de Pb foram as nascentes N1 e N2 e os rios RP1 e RI1, todos localizados a montante da área do lixão.

Figura 41. Variação sazonal da concentração de chumbo (Pb) nas nascentes.



Fonte: autora.

Figura 42. Variação sazonal da concentração de chumbo (Pb) nos rios.



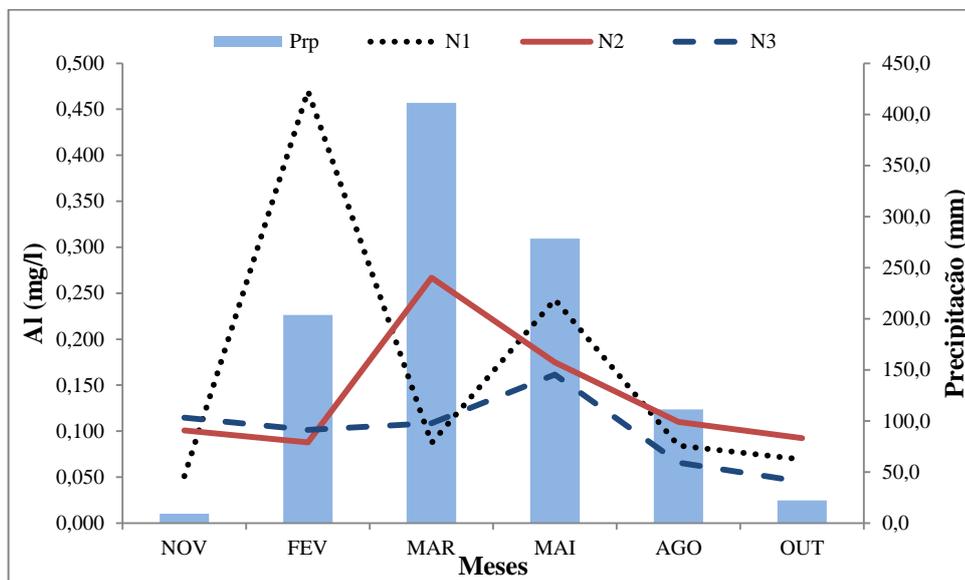
Fonte: autora.

A maior concentração de chumbo a montante do lixão pode ter ocorrido devido à dispersão das partículas de Pb através do ar, o que é resultante da incineração de materiais compostos de chumbo no lixão. Segundo a World Health Organization (1989), essa é principal forma de dispersão do metal, o qual pode permanecer em suspensão durante dias no ar, podendo ser carregado pela chuva e contaminar água e solo. A região costeira de Salinópolis se caracteriza por ventos de nordeste durante todo o ano, com maiores velocidade

no período menos chuvoso, com média de 4,36 m/s (PEREIRA *et al.*, 2012), o que ajuda a corroborar a hipótese de dispersão de chumbo via aérea em direção ao sítio Teixeira.

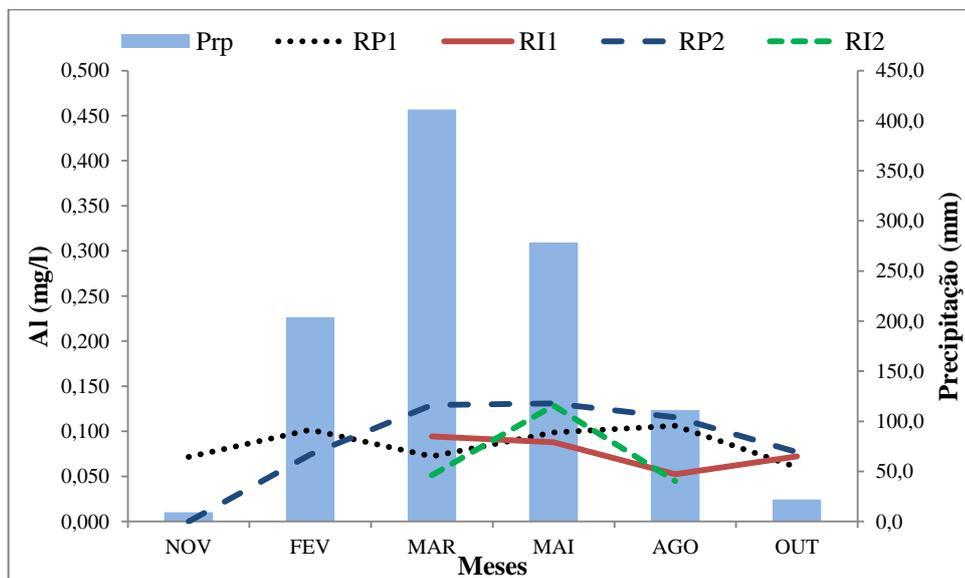
O alumínio obteve concentrações acima do valor máximo permitido na maioria dos pontos de coleta, com exceção de RI1. As nascentes apresentaram concentrações superiores às encontradas nos rios. O maior valor encontrado foi de 0,470 mg/l, em N1, no mês de fevereiro. Em geral, os meses de março e maio obtiveram valores levemente superiores em relação aos demais, o que demonstra a influência das chuvas na concentração de Al.

Figura 43. Variação sazonal da concentração de alumínio (Al) nas nascentes.



Fonte: autora.

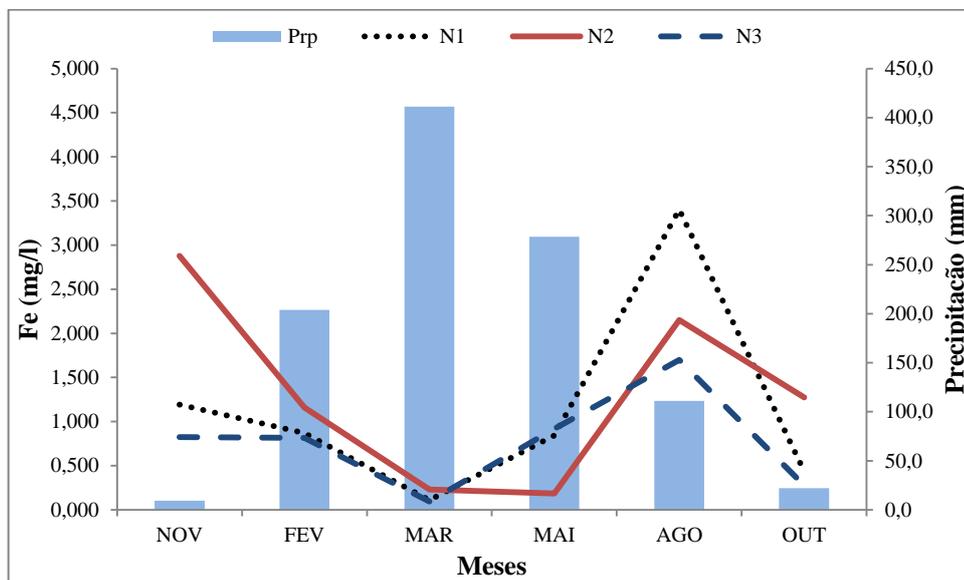
Figura 44. Variação sazonal da concentração de alumínio (Al) nos rios.



Fonte: autora.

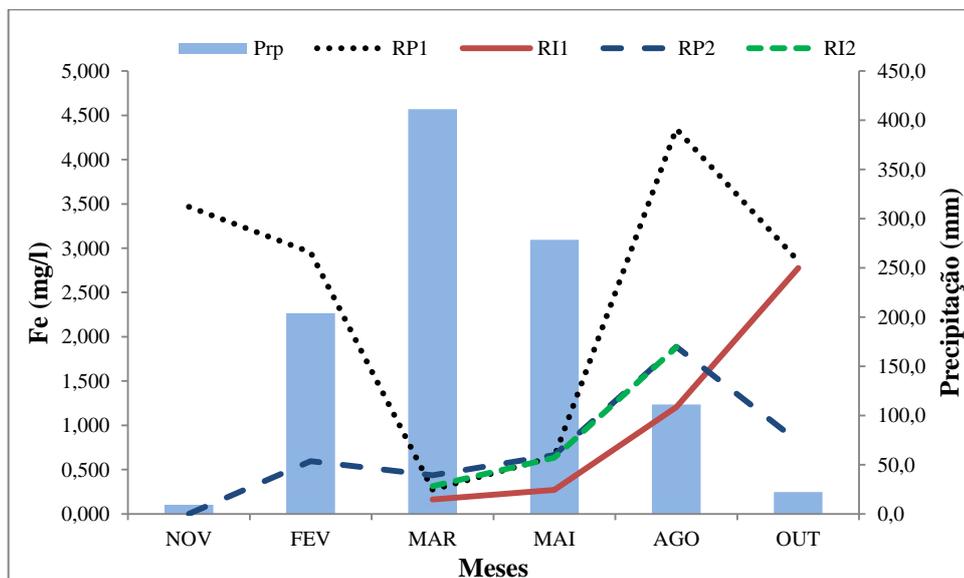
O ferro obteve valores acima do VMP em todos os meses, embora os meses de março e maio tenham obtido valores menores, em um momento que corresponde ao período chuvoso (figuras 45 e 46). Em março, a maioria das amostras obtiveram valores abaixo do VMP (exceção para RP2 e RI2). Já em fevereiro e agosto, todas as amostras apresentaram valores acima do VMP. As concentrações elevadas no período menos chuvoso estão relacionadas ao menor nível de rios e nascentes nesse período. A maior concentração encontrada foi de 4,347 mg/l, em RP1, no mês de agosto.

Figura 45. Variação sazonal da concentração de ferro (Fe) nas nascentes.



Fonte: autora.

Figura 46. Variação sazonal da concentração de ferro (Fe) nos rios.



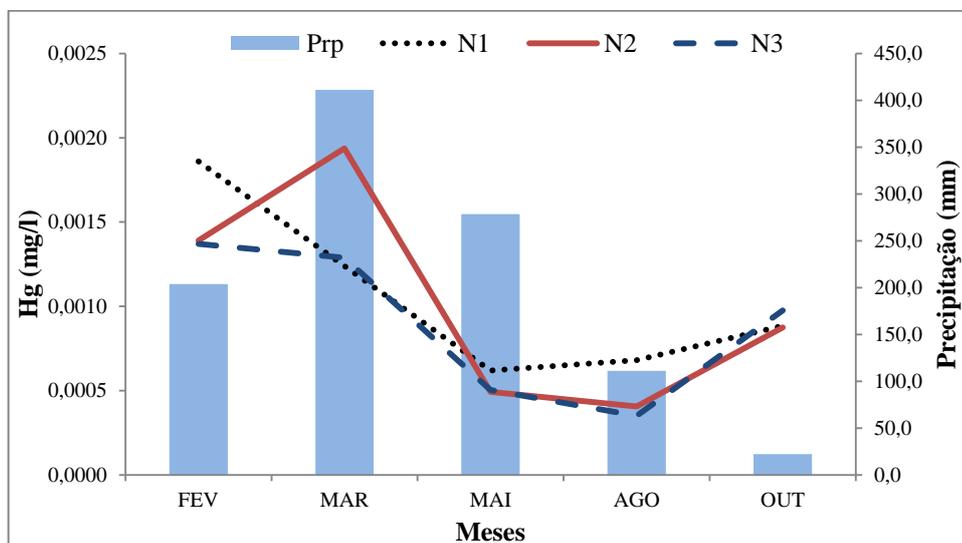
Fonte: autora.

Lopes, Brigante e Schalch (2007) também encontraram altos valores de ferro e alumínio e baixas concentrações de oxigênio dissolvido em águas superficiais e subterrâneas em área impactada pelo aterro de São Carlos, em São Paulo. Cesar *et al* (2011) encontraram relação na variabilidade da concentração de alumínio e ferro em sedimentos no rio Piabanha, no estado do Rio de Janeiro, o que os levou a concluir a possível existência de um ciclo geoquímico comum para esses metais. Esse ciclo está associado a ambientes tropicais submetidos a intenso intemperismo químico. Embora o ferro e o alumínio não tenham demonstrado uma variabilidade similar nos pontos de amostragem em Cuiarana, ambos se apresentaram em concentrações mais elevadas que as de todos os demais metais.

Segundo Marmontel e Rodrigues (2015), a preservação das matas ciliares em torno de rios e, sobretudo, em nascentes favorece a boa qualidade da água nesses ambientes. Por exemplo: as altas concentrações de ferro e alumínio em nascentes e rios podem estar associadas ao fato de esses corpos hídricos não possuírem mata ciliar preservada, o que facilita o carreamento dos metais do solo para a água. Segundo Emmett *et al.* (1994), a vegetação de mata ciliar em uma bacia hidrográfica reduz a concentração de alumínio total em 21% e de ferro em 54%.

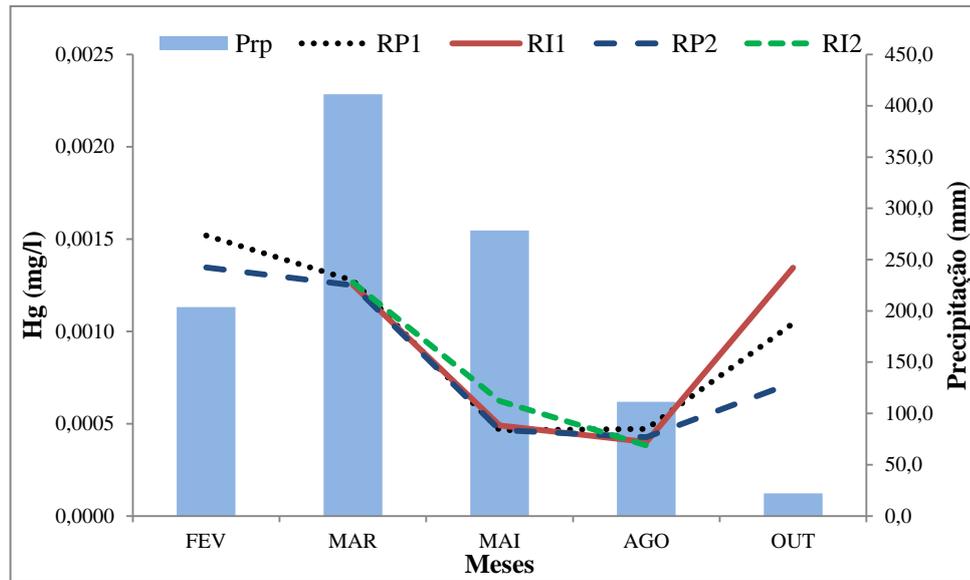
Em relação ao mercúrio, todas as amostras superficiais estavam acima do VMP (0,0002 mg/l) definido pela Resolução CONAMA. Os meses com menores concentrações foram os de maio e agosto. Já fevereiro e março apresentaram os maiores valores (figuras 47 e 48). Tanto os pontos a montante quanto os pontos a jusante do lixão apresentaram comportamentos similares no decorrer das coletas.

