

Mestrado Profissional
Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais

SANDERSON SILVA TEIXEIRA

**ESTUDO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E
ESTIMATIVA DE BACKGROUND NA ÁREA DAS MINAS DE
FERRO DA SERRA NORTE, CARAJÁS**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado Profissional em Uso Sustentável de
Recursos Naturais em Regiões Tropicais do
Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento
Sustentável (ITV DS).

Orientador: Dr. Roberto Dall'Agnol

Coorientador: Dr. Prafulla Kumar Sahoo

Belém – PA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T266e Teixeira, Sanderson Silva

Estudo da Qualidade das Águas Superficiais e Estimativa de Background na Área de Influência das Minas de Ferro da Serra Norte, Carajás / Sanderson Silva Teixeira -- Belém-PA, 2015.

126 f.: il.

Dissertação (mestrado) -- Instituto Tecnológico Vale, 2015.

Orientador: Dr: Roberto Dall'Agnol

1. Qualidade da água. 2. Background geoquímico. 3. Minas de
4. Serra Norte. 5. Serra dos Carajás. Título.

CDD 23. ed. 628.16

SANDERSON SILVA TEIXEIRA

**ESTUDO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS
E ESTIMATIVA DE BACKGROUND NA ÁREA DAS
MINAS DE FERRO DA SERRA NORTE, CARAJÁS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável do Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV).

Data da aprovação:

Banca examinadora:

Dr. Roberto Dall'Agnol
Orientador - ITV

Dr. José Francisco Berredo Reis da Silva
Membro externo – Museu Paraense Emilio Goeldi (MPEG)

Dr. José Francisco da Fonseca Ramos
Membro externo - Autônomo

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a:

“Ao meu querido e amado pai, **Luiz Barroso Teixeira**, pela dedicação ao trabalho e amor incondicional a sua família”.

In memoriam.

“A minha querida e amada mãe, **Natária Pinho Silva Teixeira**, pela dedicação, força, coragem, fortaleza e razão das minhas conquistas”.

“A minha querida e amada esposa, **Lidiane Colares Rebelo Teixeira**, pela confiança, paciência, companheirismo, amizade e apoio nas horas mais difíceis, fundamentais para mais esta conquista.

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que tem me proporcionado nesta vida, pois é a minha força, meu refúgio e minha fortaleza e sem Ele não sou nada.

A todos meus familiares os quais tem me apoiado neste árduo caminho da busca pelo conhecimento.

Ao Instituto Tecnológico Vale – ITV e áreas de educação da Vale, pela iniciativa e oportunidade para meu crescimento profissional.

A toda Gerência de Meio Ambiente Ferrosos Norte pela contribuição, dedicação e profissionalismo.

Ao João Carlos Henriques, Marlene Furtado da Costa e Ana Carolina Pupo, pelo incentivo, liderança e contribuição para meu crescimento profissional.

Ao meu orientador, Dr. Roberto Dall’Agnol, e meu coorientador, Dr. Prafulla Kumar Sahoo, pela dedicação, paciência, conhecimento e orientação, fundamentais para realização deste trabalho.

A Ciomara Rabelo de Carvalho pela parceria e contribuição de grande relevância para o desenvolvimento deste estudo.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para que este estudo se tornasse realidade.

RESUMO

O desenvolvimento deste estudo foi baseado na necessidade do entendimento da dinâmica e a disponibilidade dos elementos-traço, bem como suas concentrações em áreas consideradas naturais, sem interferência antrópica, por serem considerados fundamentais para a definição de padrões de qualidade da água e gestão dos recursos hídricos, nas áreas dos corpos minerais de N3 e N4WSul, localizados na província mineral de Carajás.

Inicialmente foi realizada uma avaliação dos dados obtidos no monitoramento destas áreas, em relação à sazonalidade da região, padrões de qualidade das águas definidas nas legislações aplicáveis, assim como com a utilização do índice de qualidade da água – IQA.

Em relação aos limites legais, foram identificadas não conformidades para os parâmetros pH, cobre dissolvido, manganês total, alumínio dissolvido, sulfeto, ferro dissolvido, chumbo total, cádmio total, zinco total, oxigênio dissolvido, níquel total, substâncias tensoativas, nitrato, fósforo total, cor verdadeira e selênio. Portanto, verifica-se que mesmo em áreas consideradas naturais sem interferência de atividades antrópicas, valores acima dos padrões normatizados podem ser identificados, levando em consideração as características intrínsecas destes ambientes.

Na avaliação do IQA, os resultados obtidos enquadram entre “boa” e “ótima” a qualidade das águas superficiais da região, sendo estes resultados condizentes com os tipos de ambientes avaliados, considerados como áreas naturais, sem interferência antrópica, portanto adequados para estimativa de background.