Figura 47. Variação sazonal da concentração de mercúrio (Hg) nas nascentes.



Fonte: autora.

Figura 48. Variação sazonal da concentração de mercúrio (Hg) nos rios.

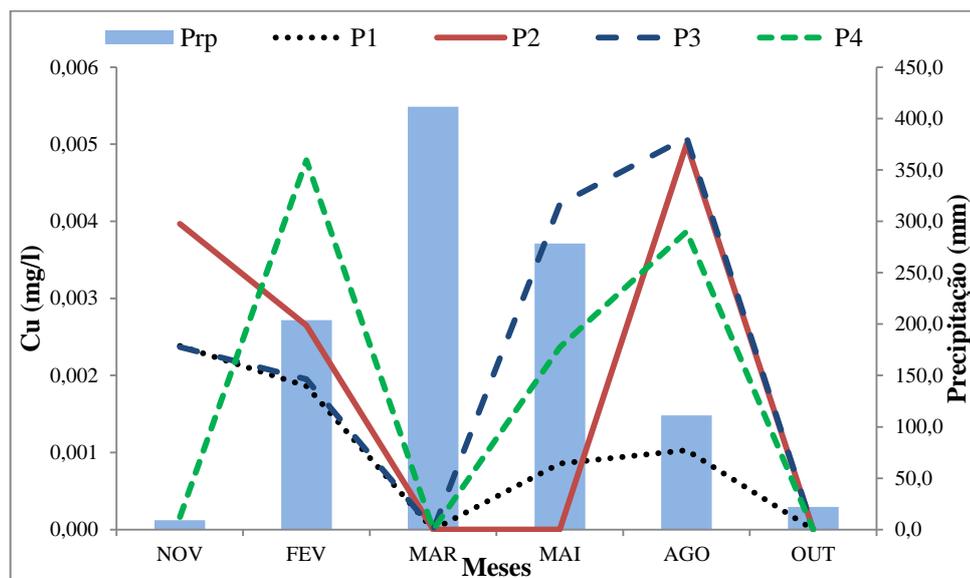


Fonte: autora.

#### 5.2.2.2 Concentração de metais em águas subterrâneas

O cobre apresentou distribuição temporal semelhante à constatada em águas superficiais, estando abaixo do limite de detecção nas amostras dos meses de março e outubro; com maiores concentrações nos meses de fevereiro, maio e agosto (figura 49). O poço P1 obteve valores levemente inferiores quando comparado aos demais pontos amostrais.

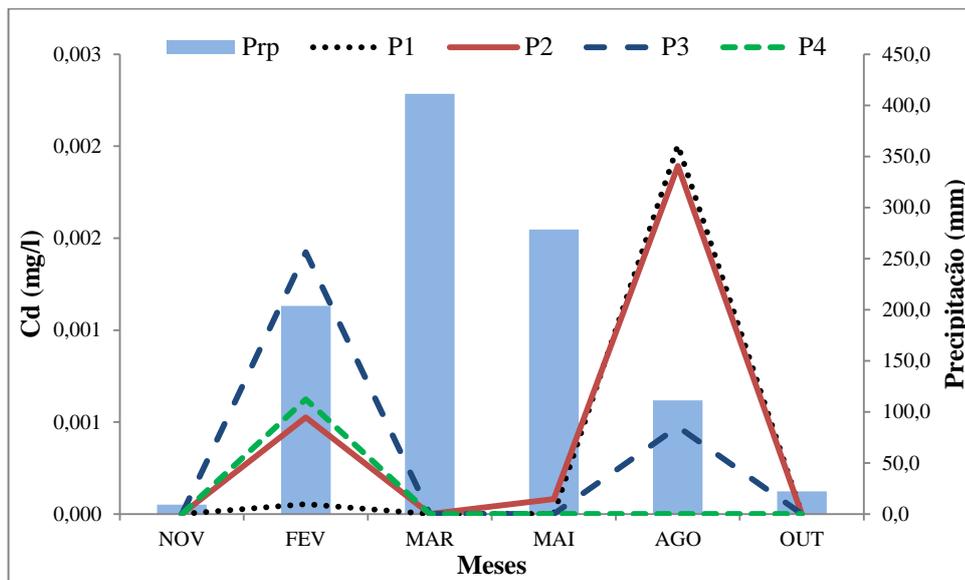
Figura 49. Variação sazonal da concentração de cobre (Cu) nos poços.



Fonte: autora.

Os meses de novembro, março e outubro não apresentaram amostras positivas para cádmio (figura 50). Nos poços, somente os meses de fevereiro, março (uma única amostra) e agosto obtiveram valores positivos para Cd, sendo o mês de agosto o que apresentou maiores valores. Nenhuma amostra excedeu o VMP determinado pela Portaria n.º 1.294/2011 (0,005 mg/l). Entretanto, os poços P1 e P2 apresentaram maiores concentrações quando comparados aos demais.

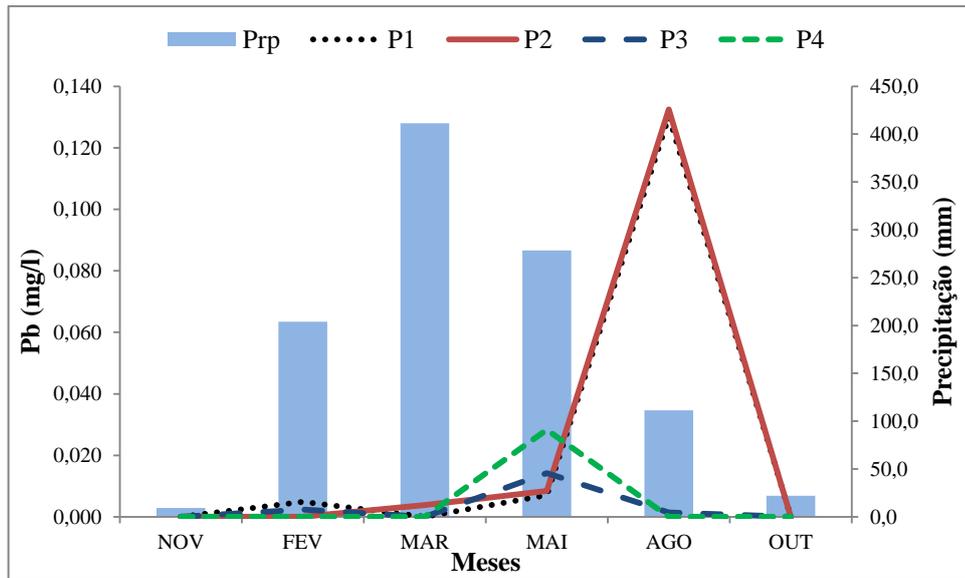
Figura 50. Variação sazonal da concentração de cádmio (Cd) nos poços.



Fonte: autora.

Em relação ao chumbo, tanto nas águas superficiais como nas subterrâneas, somente os meses de maio e agosto apresentaram valores acima do VMP (figura 51). Em águas subterrâneas, os maiores valores encontrados foram em P1 e P2, em agosto (0,130 e 0,132 mg/l, respectivamente). Esse fato corrobora a teoria de dispersão aérea do chumbo (discutida anteriormente, em relação às águas superficiais), proveniente dos materiais queimados no lixão e levados ao sítio Teixeira por meio do vento.

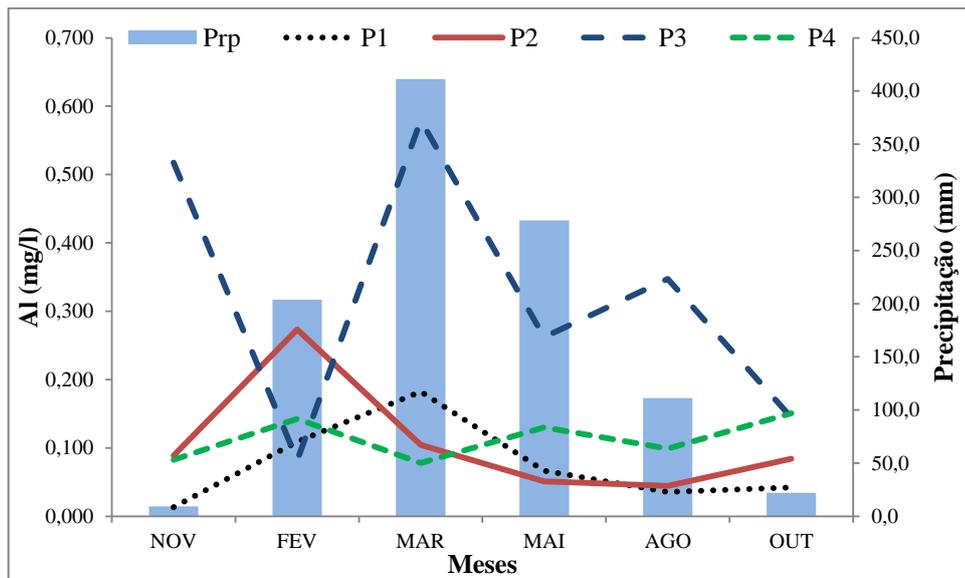
Figura 51. Variação sazonal da concentração de chumbo (Pb) nos poços.



Fonte: autora.

O alumínio obteve concentrações acima do VMP (0,2 mg/l) na maioria das amostras, com exceção dos pontos de coleta P1 e P4 (figura 52). O poço P3 foi o que apresentou maior número de amostras com valores acima do VMP. Já o poço P2 apresentou apenas uma amostra (em fevereiro). A concentração de alumínio não apresentou nítida sazonalidade.

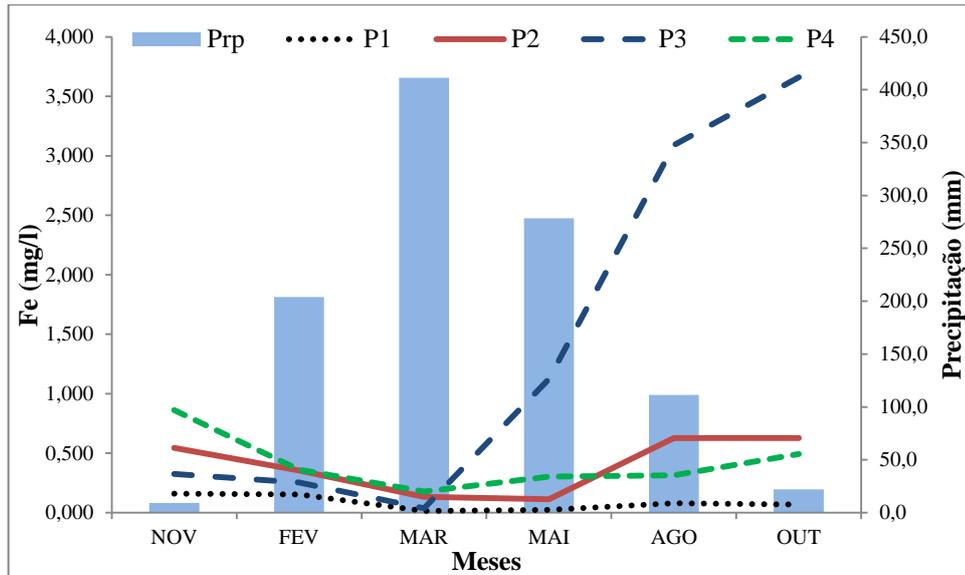
Figura 52. Variação sazonal da concentração de alumínio (Al) nos poços.



Fonte: autora.

Em águas subterrâneas, março foi o único mês em que todas as amostras apresentaram valores abaixo do VMP (figura 53). Os meses de fevereiro, março e maio obtiveram valores levemente menores. Já o ponto P1 foi o único que não apresentou em nenhuma coleta valor acima do VMP. As maiores concentrações em poços foram encontradas em P3, nos meses de agosto e outubro (3,091 e 3,659 mg/l, respectivamente).

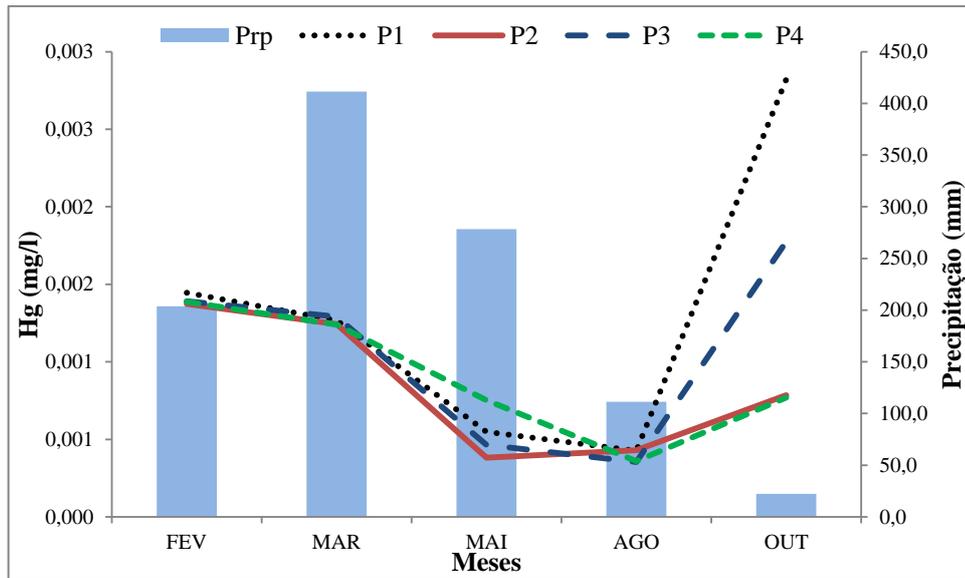
Figura 53. Variação sazonal da concentração de ferro (Fe) nos poços.



Fonte: autora.

Quanto ao mercúrio, nos poços, somente os pontos P1 e P3 apresentaram valores acima do VMP determinado pela Portaria do Ministério da Saúde, sendo o ponto P1 o que apresentou maior concentração (figura 54). Os meses de maio e agosto foram os que obtiveram menores concentrações de Hg.

Figura 54. Variação sazonal da concentração de mercúrio (Hg) nos poços.

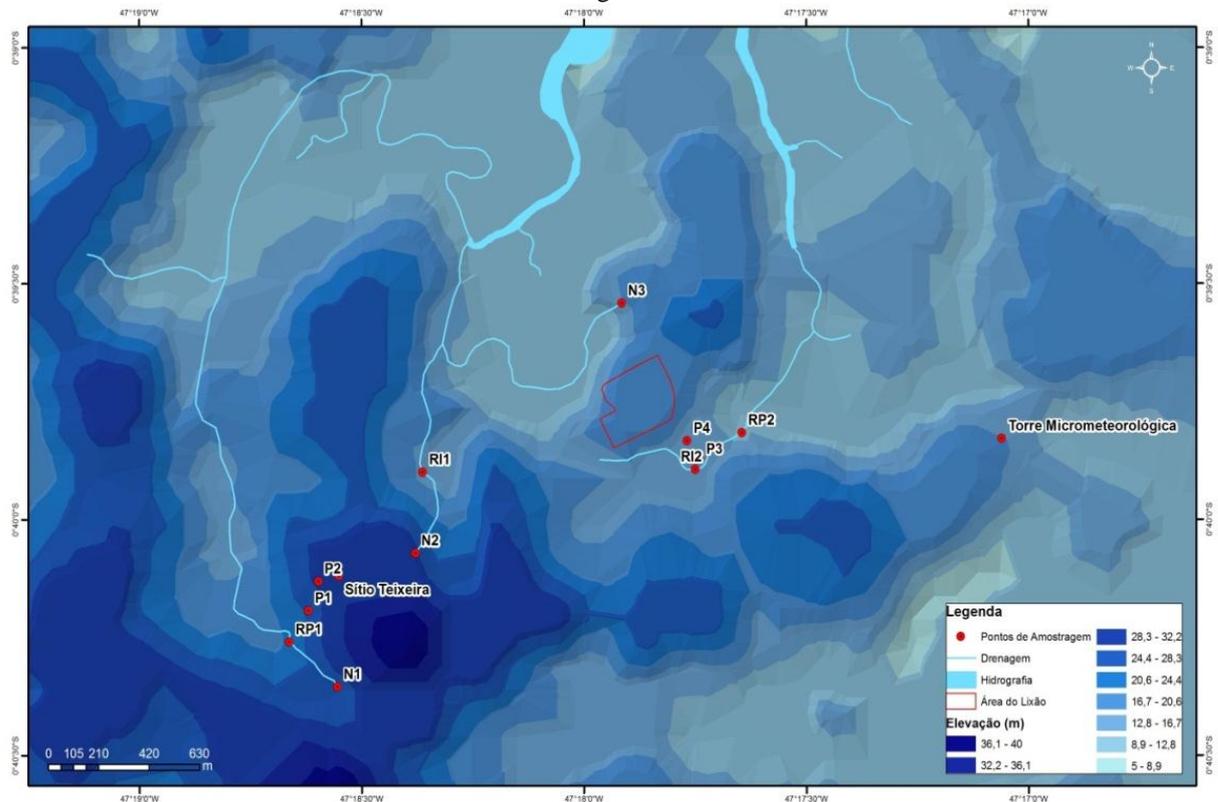


Fonte: autora.

Embora alguns metais apresentem concentrações acima do VMP determinado pelas legislações consideradas para água doce classe 2 (ou para potabilidade), a comparação com trabalhos em lixões – como os realizados por Vasanthi, Kaliappan e Srinivasaraghavan (2008) e Pande, Sinha e Agrawal (2015), a observação em campo e o modelo digital de elevação da área estudada (figura 55) pressupunham um impacto relativamente maior que as concentrações efetivamente encontradas na região adjacente ao lixão. Entretanto, isso não determina a não interferência do lixão na qualidade das águas. A rigor, indica a interferência de outras fontes de contaminantes, que não devem ser desconsideradas para a melhoria da qualidade da água na região.

A figura 55 mostra a localização do lixão em uma área com maior cota altimétrica que as dos rios adjacentes, o que facilita o escoamento do lixiviado para as águas superficiais. Além disso, a região tem uma alta pluviosidade e solos com taxas muito altas de infiltração. Esses fatores contribuem para a dispersão dos poluentes tanto em águas superficiais como em subterrâneas. Isso evidencia o potencial dispersante dos poluentes advindos do lixão, que sem o devido tratamento podem deteriorar ainda mais a qualidade da água consumida pela população local.

Figura 55. Modelo digital de elevação da área de estudo, com destaque para os pontos amostrais e rede de drenagem.



Fonte: autora.

Hypolito e Ezaki (2006), ao analisarem o solo, o chorume e a água subterrânea em áreas de dois aterros sanitários na cidade de São Paulo concluíram que a retenção de íons de metais pesados nos solos dos aterros depende de diversos fatores, tais como a composição textural e mineralógica, a capacidade de troca catiônica e a quantidade de matéria orgânica. Além disso, também é importante considerar a variabilidade da composição dos resíduos dispostos nessas áreas. A conclusão semelhante chegaram Santos (1996), ao estudar a concentração de Cr, Ni e Zn, e Cavallet, Carvalho e Fortes Neto (2013), em relação ao metais As, Cd, Cr e Pb, que, em águas subterrâneas, apresentaram valores abaixo do esperado em virtude de processos de adsorção e precipitação química nos ambientes estudados.

Longe e Balogun (2010) analisaram poços em área de aterro em Igando, na Nigéria, e também encontraram quantidades de metais (Cu, Pb, Fe, Mn e Zn) bem abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação local. Os autores associaram esse fato à estratigrafia do solo do aterro, que consistia em argila e silte, o que aparentemente atenuou os níveis de contaminação das águas subterrâneas. Ademais, também contribuíram a diminuição do impacto ambiental a idade (aterro jovem) e o pequeno volume de resíduos.

Com base nesses estudos, seria necessária uma análise de granulometria do solo, a caracterização dos tipos de resíduos dispostos no lixão, além de uma ampliação dos pontos amostrais, para que se esclarecesse a real influência dos poluentes oriundos do lixão, uma vez que todas as áreas analisadas estavam suscetíveis a atividades antrópicas.

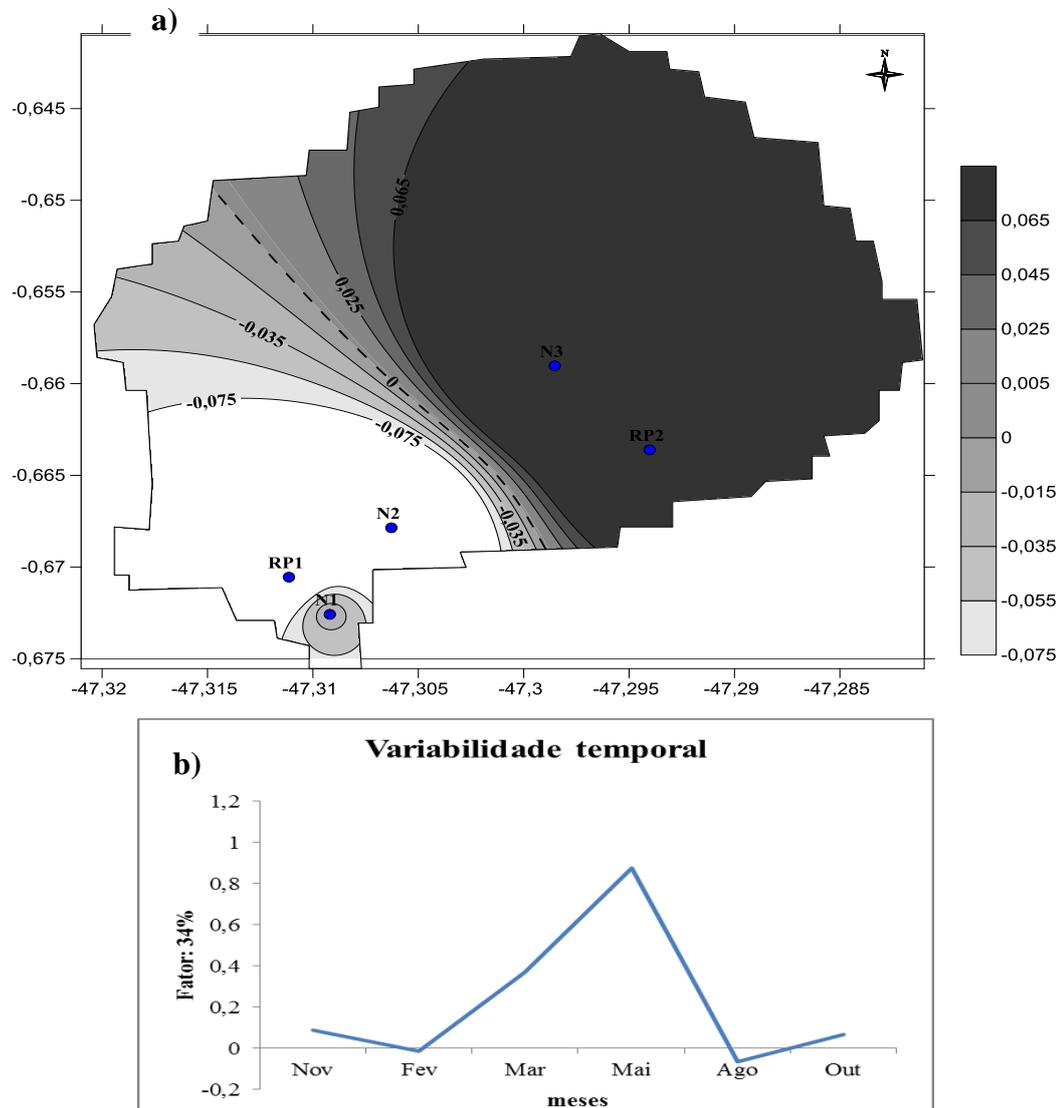
### **5.2.3 Análise de componentes principais (covariância) em águas superficiais**

O uso da ACP possibilitou analisar a variabilidade espacial e temporal dos parâmetros físico-químicos, bacteriológicos, metálicos e a precipitação, simultaneamente, em águas superficiais. A análise obteve poder de explicação de 87% (soma da variância dos quatro primeiros fatores) da variância total dos dados e quatro fatores extraídos. O teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) foi igual a 0,53 e o teste de esfericidade de Barlett foi igual a 0, valores que atestam a adequabilidade dos dados à metodologia. Os campos espaciais só foram plotados os coeficientes entre 0,075 a -0,075, o que corresponde a 95% de significância ,segundo test T-Student.

O fator 1 foi responsável por 34% da variância e apresentou um padrão positivo na região do lixão. A montante, o padrão foi negativo (figura 56a), não sofrendo inversão durante todos os meses de coleta (figura 56b). Esse padrão foi acentuado nos meses de março e maio, como verificado pelo gráfico dos autovalores, os quais corresponderam aos meses de maior precipitação na área. Os coeficientes referentes aos pontos N2 e RP1 não foram significantes, segundo o teste t-Student ( $>0,05$ ).

Nos pontos N3 e RP2, os parâmetros com maiores pesos (cádmio, amônia, níquel, turbidez, manganês e cobre, em N3; e oxigênio dissolvido, nitrato e *E. coli*, em RP2) estão relacionados à lixiviação de sedimentos e de matéria orgânica para os corpos hídricos, o que leva a concluir que o aumento de concentração no período chuvoso se relaciona ao escoamento superficial presente no período de chuvas, uma vez que esses pontos estão em cota altimétrica inferior à do lixão (figura 55). Somente o oxigênio dissolvido representou uma melhoria da qualidade da água, os demais representaram deterioração dessa mesma qualidade. Em N1, o padrão negativo está relacionado à redução do OD, pH, alumínio e manganês verificada nesse período.

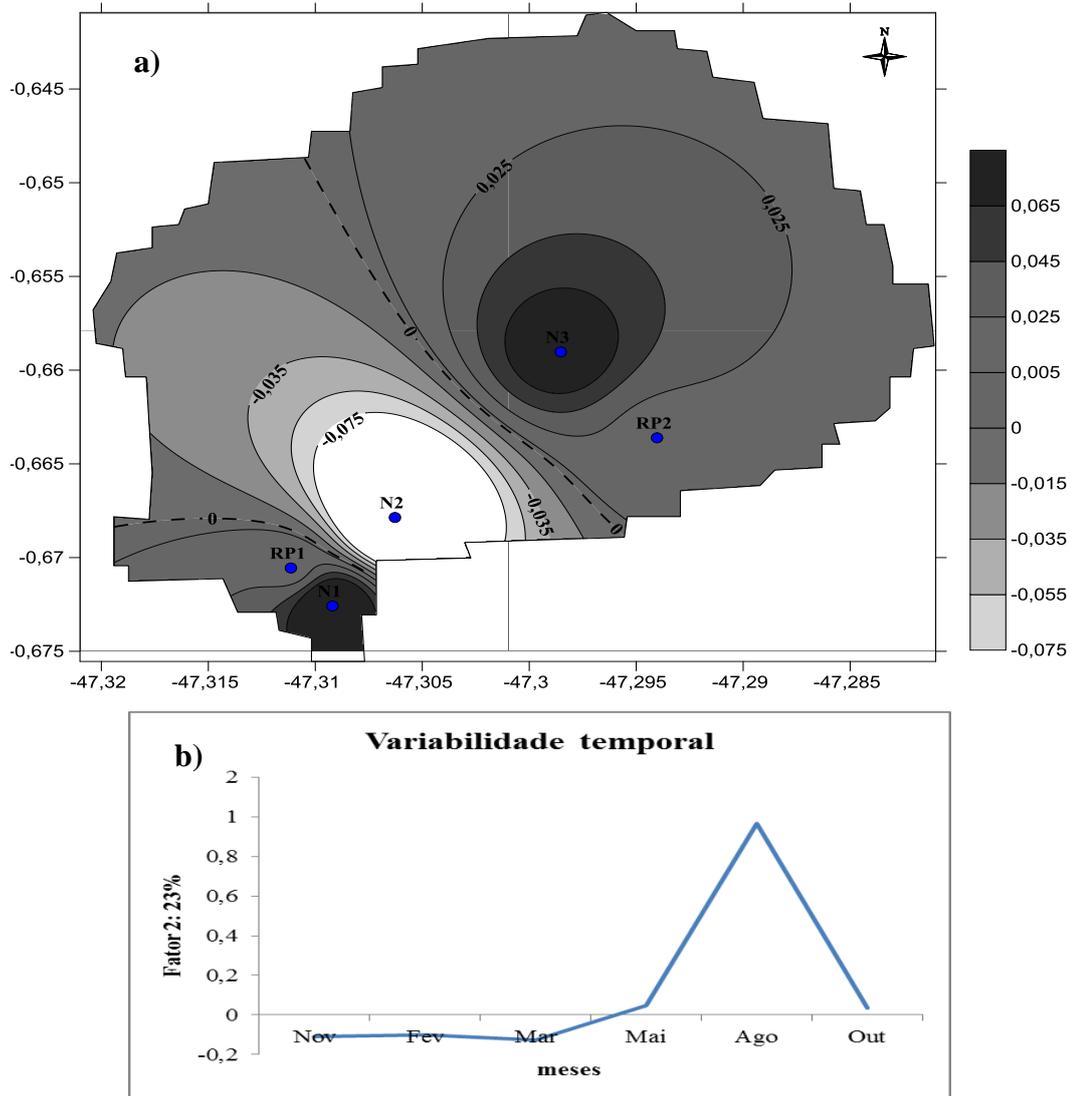
Figura 56. Representação gráfica dos autovetores (a) e autovalores (b) da Componente 1 (34%). Nível de significância de 95%.