Para estimativa dos valores de background geoquímico, definido pela United States Environmental Protection Agency - EPA como Valor de Referência da Qualidade – VRQ, foi utilizado o software ProUCL, versão 5.0.00. O cálculo do VRQ baseou-se na medida estatística do limite superior simultâneo - LSS, o qual prevê que futuras observações, em qualquer número, pertençam à população representada pelo conjunto, com uma confiança estatística definida, neste caso, de 95% (LSS95). Os resultados de VRQ forneceram em muitos casos valores iguais ou superiores aos limites máximos estipulados pela

legislação, fazendo com que muitos parâmetros não apresentem conformidade em relação aos padrões legais.

A pesquisa realizada buscou a aplicação de uma metodologia apta definir as condições naturais do ambiente estudado em termos de background geoquímico, fundamentais para a definição de padrões de qualidade da água e gestão dos recursos hídricos. Conclui-se que é irrealista a atribuição de metas de enquadramento inferiores aos valores de background definidos.

Palavras-chave: Qualidade da água. Background geoquímico. Minas de Ferro. Serra Norte. Serra dos Carajás.

ABSTRACT

This study was focused in the concentration of trace elements in areas considered natural, without anthropogenic interference, because they are considered fundamental for the definition of water quality standards and management of water resources. The area selected for study is located near the N3 and N4WSul iron mines, in the Carajás mineral province, Pará state, Brazil.

A preliminary evaluation of the data obtained in the monitoring of these areas was carried out considering the seasonality of the region and the water quality standards defined in the applicable legislations, as well as the water quality index - IQA.

Regarding Legal limits, non-conformities were identified for the parameters pH, dissolved copper, total manganese, dissolved aluminum, sulfide, dissolved iron, total lead, total cadmium, total zinc, dissolved oxygen, total nickel, surface-active substances, nitrate, total phosphorus, true color and selenium. Therefore, it is verified that even in areas considered natural or with minimal interference of anthropic activities, values above the normalized standards were identified and it is concluded that they reflect the intrinsic characteristics of these environments.

In the evaluation of the IQA, the results obtained indicated that the surface water quality of the region can be classified between "good" and "optimum". These results are satisfactory and consistent with the type of environment evaluated.

The geochemical background, defined by the United States Environmental Protection Agency - EPA as Quality Reference Value - VRQ, was estimated using ProUCL software, version 5.0.00. The calculation of the VRQ was based on the statistical measure of simultaneous upper limit - LSS, which deals with the concentrations at 95% of statistical confidence interval. For the parameters that presented non-conformities, the results of VRQ indicate values equal to or higher than the upper limits stipulated by the legislation. The obtained results are considered as representative of the natural conditions of the studied area. It is concluded that detailed surveys are fundamental to the definition of water quality and water management standards and it is considered unrealistic the use of maximum contents of several elements as defined in actual regulations, which

are lower than the values of background obtained in this research for the specific studied environment.

Keywords: Water Quality. Geochemical Background. Iron Mines. Serra Norte. Carajás.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sub-bacias que compõem a bacia do rio Itacaiúnas. Fonte: VALE/AMPLO (2010).	22
Figura 2 – Dados históricos de pluviometria média mensal (mm; período de 1982 a 2015) por estação climática nas minas de Ferro Carajás.....	23
Figura 3 – Série histórica de 1982 a 2015 dos dados pluviométricos (mm) por estação climática nas minas de Ferro Carajás.....	24
Figura 4 – Geologia dos corpos de minério de ferro N3 e N4WSul da Serra Norte de Carajás. Fonte: VALE/AMPLO (2010).	28
Figura 5 – Exemplo de Percentagem cumulativa vs. Concentração de um elemento (mg/kg). Fonte: Matschullat et al. (2000, sua Fig. 2).....	40
Figura 6 - Exemplo de aplicação da análise gráfica de boxplot (REIMANN et al. 2005)	42
Figura 7 – Microbacias da área de influência das Minas de Ferro da Serra Norte - Carajás.....	44
Figura 8 – Localização dos pontos de amostragem das águas superficiais nas proximidades das Minas de Ferro da Serra Norte - Carajás.	45
Figura 9 – Etapas de estimativa do valor de referência da qualidade (VRQ)...	51
Figura 10 – Etapas de ordenamento e exportação de dados para o software.	52
Figura 11 – Etapas de análise exploratória dos dados – primeira parte.....	53
Figura 12 – Etapas de análise exploratória dos dados – segunda parte.....	54
Figura 13 – Etapas de estimativa do VRQ	56
Figura 14 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro pH em N4WSul.	57
Figura 15 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro alumínio dissolvido em N4WSul.....	58
Figura 16 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro ferro dissolvido em N4WSul.	58
Figura 17 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro manganês total em N4WSul.	59

Figura 18 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro chumbo total em N4WSul.	59
Figura 19 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro cádmio total em N4WSul.....	60
Figura 20 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro zinco total em N4WSul.....	60
Figura 21 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro níquel total em N4WSul.	61
Figura 22 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro cobre dissolvido em N4WSul.	61
Figura 23 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro turbidez em N4WSul.	62
Figura 24 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro STD em N4WSul.....	62
Figura 25 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro pH em N3.	63
Figura 26 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro alumínio dissolvido em N3.	64
Figura 27 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro ferro dissolvido em N3.	64
Figura 28 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro manganês total em N3.	65
Figura 29 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro chumbo total em N3.	65
Figura 30 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro cádmio total em N3.	66
Figura 31 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro zinco total em N3.	66
Figura 32 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro níquel total em N3.	67
Figura 33 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro cobre dissolvido em N3.	67

Figura 34 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro turbidez em N3.....	68
Figura 35 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro sólidos totais dissolvidos em N3.	68
Figura 36 – Relação de Pontos e Parâmetros que Apresentaram Concentrações Não Conformes – Corpo Mineral N4WSul.....	76
Figura 37 – Relação de Pontos e Parâmetros que Apresentaram Concentrações Não Conformes – Corpo Mineral N3	77
Figura 38 – Dados IQA versus índice pluviométrico – Corpo Mineral N3.....	79
Figura 39 – Gráfico box plot para os valores de IQA obtidos nos diferentes pontos de amostragem do Corpo Mineral N3.....	80
Figura 40 – Gráfico box plot para os diferentes parâmetros que compõem o IQA – Corpo Mineral N3.	81
Figura 41 – Dados IQA versus índice pluviométrico – Corpo Mineral N4WSul.	82
Figura 42 – Gráfico box plot para os valores de IQA obtidos nos diferentes pontos de amostragem do Corpo Mineral N4WSul	83
Figura 43 – Gráfico box plot para os diferentes parâmetros que compõem o IQA – Corpo Mineral N4WSul.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diferentes definições do termo <i>background Geoquímico</i> por Rodrigues & Nalini (2009).	35
Tabela 2 – Diferentes métodos utilizados na determinação de valores de background geoquímico (Modificado de Galuszka, 2007b).....	38
Tabela 3 – Coordenadas e descrições dos pontos de monitoramento selecionados para a área de influência das Minas de Ferro N3 e N4WSul.....	46
Tabela 4 – Faixas de classificação de IQA utilizadas nos estados brasileiros.	50
Tabela 8 – Síntese estatística dos valores de IQA obtidos nos pontos de amostragem do Corpo Mineral N4WSul.....	84
Tabela 9 - Resumo dos Resultados do Teste de Tendência – Corpo Mineral N4WSul no período Dez/2014-Jan/2015.	87
Tabela 9 (Continuação) - Resumo dos Resultados do Teste de Tendência – Corpo Mineral N4WSul no período Dez/2014-Jan/2015.	88
Tabela 9 (Continuação) - Resumo dos Resultados do Teste de Tendência – Corpo Mineral N4WSul no período Dez/2014-Jan/2015.	89
Tabela 9 (Continuação) - Resumo dos Resultados do Teste de Tendência – Corpo Mineral N4WSul no período Dez/2014-Jan/2015.	90
Tabela 10 - Resumo dos Resultados do Teste de Tendência – Corpo Mineral N3 no período Maio/2014 – Maio/2016.	91
Tabela 10 (continuação) - Resumo dos Resultados do Teste de Tendência – Corpo Mineral N3.	92
Tabela 11 – Concentrações de Background – Corpo Mineral N4WSul.....	95
Tabela 12 – Concentrações de Background – Corpo Mineral N3.	96
Tabela 13 – Concentrações de Background – Área dos Corpos Minerais de N3 e N4WSul	97
Tabela A1 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-01	112
Tabela A2 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-02	113
Tabela A3 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-03	114

Tabela A2– Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-04	115
Tabela A3 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-05	116
Tabela A4 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-06	117
Tabela A5 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-07	118
Tabela A6 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-09	119
Tabela A7 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-25	120
Tabela A8 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-26	121
Tabela A9 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N6-01	122
Tabela A10 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral N3 no ponto N3-3.....	123
Tabela A13 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral N3 no ponto N3-4.....	124
Tabela A14 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral N3 no ponto N3-5.....	125
Tabela A115 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral N3 no ponto N3-6.....	126
Tabela A16 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral N3 no ponto N3-7.....	127
Tabela A17 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral N3 no ponto N3-8.....	128