Fonte: autora.

O fator 2 foi responsável por 23% da variância total dos dados e esteve relacionado significativamente ao mês de agosto, com uma pequena inversão do padrão, observado no gráfico dos autovalores, nos meses de novembro, fevereiro e março (figura 57b). Os pontos de N1 e N3 obtiveram os maiores coeficientes positivos, o que demonstra que houve aumento médio na concentração dos parâmetros nesse mês (figura 57a). Os coeficientes referentes ao ponto N2 não foram significantes, segundo o teste t-Student ( $>0,05$ ).

Figura 57. Representação gráfica dos autovetores(a) e autovalores (b) da Componente 2 (23%). Nível de significância de 95%.



Fonte: autora.

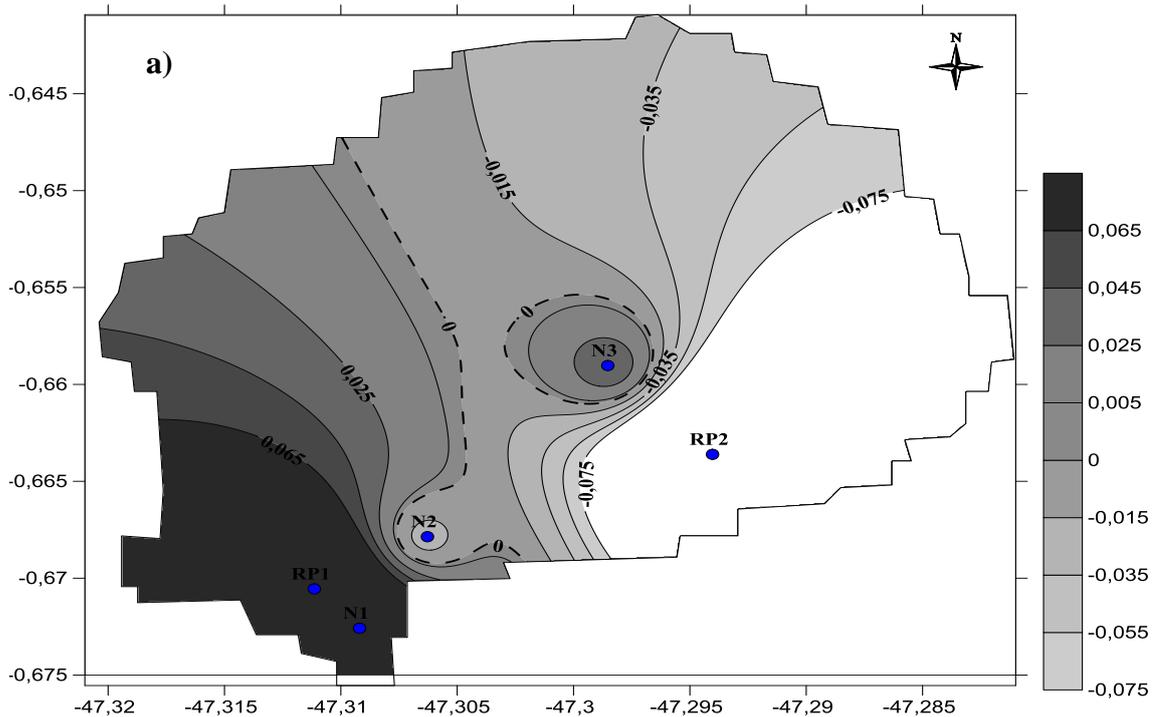
Na nascente N1, os parâmetros de maior peso foram Cd, Ni, Fe e pH. Exatamente no mês de agosto, o valor de Cd esteve acima do VMP determinado pelo CONAMA. Também foi encontrada a maior concentração de Ni (0,009 mg/l), quando comparado com os demais pontos, e o segundo maior valor de ferro. A observação em campo revelou que a água na nascente apresentou maior concentração de matéria orgânica e aspecto oleoso nesse mês. Conforme Casarini *et al.* (2001), muitos metais se associam aos sedimentos argilosos, lodosos e à matéria orgânica na água. Assim, nessas condições, a concentração de metais é favorecida no ambiente.

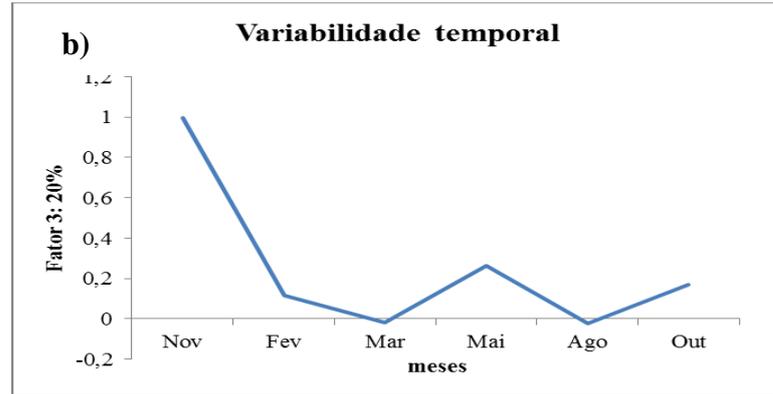
Em N3, a alta concentração de Cu, em agosto, foi determinante para elevar o coeficiente médio nesse ponto. Como são áreas sujeitas a atividades antrópicas, onde as

peças têm acesso e fazem uso para diversas atividades, a alta concentração desse elemento ressaltado pelo segundo fator pode estar relacionada ao uso do solo e da água pelas comunidades locais.

O fator 3 expressa 20% da variância total dos dados, apresentando um padrão que não sofreu inversão, mas que foi mais intenso no mês de novembro (figura 58b). Os pontos N1 e RP1 apresentaram maiores coeficientes positivos, o que sugere aumento das concentrações dos parâmetros em geral, sobretudo da temperatura e do nitrato, em N1, e de ferro, nitrato, amônia e temperatura, em RP1 (figura 58a). Por ser um mês do período menos chuvoso, o aumento de temperatura da água é uma condição esperada. A grande quantidade de folhas e de matéria orgânica em decomposição na água pode ter contribuído para as concentrações mais elevadas de nitrato e amônia.

Figura 58. Representação gráfica dos autovetores (a) e autovalores (b) da Componente 3 (20%). Nível de significância de 95%.

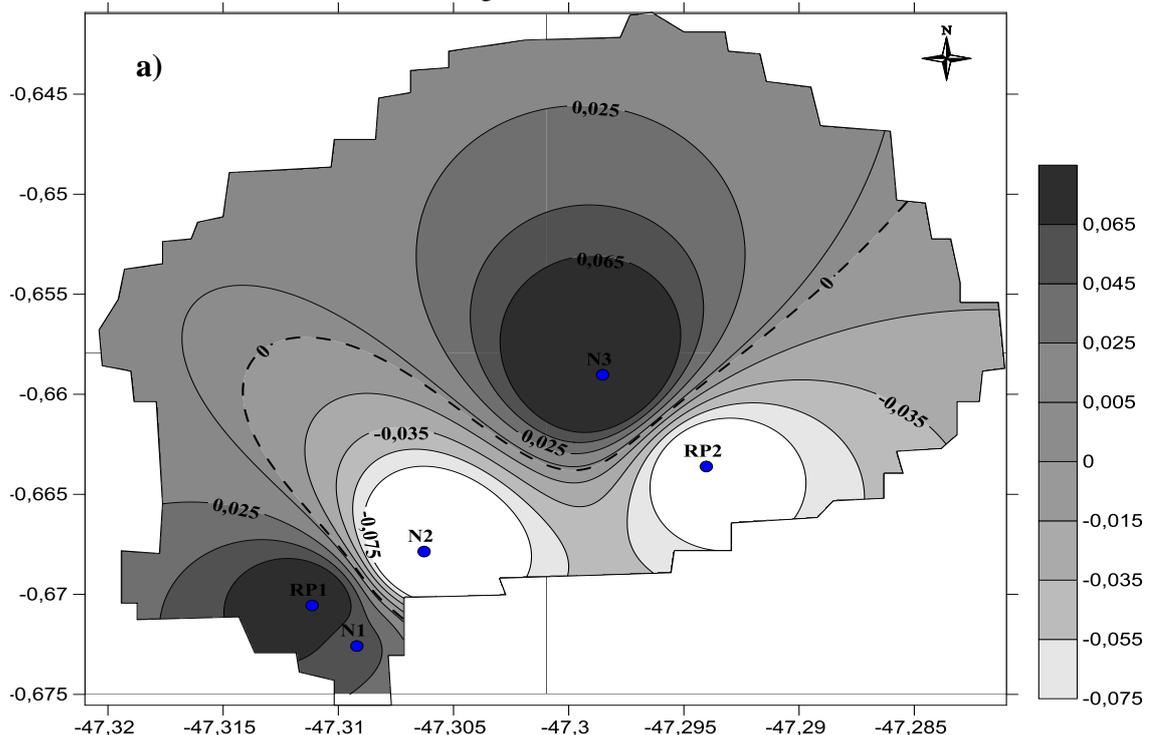


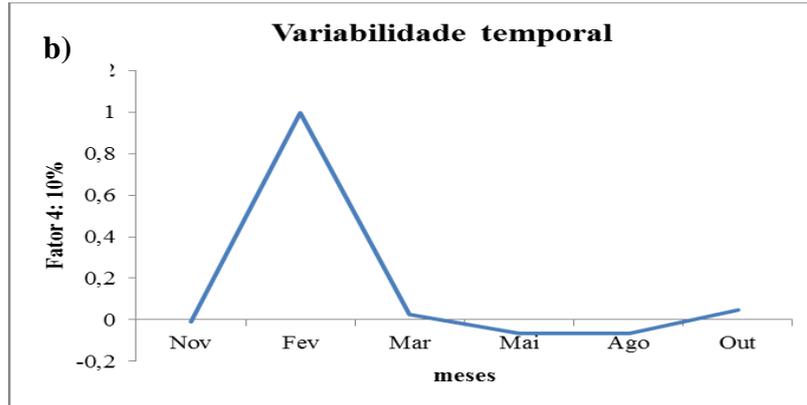


Fonte: autora.

O fator 4 respondeu por apenas 10% da variância total e obteve o máximo padrão positivo em fevereiro, com uma pequena inversão em maio e agosto (figura 59b). Os pontos com maiores padrões positivos foram N3 e RP1 (figura 59a). Em RP1, os parâmetros de maior peso foram os metais Cr, Cu, Ni, Fe e Mn, os quais apresentaram concentrações mais elevadas em fevereiro, o que pode estar relacionado ao nível baixo do rio nesse mês, contribuindo para o aumento da concentração dos metais presentes na água. Em N3, os parâmetros de maiores pesos foram os coliformes totais, Mn, Cr e Ni. De maneira semelhante ao constatado no ponto RP1, o mês de fevereiro foi o período em que a nascente N3 obteve o menor nível de água, quando comparado a outras campanhas de amostragem.

Figura 59. Representação gráfica dos autovetores (a) e autovalores (b) da Componente 4 (10%). Nível de significância de 95%.





Fonte: autora.

Desse modo, a ACP demonstrou que a precipitação tem influência direta em pelo menos 34% da variância total dos dados amostrados, representados pelo fator 1. Parâmetros como metais, turbidez, amônia, nitrato e coliformes tendem a aumentar em pontos como N3, RP2 e N1. Os pontos próximos ao lixão, N3 e RP2, podem sofrer impactos mais significativos que outros pontos no período de chuvas devido à lixiviação de sedimentos, matéria orgânica e poluentes, uma vez que a proximidade do lixão e a topografia do terreno (figura 55) favorecem a deterioração da qualidade da água.

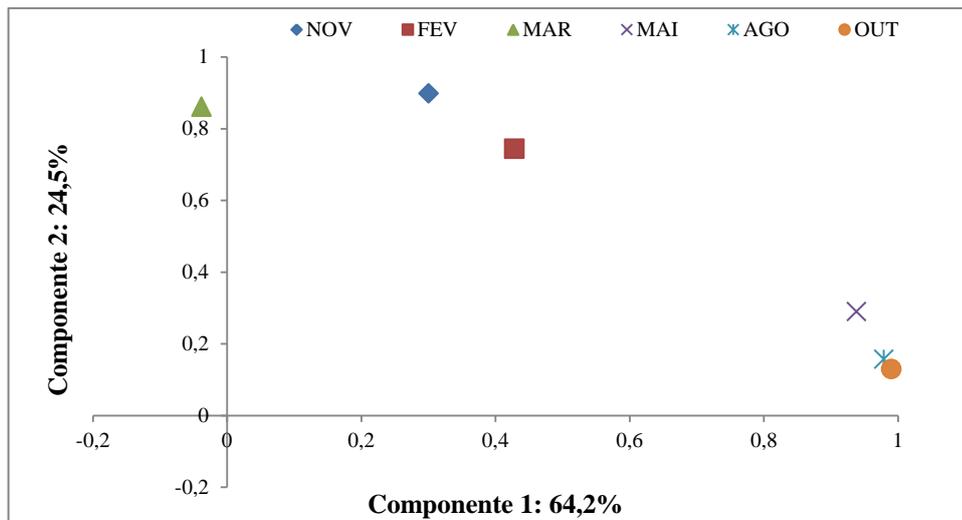
#### 5.2.4 Metais e precipitação em águas subterrâneas

Em relação à precipitação e à concentração de metais em águas subterrâneas, a ACP extraiu 2 fatores, com 88,7% da variância total dos dados. O fator 1 foi responsável por 64,2% da variância, sendo o ferro, no ponto P3, o que obteve maior peso (5,76), quando comparado aos demais parâmetros que apresentaram coeficientes menores que 1. O teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) foi igual a 0,52 e o teste de esfericidade de Barlett igual a 0. Esses valores comprovam a adequabilidade dos dados à metodologia.