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA - Agência Nacional de Águas
APHA - American Public Health Association
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
DS - Desenvolvimento Sustentável
ICMBio – Instituto Chico Mendes da Biodiversidade
ISO - International Organization for Standardization
ITV - Instituto Tecnológico Vale
LSC - Limite superior do intervalo de confiança da média
LSP - Limite superior do intervalo em torno da média, que inclui as futuras observações k (≥ 1)
LSS - Limite superior simultâneo do intervalo de confiança
LST - Limite superior do intervalo de confiança de um percentil do conjunto
NSF - National Sanitation Foundation
SEMAS – Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade
US-EPA - United States Environmental Protection Agency
VRQ - Valores de Referência da Qualidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 OBJETIVOS.....	19
1.1.1 Objetivos Gerais.....	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
1.2 JUSTIFICATIVA	19
2 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	21
2.1 HIDROGRAFIA.....	21
2.2 PLUVIOMETRIA	23
2.3 GEOLOGIA REGIONAL	25
2.3.1 Geologia do Corpo Mineral N4WSul	26
2.3.2 Geologia do Corpo Mineral N3.....	27
2.4 HIDROGEOLOGIA	29
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	29
3.1 IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	29
3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA ÁGUA	31
3.3 PRINCÍPIOS E PROCESSOS DE CONTROLE DA ÁGUA NATURAL .	31
3.3.1 Reações Químicas	32
3.3.2 Hidroquímica	33
3.4 CONCEITOS E DEFINIÇÕES DE BACKGROUND GEOQUÍMICO	34
3.5 MÉTODOS UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DE BACKGROUND	
GEOQUÍMICO	38
4 MATERIAIS E MÉTODOS	43
4.1 PONTOS DE MONITORAMENTO.....	43
4.2 SELEÇÃO DOS PARÂMETROS E ELEMENTOS A SEREM	
ANALISADOS	47
4.3 PERÍODO E FREQUÊNCIA DE REALIZAÇÃO DAS AMOSTRAGENS	47
4.4 PROCEDIMENTOS DE COLETAS E ENSAIOS ANALÍTICOS	48
4.5 TRATAMENTO DOS DADOS	48
4.6 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA - IQA.....	49
4.7 ESTIMATIVA DOS VALORES DE BACKGROUND	51

4.7.1 Etapas da estimativa	51
4.7.2 Ordenamento	52
4.7.3 Análise exploratória: primeira parte	52
4.7.4 Análise exploratória: segunda parte	53
4.7.5 Estimativa do VRQ	55
5 RESULTADOS OBTIDOS	57
5.1 AVALIAÇÃO SAZONAL	57
5.2 CONFORMIDADE LEGAL	69
5.3 CÁLCULO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA - IQA	78
5.4 CÁLCULO DOS VALORES DE BACKGROUND	85
5.4.1 Avaliação de Tendência	85
5.4.2 Concentrações de Background Natural	93
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	98
7 CONCLUSÕES	101
REFERÊNCIAS	104
APÊNDICE	111

1 INTRODUÇÃO

A Província Mineral de Carajás localiza-se na Floresta Nacional de Carajás - FLONACA, criada em 02 de fevereiro de 1998 por meio do Decreto Federal 2486/98. As reservas de minério de Ferro de Carajás estão localizadas em quatro jazidas: Serra Norte, Serra Sul, Serra Leste e Serra São Félix, sendo as duas últimas localizadas fora da Floresta Nacional de Carajás. Situam-se a uma altitude média de 650 metros acima do nível do mar no sudeste do Estado do Pará. Durante os trabalhos de complementação de pesquisa geológica para as jazidas de minério de ferro, foram descobertas também jazidas de minério de manganês, assim como depósitos expressivos de níquel, estanho, cobre, alumínio e ouro (DOCEGEO, 1988).

A região de ocorrência dos corpos minerais ferríferos de N3 e N4WSul, alvos do presente estudo, está inserida na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, sendo a área dos depósitos drenada pelos Igarapés Gelado, Geladinho e Jacaré, todos fazendo parte da sub-bacia do rio Parauapebas, afluente da margem direita do rio Itacaiúnas.

Trata-se de uma região com grande riqueza mineral, cujas características geológicas podem favorecer o aporte expressivo de elementos químicos em seus cursos d'água. Logo, estudos para conhecimento das características naturais destes corpos hídricos são essenciais, pois deverão servir de base para a gestão dos recursos hídricos.

Em particular, a definição de parâmetros físico-químicos e dos conteúdos em elementos metálicos nas águas superficiais, assim como a estimativa de valores de background geoquímico dos diferentes elementos, na área de ocorrência das minas de ferro Carajás, é de extrema relevância para diferenciação da origem de anomalias geoquímicas, seja a partir de fontes naturais, seja por influência antropogênica, decorrente das atividades de exploração de minério de ferro.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

Este estudo tem como objetivo a determinação das características químicas das águas superficiais da região onde estão inseridos os corpos minerais de N3 e N4WSul em Carajás. Esta avaliação dará subsídios para o estabelecimento de valores de background dessas áreas preservadas, fundamentais para a definição de padrões de qualidade da água e gestão dos recursos hídricos da região.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Contextualização dos dados obtidos no monitoramento da qualidade da água superficial, em áreas consideradas naturais, com relação às características geológicas e hidrogeológicas da área de estudo.
- Determinação da composição das águas superficiais nas proximidades da área de ocorrência dos corpos minerais N3 e N4WSul em Carajás.
- Verificação da adequabilidade dos conteúdos de variáveis químicas e físico-químicas da água dos diferentes elementos e parâmetros da água com relação aos limites regulamentados pelas legislações aplicáveis.

1.2 JUSTIFICATIVA

Há muita controvérsia a respeito dos valores de referência para conteúdo de elementos metálicos em águas superficiais e solos que devem ser considerados em estudos ambientais. No Brasil, o padrão de classificação e diretrizes de enquadramento dos corpos hídricos, estabelecidos por meio da resolução CONAMA 357/2005, foi simplesmente assimilado do vigente em outro país e se aplica indistintamente para qualquer região do Brasil, apesar de suas dimensões continentais, ambientes geológicos diversificados e grandes variações climáticas. Por outro lado, diversos autores assinalaram a relação direta existente entre o ambiente geológico e os conteúdos de elementos metálicos em águas superficiais e solos e a dificuldade existente para definir background geoquímico sem levar em conta os condicionantes locais,

geológicos e de outra natureza (REIMANN; GARRETT, 2005; RODRIGUEZ et al., 2013). (REIMANN; GARRETT, 2005, p. 13) enfatizam que muitos autores assumem para a definição de background geoquímico a existência de homogeneidade geoquímica regional e que a única fonte de variação seria devida a influências antropogênicas. Eles criticam tal premissa que tem sido adotada amplamente por agências ambientais, acompanhada pela percepção de que os elementos químicos se encontram presentes no ambiente natural não modificado somente em concentrações inferiores às aquelas que resultam da contaminação antropogênica. O fato de historicamente os geólogos e geoquímicos de exploração terem utilizados anomalias naturais de diferentes elementos químicos para prospectar depósitos minerais (HAWKES; WEBB, 1962), com muitos casos de sucesso comprovado, revela de modo claro que isso não corresponde à realidade.

A Província de Carajás se formou em um ambiente geológico muito particular. Possui idade arqueana, grande diversidade litológica e contém uma ampla variedade de depósitos minerais, muitos deles de classe mundial e já transformados em minas ativas. Não se pode definir facilmente qual é o conteúdo natural de muitos elementos na província sem um mapeamento geoquímico sistemático. A importância do presente estudo está associada, dentre outros fatores, ao entendimento da dinâmica e a disponibilidade dos elementos-traço. Ele busca definir com maior clareza as suas concentrações no ambiente natural, fundamentais para a definição de padrões de qualidade da água e gestão dos recursos hídricos da região. Além disso, este projeto deverá permitir uma visualização mais consistente dos teores dos diferentes elementos em águas superficiais não afetadas por ações antropogênicas e permitirá, assim, a correta avaliação de potenciais impactos ambientais delas decorrentes.

Embora sejam conhecidas as dificuldades para definir background geoquímico em águas superficiais, por serem submetidas a amplas variações de difícil controle, tanto naturais (climáticas, geológicas e biológicas), quanto de origem antropogênica (GALUSZKA, 2007), é importante buscar definir valores de referência que permitam identificar impactos futuros.

2 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 HIDROGRAFIA

A área em que se situam os corpos minerais N3 e N4WSul em Carajás é drenada, em termos regionais pela bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas. Na porção central da Floresta Nacional de Carajás, há um grande divisor de águas, representado por diversos segmentos de relevo de direção aproximada NW-SE, que definem o platô de Carajás. Este divide a rede de drenagem em duas vertentes opostas, sendo que a vertente oeste flui para o rio Itacaiúnas e a vertente leste para o rio Parauapebas, seu principal afluente (Fig. 1). Os principais afluentes do Itacaiúnas são os rios Cateté, Aquiri, Cinzento, Tapirapé e Preto, pela margem esquerda e os rios Pium, Azul, Parauapebas, Vermelho e Sororó, pela margem direita (Fig. 1).

Em termos locais, a área de estudo encontra-se no domínio da sub-bacia do Rio Parauapebas. Esse rio nasce na Serra Arqueada e é formado pela junção do ribeirão do Caracol e do córrego da Onça. Flui na direção Sul-Norte, recebendo os seguintes afluentes pela margem esquerda: córrego da Goiaba, Rio Sossego e igarapés do Taboca, Jacaré e Gelado (também conhecido como Cigano ou Mombuca). Pela margem direita, seus afluentes são os rios Plaquê, Verde, Novo e Caracol e o igarapé Ilha do Côco.