Quando observada a correlação do componente 1 com os meses de coleta (figura 60), é possível notar que as maiores correlações foram obtidas nos meses de maio, agosto e outubro, período em que a concentração de ferro esteve mais elevada no poço P3 (figura 53).

O segundo fator foi responsável por 24,5% da variância total dos dados e obteve os maiores coeficientes absolutos relacionados aos parâmetros alumínio e ferro (coeficientes 1,06 e 2,25, respectivamente) em P2; alumínio (3,49), em P3; e ferro (3,27), em P4. Os meses que melhor se correlacionaram ao fator 2 foram março, novembro e fevereiro, como pode ser verificado na figura 60.

Figura 60. Correlações das componentes 1 e 2 com os meses de coleta.



Fonte: autora.

De modo geral, as concentrações de alumínio e ferro foram determinantes na variância dos metais nos poços, com concentrações mais elevadas e maior variabilidade temporal na área de estudo. Embora não representem alta toxicidade, trata-se de parâmetros de grande relevância para a análise da qualidade de água nos poços, sobretudo o alumínio, que pode apresentar reações de toxicidade no organismo humano quando consumido em elevadas concentrações.

### 5.3 PERCEPÇÃO DOS MORADORES

Na tabela 7, é possível observar as características gerais dos moradores entrevistados. De maneira geral, a água utilizada para consumo é advinda de poços – cavados pelos próprios moradores – de pouca profundidade, do tipo Amazonas. Os poços são influenciados significativamente pelo regime de chuvas, podendo mesmo chegar a secar, como relatado pelo morador 2. As fossas também são escavadas pelos moradores. A maioria não tem nenhum tipo de revestimento ou planejamento para a construção. Quando a capacidade de uso chega ao máximo, é escavada uma nova fossa, sem a devida preocupação com a distância em relação aos poços.

Tabela 7. Características dos moradores entrevistados na área adjacente ao lixão (1 a 3) e a montante do lixão (4 a 6).

<b>Ramal e sítio de São Sebastião</b>			
	Tempo de moradia	Atividade econômica	Pessoas na casa
<b>Morador 1 (P4)</b>	20 anos	Atendente, Artesanato	6 pessoas
<b>Morador 2 (P3)</b>	Mais de 15 anos	Aposentados	2 pessoas
<b>Morador 3 (N3)</b>	14 anos	Agricultura de subsistência	1 pessoa
<b>Sítio Teixeira</b>			
<b>Morador 4</b>	11 anos	Agricultura de subsistência	4 pessoas
<b>Morador 5 (P2)</b>	Cerca de 10 anos	Vendedora	3 pessoas
<b>Morador 6</b>	Mais de 60 anos	Pescador	7 pessoas

Fonte: autora.

No período chuvoso, segundo os moradores, a água dos poços apresenta aspecto límpido, exceto o poço P3. De acordo com todos os moradores, as famílias consomem a água dos poços sem filtrar ou ferver; só fervem quando a água apresenta aspecto desagradável (esbranquiçada, amarelada ou avermelhada). No período menos chuvoso, afirmam que as águas apresentam coloração amarela avermelhada, o que corrobora os dados de concentração de ferro, que atingiu maiores valores no período menos chuvoso (figura 53), certamente influenciando na coloração observada pelos moradores.

Quando perguntados a respeito dos rios, se haviam mudanças qualitativas nos últimos anos, todos relataram, como fatores negativos, a diminuição da vazão dos rios, a redução de peixes e a mudança na coloração da água no período menos chuvoso, pois a água deixou de ter aspecto límpido para apresentar coloração avermelhada. Esse fato é associado pelos moradores à presença de buriti às margens dos rios. Em relação ao clima e ao regime de chuvas, eles não identificaram qualquer mudança durante os últimos 10 anos.

Entretanto, 100% afirmaram se sentir incomodados com a presença do lixão na área, mesmo os habitantes do sítio Teixeira. Os moradores da área do sítio Teixeira e o morador 3 afirmaram que o maior problema associado ao lixão é a fumaça e o odor trazidos pelo vento no período menos chuvoso, o que contribui com a hipótese de que a alta concentração de chumbo verificada no sítio Teixeira (figuras 41, 42 e 51) pode ser resultado da queima de lixo rico em chumbo, conduzindo o metal por via aérea e depositando-o na água e nos solo locais.

Além disso, o aumento de moscas e mosquitos, sobretudo no mês de julho, também foi associado ao lixão pelos moradores do sítio Teixeira. Os moradores 1 e 2 reclamaram mais do odor advindo do lixão e da fuligem da queima do lixo, haja vista habitarem bem próximos ao lixão. As moscas e os mosquitos também foram mencionados por eles, mas não exclusivamente no período menos chuvoso.

Em relação aos problemas de saúde, os moradores tiveram dificuldade de associar as doenças na família à presença do lixão, mas afirmaram que as doenças mais comuns apresentadas pelos habitantes das residências são: vômitos, diarreias, dermatites, coceiras, gripes, alergias e anemia.

Dos 6 entrevistados, 3 moradores mudaram até o fim das campanhas, sendo dois na área do lixão. O principal motivo para a mudança alegado pelos moradores é a presença do lixão, a falta de infraestrutura e a distância do trabalho, pois muitos moradores trabalham na cidade de Salinópolis ou na Vila de Cuiarana.

## 6 CONCLUSÕES

A análise da precipitação em Cuiarana revelou que os meses de janeiro a maio correspondem ao período chuvoso da região, período de reposição da água no solo (janeiro) e posterior geração de excedente hídrico (fevereiro a maio). Quando se compararam os anos de 2014 e 2015, foi verificado que os acumulados anuais e mensais, em 2015, foram inferiores aos de 2014 devido à ocorrência do El Niño.

As variáveis de infiltração e vazão medidas na área estudada demonstraram que o solo na região possui alta velocidade de infiltração. Já os rios apresentam baixa vazão, em virtude das características dos rios locais.

Em relação à qualidade das águas superficiais, todos os pontos amostrais apresentaram pH e oxigênio dissolvido abaixo do estabelecido pelo CONAMA. Em RP2, os valores de *E. coli* estiveram acima do VMP no mês de maio. Os metais Al, Cd, Fe, Hg e Pb estiveram acima do VMP em alguns pontos e campanhas. O alumínio e o ferro apresentaram elevadas concentrações na maioria das coletas e pontos. Já o chumbo, o mercúrio e o cádmio foram pontuais, concentrados na maioria na região do sítio Teixeira.

As águas subterrâneas apresentaram características semelhantes às águas superficiais quanto ao OD, pH e metais. Entretanto, os poços P3 e P4 obtiveram valores de condutividade elétrica, turbidez, coliformes, *E. coli*, alumínio e ferro mais elevados que os poços P1 e P2, o que demonstra uma deterioração da qualidade de água mais significativa na área do lixão. De modo geral, segundo a Portaria n.º 2.914/2011, do Ministério da Saúde, todos os poços estudados não estão adequados para consumo humano.

A Análise de Componentes Principais (ACP) aplicada em dados de águas superficiais permite conhecer que 34% da variância dos dados representados pela componente 1 demonstraram que parâmetros como turbidez, manganês, amônia, nitrato, cádmio, cobre tendem a aumentar a concentração em rios e nascentes durante o período chuvoso. A variabilidade da qualidade da água, segundo as demais componentes extraídas pela ACP (mais de 50% da variância), ocorreram em meses específicos, o que demonstra a influência das atividades de usos do solo sobre a qualidade de água local.

A ACP na matriz de dados de metais e da precipitação revelou que aproximadamente 90% da variância dos dados estão relacionadas à concentração de ferro e alumínio nos poços, sobretudo nos poços P3 e P4. Em relação à influência da precipitação, o ferro apresentou elevação no fim do período chuvoso e no início do período menos chuvoso, em virtude do aumento da concentração devido à diminuição do nível da água nos poços.

As entrevistas com a população local revelaram que os moradores fazem uso da água dos poços sem filtrar ou ferver, o que é um fator de risco, uma vez que os poços apresentaram contaminação por coliformes totais e *E. coli*. De forma geral, os moradores não relacionaram doenças familiares à presença do lixão, embora se digam incomodados pelo odor e pela fumaça advinda do lixão.

Assim, as águas superficiais e subterrâneas podem ser classificadas como ambientalmente impactadas. Os pontos N3, RP2, RI2, P1 e P2, que se localizam em cota altimétrica inferior ao terreno do lixão, apresentam maior vulnerabilidade durante o período chuvoso, com deterioração gradativa da qualidade de água quando comparados aos demais pontos, pois a influência da topografia e do regime pluviométrico na área conduz o escoamento superficial do lixão em direção às águas superficiais e subterrâneas. Mesmo que a contaminação chegue aos poços mais efetivamente no período chuvoso, é no período menos chuvoso, quando o volume de água diminui, que a contaminação é mais perceptível e prejudicial à saúde humana, devido ao aumento da concentração dos poluentes.

Embora não se possa determinar com precisão o nível de impacto da presença do lixão, em virtude da influência das atividades antrópicas existentes na região, conclui-se que a presença do lixão e a sazonalidade da chuva influem na qualidade de água na região de Cuiarana. Conclui-se também que o período chuvoso tem maior importância para a dispersão dos poluentes, quando comparado ao menos chuvoso, sobretudo em águas superficiais; e que as águas subterrâneas na área do lixão se encontram em estágio de deterioração mais avançada do que nos demais pontos.

Para determinação da amplitude da influência do lixão na qualidade da água, são necessários estudos complementares. Estudos sugeridos para melhor caracterizar a área, tais como: análise granulométrica e da composição do solo; ampliação da malha amostral em um período de tempo igual ou superior ao executado nesse trabalho; estabelecimento de um *background* mais distante da área do lixão; determinação da direção do fluxo de água subterrânea por meio de estudos geofísicos do local; e escavação de um poço na área do lixão, para comparação com os demais pontos de água subterrânea. Essas análises gerariam dados interessantes e complementares na avaliação dos impactos na área estudada.

## REFERÊNCIAS

- AL-MUTAIRI, N.; ABAHUSSAIN, A.; EL-BATTAY, A. Spatial and temporal characterizations of water quality in Kuwait Bay. **Marine Pollution Bulletin**, n. 83, p. 127–131, 2014.
- AL-MUZAINI, S. M. A comparative study of the characterization of landfill leachate at the dumping sites in Kuwait. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v.7, n. 3&4, p. 679-683, 2009.
- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 423 - 434, 2012.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington, 2012.
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; DISNEY, W.; ALVES, A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.3, p.683-690, 2007.
- ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; NÓBREGA, C. C.; GADELHA, C. L. M.; SOUZA, I. M. F.; FAGUNDES, G. S. Efeito do antigo Lixão do Roger, João Pessoa, Brasil, na qualidade da água subterrânea local. *Revista Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 4, n. 1, 2009.
- BAAWAIN, M. S.; AL-FUTAISI, A. M. Studying Groundwater Quality Affected by Barka Dumping Site: An Integrated Approach. **Arabian Journal Science Engineering**, v. 39, p. 5943–5957, 2014.
- BAGCHI, A. Natural attenuation mechanisms of landfill leachate and effects of various factors on the mechanism. **Waste Management Research**, v. 5, p. 453–464, 1987.
- BARBOSA, R.L. **Interação das perturbações convectivas iniciadas na costa Norte do Brasil com Distúrbios Ondulatórios de Leste**. 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2005.
- BECK, M. H.; KORF, E. P.; SANTOS, V. R.; THOMÉ, A.; ESCOSTEGUY, P. A. V. Monitoramento das Águas Subterrâneas e Lixiviado do Local de Disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Passo Fundo – RS. **REGA**, v. 7, n. 1, p. 29-44, 2010.
- BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. atual. e ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625p.
- BERTOSSI, A. P. A.; MENEZES, J. P. C.; CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. O.; NEVES, M. A. Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando Estatística Multivariada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2025-2036, 2013.

BRANDÃO, C. J. et al. (Org.). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3 ed. Atual. e ampl. Viçosa: UFV, 2006. 120p.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 06 jun. 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 2.914, de 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre normas de potabilidade de água para o consumo humano. Brasília: SVS, 2011. Disponível em: <[http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp\\_doctos/kit\\_arsesp\\_portaria2914.pdf](http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/kit_arsesp_portaria2914.pdf)>. Acesso em: 21 maio 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Versão pós Audiências e Consulta Pública para Conselhos Nacionais. 2012. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/E99F974D/Doc\\_PNRS\\_consultaspublicas1.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/E99F974D/Doc_PNRS_consultaspublicas1.pdf)>. Acesso em: 21 maio 2014.

BRITO, F. M. O. O turismo em um lugar Atlântico-Amazônico: recentes alterações Sócio-Espaciais. **Scripta Nova - Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**. v. 12, n. 270 (90), 2008.

CAMPOGARA, G. **Extremos de precipitação diária em Belém, Pará, e estrutura vertical da atmosfera**. 2012. 90f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

CAMPOS, H. K. T. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.17 n.2. 171-180, 2012.

CAPELLINI, V. L. M. F.; RODRIGUES, O. M. P. R.; MELCHIORI, L. E.; DO VALLE, T. G. M. Crianças Contaminadas por Chumbo: estudo comparativo sobre desempenho escolar. **Estudos em Avaliação Educacional**, v. 19, n. 39, jan./abr. 2008.

CARVALHO, A. P. V.; BRUMATTI, D. V.; DIAS, H. C. T. Importância do manejo da bacia hidrográfica e da determinação de processos hidrológicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.2, n.2, p.148-156, 2012.

CARVALHO, T. M. Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 1, n. 1, p. 73-85, 2008.

CASARINI, D. C. P. et al. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2001. 73 p.

CAVALLET, L. E.; CARVALHO, S. G.; FORTES NETO, P. Metais pesados no rejeito e na água em área de descarte de resíduos sólidos urbanos. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 3, 2013.

CESAR, R.; COLONESE, J.; SILVA, M.; EGLER, S.; BIDONE, E.; CASTILHOS, Z.; POLIVANOV, H. Distribuição de mercúrio, cobre, chumbo, zinco e níquel em sedimentos de corrente da bacia do rio Piabanha, Estado do Rio de Janeiro. **Geochimica Brasiliensis**, Ouro Preto, v. 25, n. 1, p. 35 - 45, 2011.

COHEN, J.C.P. **Um estudo observacional de linhas de instabilidade na Amazônia**. 1989. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - INPE – 4865 – TDL/376, São José dos Campos, São Paulo, 1989.

COHEN, J. C. P.; DIAS, M. A. F.; COSTA, W. **Características médias das linhas de instabilidade durante o período chuvoso do WETAMC/LBA**. 2000. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/12-fa88ab0fab4c6765450cb2a1ed18d664.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2016.