A figura 1 apresenta as sub-bacias hidrográficas que compõem a bacia do rio Itacaiúnas, onde estão inseridas as principais minas em exploração pela Vale. A área de influência do projeto está delimitada em amarelo no mapa e está localizada nas subdivisões do baixo e médio Parauapebas.

No alto curso do Rio Parauapebas, bem como em suas sub-bacias afluentes pela margem direita, as drenagens são geralmente intermitentes, possuindo escoamento apenas na estação chuvosa, de novembro a abril. Nos meses de junho a outubro, período de estiagem, permanecem secas. Essa característica predomina também nas drenagens de primeira ordem em toda a extensão da bacia (VALE/AMPLO, 2010).

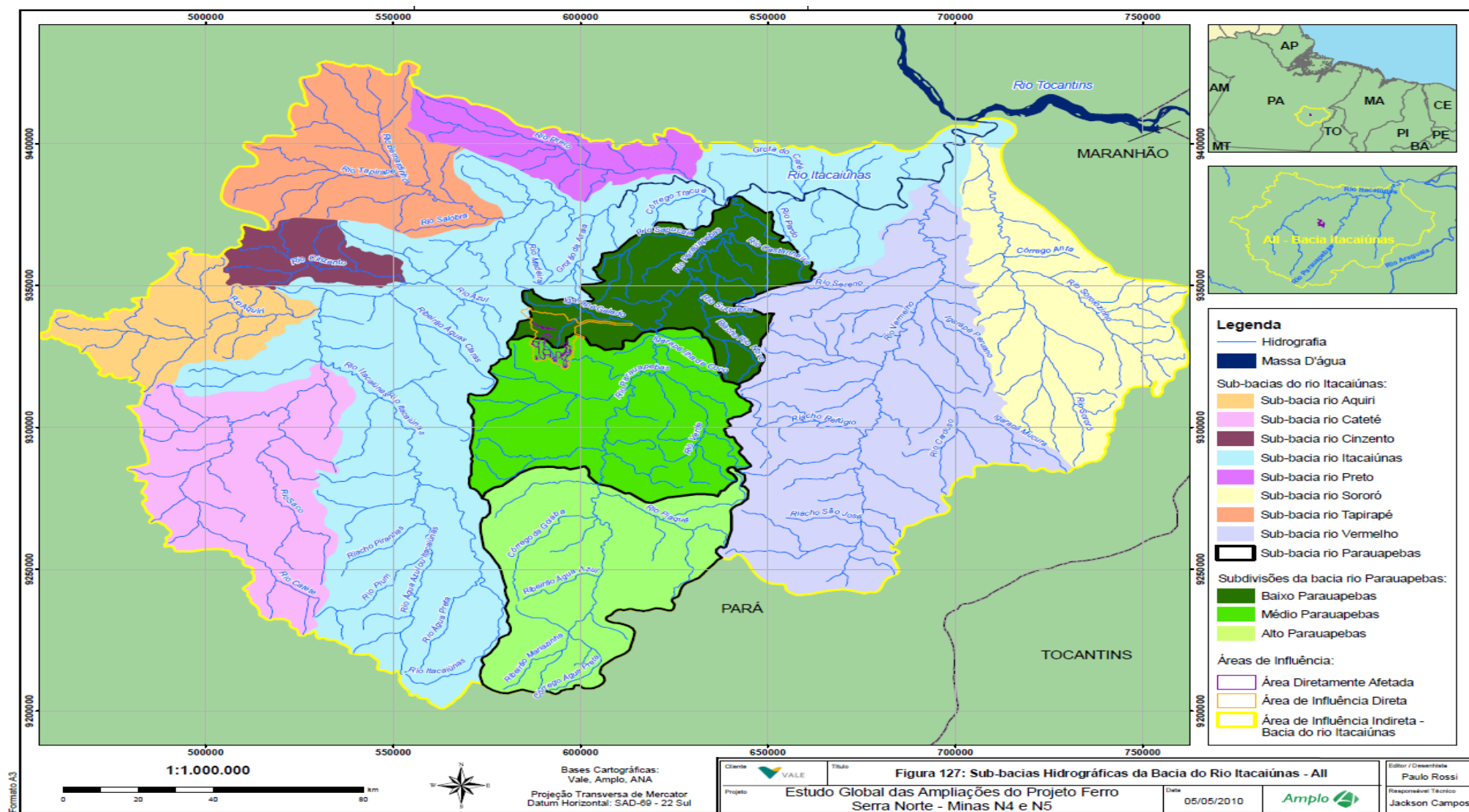


Figura 1 – Sub-bacias que compõem a bacia do rio Itacaiúnas. Fonte: VALE/AMPLO (2010).