COHEN, J. C. P.; DIAS, M. A. F. S.; NOBRE, C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 123, n.11, p. 3163-3174, nov. 1995.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO DO ESTADO DA BAHIA (CONDER). **Manual de Operação de Aterros Sanitários**. 2016. Disponível em: <<http://www.unipacvaleoaco.com.br/ArquivosDiversos/Cartilha%20Opera%C3%A7%C3%A3o%20Aterro%20Sanit%C3%A1rio%20CONDER.pdf>> Acesso em: 04 fev. 2016.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Coliformes totais - Determinação pela técnica de membrana filtrante**: método de ensaio. NT. L5.214, 2007.

\_\_\_\_\_. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo, Série Relatórios**: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem (Apêndice A). São Paulo: Companhia ambiental do estado de São Paulo, 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução 357, de 17 de março de 2005**: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

COSTA, L. B.; ALVES, A. M. Contaminação de água por resíduos sólidos: uma perspectiva geomorfológica nos municípios de Dr. Severiano e Encanto-RN. **GEOTemas**, v. 1, n. 1, p. 79-90, 2011.

COSTA, M. D. **Qualidade da água do estuário do rio Sanhauá na Paraíba e conflitos de usos existentes na área de influência do antigo Lixão do Roger**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - PPGEU / Centro de Tecnologia / Campus I / Universidade Federal da Paraíba, 2009.

COSTA, M. H. **Balanço Hídrico segundo Thornthwaite e Mather, 1995**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola. Engenharia na Agricultura, 1994. 22 p. (Caderno didático, v. 19).

- COUTINHO, E. C.; FISCH, G. Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) na região do centro de lançamento de Alcântara-MA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, p. 193-203, 2007.
- CUNHA, J. L. X. L.; SILVA, C. A.; HOLANDA, M. E.; FONTES, L. O.; SILVA, M. G. O.; SILVA, I. N. Velocidade de infiltração da água em um latossolo amarelo submetido ao sistema de cultivo mínimo. **ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.7, n. 01, p. 30 – 35, jan./mar. 2011.
- D'ILIO, S.; FORASTIERE, F.; DRAICCHIO, A.; MAJORANI, C.; PETRUCCI, F.; VIOLANTE, N.; SENOFONTE, O. Human biomonitoring for Cd, Hg and Pb in blood of inhabitants of the Sacco Valley (Italy). **Ann Ist Super Sanità**, v. 49, n. 1, p. 24-33, 2013.
- EMMETT, B. A.; HUDSON, J. A.; COWAR, D. P. A.; REYNOLDS, B. The impact of a riparian wetland on stream water quality in a recently afforested upland catchment. **Journal of Hydrology**, v. 162, Issues 3–4, p. 337–353, 1994.
- FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S.; PORTO, R. Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de Infiltrômetro de Anel em solo de Cerrado no município de Rondonópolis-MT. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, n.14, p. 370, 2012.
- FATTA, D.; PAPADOPOULOS, A.; LOIZIDOU, M. A study on the landfill leachate and its impact on the groundwater quality of the greater area. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 21, p. 175–190, 1999.
- FERRAZ, S. E. T.; CARDOSO, A. O.; CAPOZZOLI, C. R. Variabilidade espectral de vazão de rios brasileiros. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, p. 467 – 469, 2013.
- FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n.1, 2005.
- FERREIRA, N. S. **Zona de Convergência Intertropical**. [online]. jun. 1998. Disponível em: <[http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/ cliesp10a/acit\\_1.html](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/ cliesp10a/acit_1.html)>. Acesso em: 02 jan. 2016.
- FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. **Climanálise-Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v.5, n.6, p. 36-48, 1990.
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma Revisão Geral sobre o Clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998.
- FOLEY, J. A.; BOTTA, A.; COE, M. T.; COSTA, M. H. El Niño–Southern oscillation and the climate, ecosystems and rivers of Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 16, n. 4, 2002.
- FRANCO, G. B.; SILVA, D. D.; MARQUES, E. A. G.; CHAGAS, C. S.; GOMES, R. L. Análise da vulnerabilidade à contaminação do aquífero freático e da taxa de infiltração do solo da bacia do rio Almada e área costeira adjacente – BA. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 08, n.03, p. 705-720, 2015.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T. Qualidade de água na microbacia do Coqueiro, noroeste do Estado de São Paulo. **Water Resources and Irrigation Management**, v.1, n.1, p.61-69, Sept-Dec, 2012.

FREIMANN, B. C. **Correlação de perfis geofísicos de poços – sede do município de Salinópolis-PA**. 2012. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geofísica, Belém, 2012.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p.651-660, 2001.

GALARPE, V. R. K.; PARILLA, R. B. Influence of Seasonal Variation on the Biophysicochemical Properties of Leachate and Groundwater in Cebu City Sanitary Landfill, Philippines. **International Journal of Chemical and Environmental Engineering**, v. 3, n.3, 2012.

GAN, M. A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e leste do Brasil**. 1982. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - INPE, São José dos Campos, 1982.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Blucher, 1988.

GIRÃO, E. G.; ANDRADE, E. M.; ROSA, M. F.; ARAÚJO, L. F. P.; MEIRELES, A. C. M. Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibaras pelo emprego da análise da componente principal. **Revista Ciência Agrônômica**, v.38, n.1, p.17-24, 2007.

GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of fresh waters**. 2. ed., Oxford: Blacwell Scientific Publications, 1978. 215p.

GONDIM, T. M. S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C.; SOUSA, J. S.; Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo areno-argiloso. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, (Pombal – PB – Brasil) v.4, n.1, p. 64-73, jan./dez. 2010.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E.; GOMES, J. Precipitation Anomalies in Southern Brazil Associated with El Niño and La Niña Events. **Journal of Climate**, v. 11, p. 2863- 2880, 1998.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.5, p.558–563, 2012.

GUNKEL, G.; LANGE, U.; WALDE, D.; ROSA, J.W.C. Environmental Impact of an Amazon Reservoir, Curuá-Una /Pará: Limnological Aspects. German-Brazilian In: WORKSHOP ON NEOTROPICAL ECOSYSTEMS - ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS OF COOPERATIVE RESEARCH, 2000, Hamburg. p. 511-516, 2000. Session 3.

GYAWALI, S., TECHATO, K., YUANGYAI, C., MONPRAPUSSON, S. Evaluation of surface water-quality using multivariate statistical technique: A case study of U-tapao river basin, Thailand. **KMITL Sci. Technol. J.**, v. 12, p. 7–20, 2012.

HYPOLITO, R.; EZAKI, S. Íons de metais pesados em sistema solo-lixo-chorume-água de aterros sanitários da região metropolitana de São Paulo-SP. **Águas Subterrâneas**, v. 20, n. 1, p.99-114, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo demográfico: 2010. **Pará:** Salinópolis. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=1506203>>. Acesso em: 05 out. 2014.

IQBAL, H.; ANWAR BAIG, M.; USMAN HANIF, M.; USMAN ALI, S. M.; FLURY, M. Leaching of Metals, Organic Carbon and Nutrients from Municipal Waste under Semi-Arid Conditions. **International Journal Environment Res.**, v. 9, n. 1, p.187-196, 2015.

LECLERC, H.; MOSSEL, D. A. A.; EDBERG, S. C. Advances in the bacteriology of the coliform group: their suitability as markers of microbial water safety. **Annual Reviews Microbiology**. v. 55, p. 301-234, 2001.

LEITE, W. S. **Estratigrafia de dunas costeiras de Salinópolis/PA em associação com variações pluviométricas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Recursos Biológicos da Zona Costeira Amazônica) – Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Bragança, Programa de Pós-Graduação em Biologia Ambiental, Bragança, 2010.

LIMA, J. A.; DAMBROS, M. V. R.; ANTONIO, M. A. P. M.; JANZEN, J. G.; MARCHETTO, M. Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.16, n.3. 291-298, 2011.

LIMA, R. T. **Relações radiométricas em um pomar de mangueiras, cv. Tommy atkins, no nordeste paraense**. 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Belém, 2012.

LIMA, W.P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba-SP: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2008. 253p.

LONGE, E. O.; BALOGUN, M. R. Groundwater Quality Assessment near a Municipal Landfill, Lagos, Nigeria. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**, v. 2, n. 1, p. 39-44, 2010.

LOPES, A. A.; BRIGANTE, J.; SCHALCH, V. Influência do Aterro Sanitário de São Carlos (SP), Brasil, na Qualidade das Águas Superficial e Subterrânea. **Journal Brazilian Society Ecotoxicology**, v. 2, n. 2, 115-127, 2007.

LOPES, M. N. G.; DE SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia Regional da Precipitação no estado do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 9, v. 12, p. 84-102, 2013.

LOUREIRO, R. S.; GOMES, R. G.; ROCHA, E. J. P. Análise de uma linha de instabilidade costeira na região leste do estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, p. 258-270, 2006.

LOURENÇO, M. C.M.; FERREIRA, N. J.; GAN, M. A. Vortices ciclônicos em altos níveis de origem subtropical. **Climanálise**, Edição Especial Comemorativa 10 Anos. São Jose dos Campos: Publicação INPE, 1996. Disponível em: <[http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/mcc\\_cli.html](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/mcc_cli.html)>. Acesso em: 22 maio 2015.

MACHADO, A. L. S.; PACHECO, J. B. Serviços ecossistêmicos e o ciclo hidrológico da Bacia Hidrográfica Amazônica - the biotic pump. **Revista GEONORTE**, v. 1, n. 1, Ano 1, p. 71-89, 2010.

MACHADO, C. C. C.; NÓBREGA, R. S.; OLIVEIRA, T. H. A.; SILVA, K. M. A. Distúrbio Ondulatório de Leste como condicionante a eventos extremos de precipitação em Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 8, v. 11, 2012.

MACHADO, L. A. T.; FERREIRA, N. J.; LAURENT, H.; DIEDHIU, A. Distúrbios Ondulatórios de Leste. 2009. In: CAVALCANTI, I. F. A et al. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MANGIMBULUDE, J. C.; BREUKELLEN, B. M. V.; KRAVE, A. S.; VAN STRAALLEN, N. M.; RÖLING, W. F. M. Seasonal dynamics in leachate hydrochemistry and natural attenuation in surface run-off water from a tropical landfill. **Waste Management**, v. 29, p. 829–838, 2009.

MARENGO, J. **Extreme climatic event in the Amazon Basin and their associations with the circulation of the global tropics**. 1991. 147 f. Thesis (Ph . D.) - Department of Meteorology, University of Wisconsin, Madison, 1991.

\_\_\_\_\_. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. **International Journal of Climatology**. v. 12, p. 853–863, 1992.

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta e Ambiente**, v.22. n.2 Seropédica abr./jun. 2015.

MARQUES, M. N. COTRIM, M. B.; PIRES, M. A. F. Avaliação do impacto da agricultura em áreas de proteção ambiental, pertinentes à bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, São Paulo. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 1171-1178, 2007.

MARTINS, A.C.S.; CONFALONIERI, U.; ROCHA, E. J. P. ; ROLIM, P.A.M. Variação temporal no litoral Amazônico associado com fenômeno El Niño e La Niña. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: CBMET, 2004.

MEDEIROS, G. A. REIS, F. A. G. V.; SIMONETTI, F. D.; BATISTA, G. MONTEIRO, T.; CAMARGO, V.; SANTOS, L. F. S.; RIBEIRO, L. F. M. Diagnóstico da qualidade da água e do solo no lixão de Engenheiro Coelho, no estado de São Paulo. **Engenharia Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 169-186, 2008.

MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F. A.; SOUZA, P. P. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MENGAWACO, A. **Caracterização climática da cidade de Salinópolis/PA**. 1995. 37f. Trabalho de conclusão de curso (graduação em meteorologia) - Centro de Geociências, Departamento de Meteorologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 1995.

MIRANDA, R. A. C.; OLIVEIRA, M. V. S.; SILVA, D. F. Ciclo Hidrológico Planetário: abordagens e Conceitos. **Geo UERJ**, Ano 12, v.1, n.21, 2010.

MIRANDA, R. G.; PEREIRA, S. F. P.; ALVES, D. T. V.; OLIVEIRA, G. R. F. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia – Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos. **Revista Ambiente e Água – Na Interdisciplinary of Applied Science**: v. 4, n. 2, 2009.

MOLION, L.C.B. Climatologia Dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, n. 1, p. 107 - 117, 1987.

MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 2, p. 207 – 214, 2005.

MOREIRA, C. A.; BRAGA, A. C. O.; HANSEN, M. A. F. Estimativa do tempo de produção de chorume em aterro controlado por meio de medidas de resistividade elétrica. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 3, p. 549-557, 2011.

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, p. 475 - 483, 2012.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). 2016. Disponível em: <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi>>. Acesso em: 03 fev. 2016.

NOBRE, A. C.; MARENGO, J. A.; ARTAXO, P. **Entendendo o Clima Amazônico**: Avanço da LBA. [S.l.: s.n.], 2009. p. 145-147. (Amazonia and Global Change, Geophysical Monograph Series 186).

NOBRE, A. C.; OBREGÓN, O.; MARENGO, J. A.; FU, R.; POVEDA, G. Características do Clima Amazônico: Aspectos Principais. [S.l.: s.n.], 2009. p. 149-162. (Amazonia and Global Change, Geophysical Monograph Series 186).

NUNES, J. C. **A Gestão dos Resíduos Sólidos e a Percepção sobre Riscos Ambientais em área do Aterro Sanitário no município de Salinópolis (PA)**. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano, Universidade da Amazônia, 2012.

OHRIEL, D.M., PATERSON, M.J., BLANCHFIELD, P.J., BODALY, R.A., GILMOUR, C.C., HINTELMANN, H. Temporal changes in the distribution, methylation, and bioaccumulation of newly deposited mercury in an aquatic ecosystem. **Environmental Pollution**, v. 154, p.77-88, 2008.

OLIVEIRA, L. N. **Estudo da variabilidade sazonal da qualidade da água do rio Poti em Teresina e suas implicações na população local**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.

OLIVEIRA, M. C. P.; OLIVEIRA, B. T. A.; DIAS, J. S.; MOURA, M. N.; SILVA, B. M.; SILVA, S. V. B.; FELIPPE, M. F. Avaliação macroscópica da qualidade das nascentes do Campus da Universidade Federal de Juiz de Fora. **Revista de Geografia**, v.3, n.1, p.1-7, 2013.

OLIVEIRA, S.; PASQUAL, A. Avaliação de Parâmetros Indicadores de Poluição por Efluente Líquido de um Aterro Sanitário. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 9, n. 3. p. 240-249, 2004.

PANDE, G.; SINHA, A.; AGRAWAL, S. Impacts of leachate percolation on ground water quality: a case study of Dhanbad City. **Global NEST Journal**, v. 17, n. 1, p. 162-174, 2015.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 219 p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. ed. rev. e amp. LCE 306. Piracicaba, SP: Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2007.

PEREIRA, A. R.; SANTOS, A. A.; SILVA, W. T. P.; FROZZI, J. C.; PEIXOTO, K. L. G. Avaliação da qualidade da água superficial na área de influência de um lixão. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.8, n. 3, p 239-246, 2013.

PEREIRA, L. C. C.; PINTO, K. S. T.; COSTA, K. G.; VILA-CONCEJO, A.; COSTA, R. M. Oceanographic Conditions and Human Factors on the Water Quality at an Amazon Macrotidal Beach. **Journal of Coastal Research**, v. 28, n. 6, p. 1627–1637, 2012.

PINTO, A. G. N.; HORBE, A. M. C.; SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F.; PASCOALOTO, D.; SANTOS, H. M. C. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 3, p. 627 – 638, 2009.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES. 2006. 285p.

POTT, C. A.; DE MARIA, I. C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 19-27, 2003.

PRATHUMRATANA, L.; STHIANNOPKAO, S.; KIM, K. W. The relationship of climatic and hydrological parameters to surface water quality in the lower Mekong River. **Environment International**, v. 34, p. 860–866, 2008.

QUINTAES, K. D. Utensílios para alimentos e implicações nutricionais. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 13, n. 3, p. 151-156, 2000.

RAO, V. B.; K. HADA. Characteristics of Rainfall over Brazil: Annual Variations and Connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, p. 81-91, 1990.

REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d’água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.14, n.3, p. 353-362, 2009.

ROCHA, L. C. R.; HORBE, A. M. C. Contaminação provocada por um depósito de lixo no aquífero Alter do Chão em Manaus – AM. **Acta Amazônia**, v. 36, n. 3, p. 307 – 312, 2006.

RODRIGUES, J. C.; SOUZA, P. J. O. P.; LIMA, R. T. Estimativa de temperaturas basais e exigência térmica em mangueiras no nordeste do estado do Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 1, p. 143-150, 2013.

RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; MOLINIER, M.; GUYOT, J. L.; CHAVES, A. G. M.; GUIMARÃES, V.; OLIVEIRA, E. Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea-surface temperatures in the Equatorial Pacific and the Tropical Atlantic oceans. **International Journal of Climatology**, v. 22, p. 1663–1686, 2002.

SALLES, C. Governo não prorrogará prazo para lei que extingue lixões. Disponível em: <<http://carollinasalle.jusbrasil.com.br/noticias/130202560/governo-nao-prorrogara-prazo-para-lei-que-extingue-lixoes>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

SANTI, G. M.; FURTADO, C. M.; MENEZES, R. S. A.; KEPPELER, E. C. Variabilidade espacial de parâmetros e indicadores de Qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Igarapé São Francisco, rio Branco, Acre, Brasil. **Ecología Aplicada**, v. 11, n. 1, 2012.

SANTOS, A. A. **Qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá-MT**. 2008. 111p f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, 2008.

SANTOS, J. T. S. **Aplicação do Modelo Hidrológico SWAT para a Sub-bacia do Rio Arapepó (Salinópolis/PA)**. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2014.

SANTOS, P.C.V. **Estudo da contaminação de água subterrânea por percolado de aterro de resíduos sólidos - Caso Jockey Club - DF. Brasília**. 1996. 135f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 1996.

SANTOS JÚNIOR, V. J.; SANTOS, C. O. A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações urbanas. **Estação Científica (UNIFAP)**, v.3, n. 1, p. 19-30, 2013.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 733 – 742, 2008.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrológica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. Ed. Rio Grande do Sul: Ed. da Universidade, 2009. v 4.

SODRÉ, G. R. C. **Estudo da convecção de mesoescala em diferentes superfícies na Amazônia oriental**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

SODRÉ, G. R. C.; RODRIGUES, L. L. M. Comparação Entre Estimativa da Precipitação Observada Pela Técnica CMORPH e Estações Meteorológicas do INMET em Diferentes Regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, n. 02, p. 301 – 307, 2013.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, 2008.

\_\_\_\_\_. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. 943 p.

\_\_\_\_\_. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

\_\_\_\_\_. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 2, n. 2, p. 5-12, jul./dez. 1997.

UVO, C. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Precipitação da região Norte do Nordeste do Brasil**. 1989. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - INPE, São Jose dos Campos, São Paulo, 1989.

VASANTHI, P.; KALIAPPAN, S.; SRINIVASARAGHAVAN, R. Impact of poor solid waste management on ground water. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 143, p. 227–238, 2008.

VERONEZ, B. P. **Análise da influência da precipitação pluviométrica e do uso do solo sobre a qualidade da água em microbacias hidrográficas no nordeste paraense, Amazônia Oriental**. 2011. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, 2011.

WILBERS, G. J.; BECKER, M.; NGA, L. T.; SEBESVARI, Z.; RENAUD, F. G. Spatial and temporal variability of surface water pollution in the Mekong Delta, Vietnam. *Science of the Total Environment*. 485–486, 653–665, 2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Environmental Health Criteria (EHC 101)**. Methylmercury. Geneva, 1990. p. 34.

\_\_\_\_\_. **Guidelines for drinking water quality**. 3. ed. Genebra, 2008. v.1. Disponível em: <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3rev/en/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/index.html)>. Acesso em: 20 nov. 2015.

\_\_\_\_\_. United Nations Environment Programme, International Labour Organization & World Health Organization. Lead – Environment Aspects. Environment Health Criteria 85. International Programme on Chemical Safety, Geneva, 1989.

WU, M.L.; WANG, Y.S.; SUN, C.C.; WANG, H.; DONG, J.D.; YIN, J.P.; HAN, S.H. Identification of coastal water-quality by statistical analysis methods in Daya Bay, South China Sea. *Marine Pollution Bulletin*, v. 60, p. 852–860, 2010.

ZONTA, J. H.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; SANTOS, M. R. Efeito da aplicação sucessiva de precipitações pluviais com diferentes perfis na taxa de Infiltração de água no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p. 377 - 388, 2012.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A: Coordenadas dos pontos de coleta

Latitude	Longitude	Ponto
00° 40' 21,3"	47° 18' 33,1"	Nascente - N1
00° 40' 14"	47° 18' 40,1"	Rio Teixeira - RP1
00° 40' 11,6"	47° 18' 37"	Poço - P1
00° 40' 07,9"	47° 18' 35,7"	Poço - P2
00° 40' 04,3"	47° 18' 22,6"	Nascente - N2
00° 39' 52,4"	47° 18' 19,8"	Rio - RI1
00° 39' 32,5"	47° 17' 54,7"	Nascente - N3
00° 39' 53"	47° 17' 44,4"	Poço - P3
00° 39' 50"	47° 17' 45,9"	Poço - P4
00° 39' 49"	47° 17' 38,5"	Rio Cachoeira - RP2
00° 39' 53,9"	47° 17' 44,1"	Rio - RI2

### APÊNDICE B: Planilhas para medição de Velocidade de Infiltração (a) e Vazão (b)

a)

Data: 28.03.15  
 Descrição:  
 Localização:

Lat:  
 Long:

Tempo (minutos)	T	Altura (cm)	DH	Vi=DH/T	Va
0					
1	1				
2	1				
3	1				
5	2				
10	5				
20	10				
30	10				
40	10				
50	10				
60	10				
70	10				
80	10				
90	10				
100	10				
110	10				
120	10				

DH = Diferença de altura, Vi = Velocidade Instantânea e Va = Velocidade acumulada.

b)

TABELA DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

Verticais	Profundidade	N Giros	h	Vel.(m/s)	Áreas (m <sup>2</sup> )	l (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
0	0	0	0				
1	0,15	3					
2	0,21	10					
3	0,26	15					
4	0,29	22					
5	0,20	20					
6	0,16	2					
7	0	0					
8							
9							
10							

Característica da Seção

Largura do Rio L= metros 2,22  
 Local de Medição: Poço BRESTE ZINCO (MARIÁ LUISA)  
 Latitude: 09° 15' 00"  
 Longitude: - 1  
 Área Total: m<sup>2</sup>  
 Vazão Total: m<sup>3</sup>/s  
 Distância dos Perfis l= m 0,32m

Equação Molinete  
 $V = 0.01700114 + 0.24297688 \cdot (N^{\circ} \text{Rotações}/60)$

## APÊNDICE C: Roteiro de Entrevista

### QUESTIONÁRIO: Percepção dos moradores sobre a influência do lixo nas águas

#### 1. Informações Pessoais:

- a) Idade: \_\_\_\_\_ b) Sexo: \_\_\_\_\_
- c) Tempo de residência na área: \_\_\_\_\_
- d) Atividade econômica: \_\_\_\_\_
- e) Tem filhos? ( ) Sim ( ) Não.  
Se sim, Quantos? \_\_\_\_\_ Qual a faixa etária? \_\_\_\_\_

#### 2. Caracterização do poço:

- a) ( ) Amazonas ( ) Tubular
- b) Qual a profundidade? \_\_\_\_\_
- c) Tem revestimento? ( ) Sim ( ) Não. Se tem, qual material usado? \_\_\_\_\_
- d) Quantos anos de construído? \_\_\_\_\_
- e) Qual o nível médio da água do poço? O nível no período menos chuvoso? E no período chuvoso? \_\_\_\_\_
- f) Possui filtro? De que material é feito? \_\_\_\_\_

#### 3. Para quais atividades você e sua família fazem uso da água do poço?

---



---

#### 4. Com relação ao período de chuvas ou de estiagem, você nota alguma diferença na cor, cheiro ou nível da água no poço?

---



---

#### 5. Qual o destino final do lixo residencial?

---

#### 6. Com relação à fossa:

- a) Existe na residência: ( ) Sim ( ) Não
- b) É revestida? \_\_\_\_\_
- c) Qual a profundidade? \_\_\_\_\_
- d) Quanto tempo de construída? \_\_\_\_\_

7. Após a instalação do lixão neste local você notou alguma diferença no regime de chuvas?

---

8. Caracterização e uso dos rios:

a) Qual o nível dos rios no período chuvoso? E no período menos chuvoso?

---

b) Existe despejo de lixo ou esgoto nos rios?

---

c) Qual o uso da água dos rios?

---

d) É observado morte de peixes? Em que períodos isso ocorre?

---

9. Com relação aos córregos aqui da região, nos últimos 10 anos:

a) Você percebeu se aumentou ou diminuiu o nível dos rios?

---

b) Houve alguma mudança na cor e odor da água?

---

10. Atualmente, você percebe alguma diferença na cor, cheiro ou outra característica na água dos rios da região nos períodos de chuvas e de estiagem?

---

11) Referente a saúde da família:

a) Problemas de diarreias, coceiras ou outras doenças de pele são frequentes em sua família?

---

c) Você associa a presença do Lixão a algum problema de saúde em sua casa? Quais?

---

---

d) Durante o período menos chuvoso o consumo de água do poço traz algum mal estar de saúde?

---

**APÊNDICE D: Resultados dos parâmetros físico-químicos em águas superficiais**

	Pontos	OD (mg/l)	Ph	Temp (°C)	Turb (UNT)	TDS (mg/l)	CE (µS/cm)	NH <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
Novembro/14	N1	<b>2,21</b>	<b>5,04</b>	29,9	2,97	17	35,9	0,13	1,5	
	RP1	<b>2,6</b>	<b>4,94</b>	28,7	4,25	17	36,6	0,25	1,6	
	N2	<b>1,25</b>	<b>5,02</b>	28	3,5	20	43,2	0,15	1,4	
	N3	<b>4,42</b>	<b>4,85</b>	27,1	5,14	21	44,8	0,08	1,7	
	RP2	<b>3,08</b>	<b>4,74</b>	27,9	0,6	16	33,2	0	1,4	
Fevereiro/15	N1	<b>1,44</b>	<b>5,13</b>	27,1	0,64	26	55,3	0	0,5	0,1
	RP1	<b>1,63</b>	<b>4,12</b>	28	1,48	39	83	0,07	0,3	0,008
	N2	<b>1,54</b>	<b>5,52</b>	27	2,93	27	57,4	0,06	0,2	0,014
	N3	<b>0,96</b>	<b>4,63</b>	26,9	4,91	37	78	0,09	0,2	0,011
	RP2	<b>3,65</b>	<b>3,95</b>	27,7	0,69	24	51,3	0,07	0,1	0,018
Março/15	N1	<b>2,16</b>	<b>4,93</b>	26,6	0,98	16	32,9	0,01	0,2	0,008
	RP1	<b>2,45</b>	<b>4,85</b>	26,8	2,15	15	31,4	0,02	0,2	0,009
	N2	<b>1,23</b>	<b>4,03</b>	26,6	0,77	22	45,9	0,01	0,3	0,01
	RI1	<b>3,04</b>	<b>4,8</b>	27,1	3,36	16	34,6	0,11	0,2	0,014
	N3	<b>1,67</b>	<b>4,37</b>	26,9	5,79	18	37,7	0,36	0,3	0,009
	RP2	<b>2,16</b>	<b>4,79</b>	27,4	11,8	18	38,1	0,08	0,2	0
	RI2	5,39	<b>5,3</b>	27,7	10,1	95	202	0,17	0,1	<LD
Maio/15	N1	<b>3,14</b>	<b>5,65</b>	26,7	2,85	14	29,3	0,01	0,4	0,008
	RP1	<b>4,61</b>	<b>4,39</b>	26,6	8,95	12	24,8	0,02	0,2	0,011
	N2	<b>3,63</b>	<b>4,4</b>	27,3	3,62	11	23,7	0,03	0,2	0,01
	RI1	5,39	<b>5,29</b>	27,9	3,71	13	26,9	0,02	0,2	0,008
	N3	<b>2,16</b>	<b>5,34</b>	27,4	12,2	18	39	0,1	0,2	0,002
	RP2	5,88	<b>5,12</b>	28	14,3	16	35,1	<LD	0,1	0,01
	RI2	5,49	<b>5,14</b>	27,6	19,1	16	34,3	0,25	0,3	0,006
Agosto/15	N1	<b>0</b>	<b>5,55</b>	26,8	0,77	20	38	0,02	0,4	0,003
	RP1	<b>1,47</b>	<b>5,7</b>	27,2	1,69	20	42,2	0,05	0,4	0
	N2	<b>2,94</b>	<b>5,2</b>	26,6	1,26	15	31,3	0	0,5	<LD
	RI1	<b>3,53</b>	<b>5,87</b>	27,2	3,67	17	36,8	0	0,4	<LD
	N3	<b>0,49</b>	<b>5,35</b>	27,4	2,64	24	52	0	0,5	<LD
	RP2	<b>3,14</b>	<b>5,35</b>	28,4	6,58	15	33	0,01	0,4	0,007
	RI2	5,39	<b>5,6</b>	29,5	8	15	32,5	0	0,5	0,009
Outubro/15	N1	<b>1,76</b>	<b>4,78</b>	27,2	0,72	16	33,4	0,04	0,3	0,007
	RP1	<b>1,37</b>	<b>4,87</b>	27,4	1,11	18	37,2	0,11	0,3	0,002
	N2	<b>0,78</b>	<b>4,54</b>	27,1	0,56	17	37,1	0,01	0,3	0,007
	RI1	<b>1,47</b>	<b>4,76</b>	28,9	5,78	22	46	0,01	0,2	0,012
	N3	<b>2,16</b>	<b>4,97</b>	27,8	2,83	21	44,8	0	0,2	0,011
	RP2	<b>1,18</b>	<b>4,78</b>	28,4	3	23	49,7	0,01	0,3	0,01
	CONAMA 357/05	> 5	6 a 9			100	500		3,7	10