2.2 PLUVIOMETRIA

A qualidade das águas na região de estudo é influenciada pela sazonalidade. Na figura 2 são apresentados os dados da estação pluviométrica da Vale, localizada na mina de Ferro N4, complexo Carajás, por meio da qual se verifica que as precipitações pluviométricas não estão distribuídas igualmente durante o ano, mas apresentam dois períodos sazonais distintos e bem definidos. As médias de amplitude pluviométrica anual (diferença entre a pluviometria do mês mais chuvoso – março – e do mês menos chuvoso – julho), observadas, são da ordem de 300 mm. O período de estiagem (estação seca) inicia-se em maio e estende-se a outubro, enquanto que o período chuvoso (estação chuvosa) está compreendido entre os meses de novembro a abril. Os períodos de abril a maio e de outubro e novembro, correspondem aos meses de transição. O período chuvoso concentra, em média, aproximadamente 80% do total anual de precipitação pluviométrica, sendo o trimestre mais seco representado pelos meses de junho, julho e agosto. A precipitação média anual varia de 109 mm, na estação seca, até 2.368 mm na estação chuvosa, na Floresta Nacional de Carajás (Figura 3).

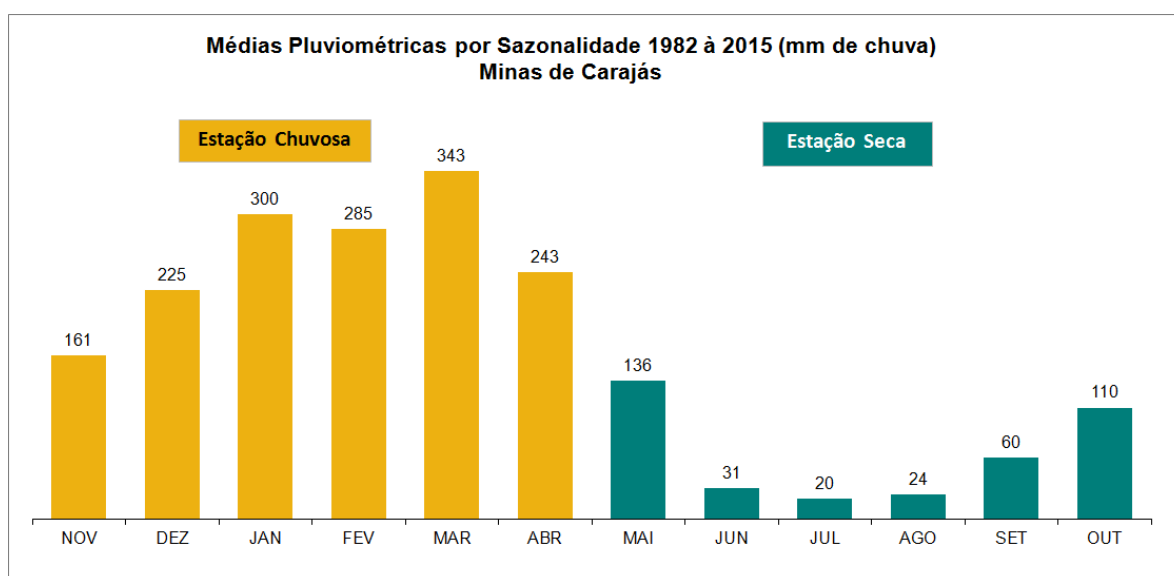


Figura 2 – Dados históricos de pluviometria média mensal (mm; período de 1982 a 2015) por estação climática nas minas de Ferro Carajás.