**APÊNDICE E: Resultados dos parâmetros físico-químicos em águas subterrâneas**

	Pontos	OD (mg/l)	Ph	Temp (°C)	Turb (UNT)	TDS (mg/l)	CE (µS/cm)	Sal (‰)	NH <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
Nov/14	P1	4,71	<b>5,24</b>	27,8	0,54	25	52,2	0	0,06	1,1	
	P2	1,06	<b>4,51</b>	28,4	4,37	18	39,6	0	0	1,3	
	P3	3,94	<b>5,3</b>	29,2	<b>28,6</b>	39	83,4	0	0,07	1,3	
	P4	3,46	<b>4,97</b>	28,3	0,71	41	88,1	0	0,21	1,8	
Fev/15	P1	5,48	<b>5,25</b>	27,8	0,64	42	89,8	0	0,18	0,4	0,019
	P2	1,73	<b>4,79</b>	27,9	3,69	15	33,2	0	0,03	0,1	0,03
	P3	1,44	<b>4,53</b>	28,6	1,32	21	44,5	0	0,08	0,2	0,016
	P4	2,98	<b>5</b>	27,6	2,35	48	102,2	0	0,12	0,2	0,014
Mar/15	P1	2,94	<b>4,34</b>	27,8	4,48	16	33,3	0	0,06	0,3	0,012
	P2	1,37	<b>4,56</b>	27,4	3,05	26	56,4	0	0	0,3	0,017
	P3	4,41	<b>5,51</b>	28	<b>5,7</b>	94	200	0,1	0,03	1,4	0,015
	P4	2,25	<b>5,24</b>	27,5	1,97	125	265	0,1	0,03	0,3	0,02
Mai/15	P1	3,43	<b>4,35</b>	27,3	2,52	21	44,8	0	<LD	0,4	0,005
	P2	1,47	<b>5,1</b>	27,2	1,44	23	49,5	0	<LD	0,3	0,015
	P3	1,08	<b>5,6</b>	28,3	<b>22</b>	89	189	0,1	0,08	0,7	0,014
	P4	2,84	<b>5</b>	27,7	1,9	117	247	0,1	0	0,3	0,01
Ago/15	P1	0,98	<b>5,05</b>	27,5	0,56	17	36,6	0	<LD	0,4	0,012
	P2	0,39	<b>4,96</b>	27,2	4,48	21	44,8	0	<LD	0,4	0,01
	P3	1,57	<b>5,27</b>	28,3	<b>7,88</b>	46	97,9	0	0,73	0,5	0,003
	P4	2,45	<b>5,2</b>	27,6	<b>5,13</b>	54	115,5	0,1	<LD	0,4	0,013
Out/15	P1	1,96	<b>4,36</b>	27,6	1,51	17	35,9	0	0,02	0,2	0,01
	P2	1,27	<b>4,13</b>	27,6	<b>5,85</b>	17	36,1	0	0	0,2	0,011
	P3	0,59	<b>5,77</b>	29,5	<b>51</b>	107	225	0,1	0,46	0,2	0,013
	P4	2,75	<b>5,43</b>	28,4	<b>21</b>	54	115	0,1	<LD	0,2	0,013
	Portaria 2914/11		6,0 a 9,5		5	1000			1,5	10	1

\*<LD: Abaixo do Limite de Detecção

Fonte: Autora.

**APÊNDICE F: Resultados da concentração de metais pesados em águas superficiais**

		Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
Nov	N1	0,051	< LD	<LD	0,002	<b>1,192</b>		0,016	< LD	<LD	0,012
	RP1	0,072	< LD	0,000	0,002	<b>3,466</b>		0,020	< LD	<LD	0,002
	N2	<b>0,101</b>	< LD	<LD	0,001	<b>2,877</b>		0,009	< LD	<LD	0,031
	N3	<b>0,115</b>	< LD	<LD	<LD	<b>0,826</b>		0,019	< LD	<LD	0,002
	RP2	< LD	< LD	<LD	0,001	<LD		<LD	< LD	<LD	<LD
Fev	N1	<b>0,470</b>	0,001	0,003	0,005	<b>0,870</b>	<b>0,002</b>	0,022	0,007	<b>0,018</b>	0,013
	RP1	<b>0,102</b>	0,000	0,004	0,007	<b>2,954</b>	<b>0,002</b>	0,045	0,006	0,001	0,013
	N2	0,088	0,000	0,003	0,003	<b>1,160</b>	0,001	0,010	0,003	<b>0,013</b>	0,014
	N3	<b>0,101</b>	0,000	0,003	0,005	<b>0,816</b>	0,001	0,062	0,006	0,004	0,015
	RP2	0,074	0,001	0,002	0,001	<b>0,596</b>	0,001	0,012	0,003	<LD	0,071
Mar	N1	0,087	< LD	0,002	< LD	0,111	0,001	0,013	< LD	< LD	0,001
	RP1	0,072	< LD	0,001	< LD	0,274	0,001	0,014	0,002	< LD	0,003
	N2	<b>0,267</b>	< LD	0,002	< LD	0,229	<b>0,002</b>	0,007	< LD	< LD	0,001
	RI1	0,094	< LD	0,000	< LD	0,163	0,001	0,008	< LD	< LD	0,006
	N3	<b>0,109</b>	< LD	0,002	< LD	0,096	0,001	0,027	0,001	< LD	0,005
	RP2	<b>0,129</b>	< LD	0,001	< LD	<b>0,434</b>	0,001	0,012	0,001	< LD	0,001
	RI2	0,051	< LD	0,000	< LD	<b>0,313</b>	0,001	0,008	< LD	< LD	< LD
Mai	N1	<b>0,243</b>	0,001	< LD	0,002	<b>0,842</b>	0,001	0,006	0,001	<b>0,021</b>	0,006
	RP1	0,099	0,000	< LD	0,001	<b>0,645</b>	0,000	0,012	0,001	<b>0,038</b>	0,012
	N2	<b>0,175</b>	0,000	< LD	0,002	0,185	0,000	0,034	< LD	<b>0,041</b>	0,002
	RI1	0,088	0,000	< LD	< LD	0,272	0,000	0,008	0,003	<b>0,030</b>	0,015
	N3	<b>0,161</b>	0,001	< LD	0,001	<b>0,919</b>	0,001	0,029	0,004	0,009	0,005
	RP2	<b>0,131</b>	0,001	< LD	0,000	<b>0,665</b>	0,000	0,017	< LD	<b>0,016</b>	0,013
	RI2	<b>0,129</b>	0,000	< LD	0,003	<b>0,635</b>	0,001	0,014	0,005	<b>0,015</b>	0,008
Ago	N1	0,084	0,003	< LD	0,003	<b>3,403</b>	0,001	0,008	0,009	< LD	0,002
	RP1	<b>0,106</b>	0,001	< LD	0,002	<b>4,347</b>	0,000	0,022	0,001	< LD	0,006
	N2	<b>0,110</b>	0,001	< LD	< LD	<b>2,152</b>	0,000	0,004	< LD	<b>0,015</b>	< LD
	RI1	0,052	0,000	< LD	0,000	<b>1,206</b>	0,000	0,017	0,000	0,003	< LD
	N3	0,066	0,001	< LD	0,010	<b>1,700</b>	0,000	0,027	< LD	< LD	0,014
	RP2	<b>0,115</b>	0,001	< LD	0,001	<b>1,888</b>	0,000	0,013	< LD	< LD	< LD
	RI2	0,045	0,001	< LD	0,002	<b>1,882</b>	0,000	0,013	< LD	< LD	< LD
Out	N1	0,069	0,000	0,001	<LD	<b>0,435</b>	0,001	0,015	<LD	0,008	0,002
	RP1	0,060	<LD	<LD	<LD	<b>2,854</b>	0,001	0,017	<LD	<LD	<LD
	N2	0,092	<LD	<LD	<LD	<b>1,273</b>	0,001	0,012	<LD	<LD	0,001
	RI1	0,072	<LD	<LD	<LD	<b>2,777</b>	0,001	0,051	0,003	<LD	<LD
	N3	0,045	<LD	<LD	<LD	0,277	0,001	0,033	0,001	<LD	<LD
	RP2	0,077	<LD	<LD	<LD	<b>0,813</b>	0,001	0,015	<LD	<LD	0,001
VM P	0,1 mg/L	0,001 mg/L	0,05 mg/L	0,009 mg/L	0,3 mg/L	0,0002 mg/L	0,1 mg/L	0,025 mg/L	0,01 mg/L	0,18 mg/L	

\*<LD: Abaixo do Limite de Detecção

Fonte: Autora.

### APÊNDICE G: Resultados da concentração de metais pesados em águas subterrâneas

		Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
Nov	P1	0,013	< LD	<LD	0,002	0,161		0,006	< LD	<LD	<LD
	P2	0,089	< LD	<LD	0,004	<b>0,545</b>		0,009	< LD	<LD	0,013
	P3	<b>0,517</b>	< LD	0,000	0,002	<b>0,326</b>		0,007	< LD	<LD	0,006
	P4	0,083	< LD	<LD	0,000	<b>0,863</b>		0,014	< LD	<LD	0,017
Fev	P1	<b>0,109</b>	0,000	0,003	0,002	0,153	0,001	0,042	0,007	0,005	0,015
	P2	<b>0,274</b>	0,001	0,004	0,003	<b>0,353</b>	0,001	0,010	< LD	<LD	0,013
	P3	0,082	0,001	0,002	0,002	0,253	0,001	0,010	0,006	0,002	0,042
	P4	<b>0,143</b>	0,001	0,003	0,005	<b>0,360</b>	0,001	0,087	0,000	<LD	0,020
Mar	P1	<b>0,182</b>	< LD	0,000	< LD	0,014	0,001	0,014	0,002	< LD	0,003
	P2	0,104	< LD	0,003	< LD	0,134	0,001	0,008	< LD	0,004	0,002
	P3	<b>0,580</b>	< LD	0,001	< LD	0,037	0,001	0,032	0,000	< LD	0,027
	P4	0,078	< LD	< LD	< LD	0,179	0,001	0,015	< LD	< LD	0,005
Mai	P1	0,067	0,000	0,000	0,001	0,022	0,001	0,009	< LD	0,007	0,005
	P2	0,051	0,000	< LD	< LD	0,113	0,000	0,053	< LD	0,008	0,010
	P3	<b>0,262</b>	< LD	0,001	0,004	<b>1,123</b>	0,000	0,037	0,007	<b>0,014</b>	0,023
	P4	<b>0,130</b>	< LD	0,001	0,002	<b>0,302</b>	0,001	0,014	< LD	<b>0,028</b>	0,006
Ago	P1	0,036	0,002	< LD	0,001	0,079	0,000	0,012	0,000	<b>0,130</b>	0,003
	P2	0,044	0,002	< LD	0,005	<b>0,626</b>	0,000	0,005	< LD	<b>0,132</b>	0,002
	P3	<b>0,347</b>	0,000	0,002	0,005	<b>3,091</b>	0,000	0,030	0,004	0,001	0,021
	P4	0,099	< LD	0,001	0,004	<b>0,315</b>	0,000	0,012	0,003	< LD	0,005
Out	P1	0,042	<LD	<LD	<LD	0,068	<b>0,003</b>	0,025	0,004	<LD	<LD
	P2	0,084	<LD	<LD	<LD	<b>0,628</b>	0,001	0,008	<LD	<LD	<LD
	P3	<b>0,145</b>	<LD	0,000	<LD	<b>3,659</b>	<b>0,002</b>	0,073	0,002	<LD	0,008
	P4	<b>0,151</b>	<LD	<LD	<LD	<b>0,494</b>	0,001	0,055	0,006	<LD	0,005
	VM P	0,2 mg/L	0,005 mg/L	0,05 mg/L	2 mg/L	0,3 mg/L	0,001 mg/L	0,1 mg/L	0,07 mg/L	0,01mg L	5 mg/L

\*<LD: Abaixo do Limite de Detecção

Fonte: Autora.

## ANEXOS

### ANEXO A: Pontos de coleta

N1 em Outubro/2015 (a) e RP1 em Maio/2015 (b)



N2 em Agosto/2015 (c) e RI1 em Maio/2015 (d)



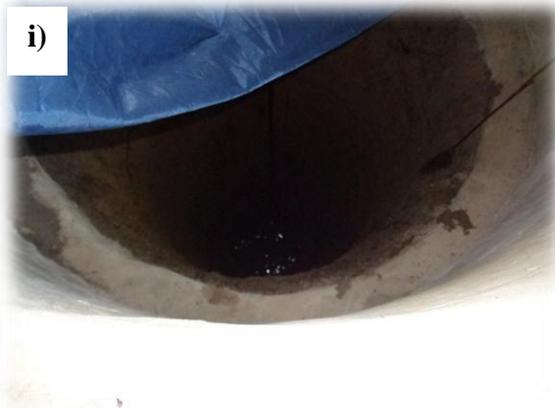
N3 em Novembro/2014 (e) RP2 em Outubro (f)



RI2 em Agosto/2015 (g)



P1 (h) e P2 (i) em Outubro/2015



P3 em Outubro/2015 (j) e P4 em Agosto/2015 (k)



## ANEXO B: Procedimentos para análises

### Determinação do Oxigênio Dissolvido por meio do Método de Winkler



### Transporte e filtração de amostras