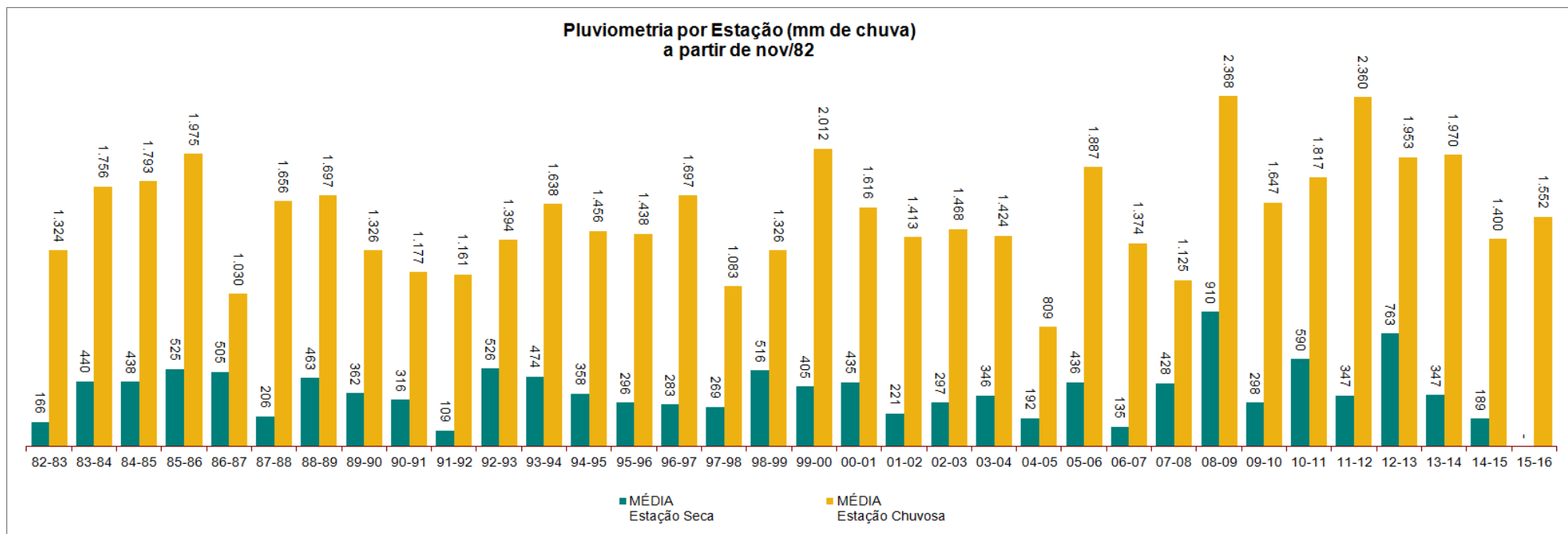


Figura 3 – Série histórica de 1982 a 2015 dos dados pluviométricos (mm) por estação climática nas minas de Ferro Carajás.

2.3 GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo está localizada na porção leste-sudeste do Estado do Pará e inserida na Província Geotectônica de Carajás, a principal província mineral do Brasil, com minas ativas de ferro, cobre, ouro, níquel e manganês. De modo geral, esta província é formada por unidades arqueanas eoproterozóicas, estas subordinadas, parcialmente cobertas por formações lateríticas terciárias e sedimentos aluviais quaternários. Predominam estruturas de direção WNW-ESSE.

Na figura 4, é apresentado o mapa geológico da área de influência direta das minas de ferro da Serra Norte de Carajás, sendo que na microbacia selecionada para estudo estão expostas rochas do Grupo Grão-Pará de idade arqueana, sequências sedimentares da Formação Águas Claras e o Granito Central da Serra dos Carajás, este de idade paleoproterozoica. O Grupo Grão-Pará possui grande relevância econômica porque engloba as formações ferríferas que são recobertas parcialmente por coberturas lateríticas e constituem a fonte dos principais depósitos de ferro explorados na região. Foi dividido por Beisiegel et al. (1973) em três unidades: Sequência Paleovulcânica Inferior (atualmente Formação Parauapebas); Formação Carajás; e Sequência Paleovulcânica Superior (atualmente Igarapé Cigarra).

A Formação Parauapebas é representada por rochas vulcânicas máficas geradas em diversos derrames basálticos, que formam um corpo estratiforme em contato concordante com a Formação Carajás sobrejacente (MEIRELLES et al., 2010).

A Formação Carajás é formada por formações ferríferas bandadas e seus produtos de alteração, ocorrendo na forma tabular entre as rochas máficas. Segundo Beisiegel (1982) a formação ferrífera é constituída por jaspilitos meso e microbandados formados por bandas alternadas de jaspe e óxidos de ferro. Os jaspilitos formaram-se por precipitação química em plataformas marginais de águas rasas, em período de calma tectônica e perto de fumarolas com ampla distribuição areal (MACHADO et al., 1991).

A Formação Igarapé Cigarra (MACAMBIRA et al., 1990) é formada por basaltos com intercalações de tufos recobertos por sedimentos clásticos e químicos. As rochas vulcânicas básicas são semelhantes às daquelas da Formação

Parauapebas, das quais se diferenciam por conter intercalações lenticulares de formação ferrífera. Esta unidade é questionada por alguns autores, seja em termos dos litotipos que a compõem (GIBBS et al., 1986), seja, por sua inclusão no Grupo Grão Pará (MEIRELLES, 1986; MEIRELLES & DARDENNE, 1991; LINDENMAYER et al., 2001; TEIXEIRA, 1994; TEIXEIRA et al., 1997). Diques e sills de gabro e diabásio cortam as unidades anteriormente descritas.

A Formação Águas Claras se sobrepõe discordantemente ao Grupo Grão-Pará e é constituída por sequência siliciclástica dominada por arenitos com conglomerados e pelitos subordinados e formada em ambiente plataformar (NOGUEIRA et al., 1995). O Granito Central da Serra dos Carajás secciona as unidades arqueanas e a Formação Águas Claras e possui idade paleoproterozoica (MACHADO et al., 1991). No Cenozoico formaram-se as coberturas superficiais compostas por depósitos lateríticos, depósitos elúvio-coluviais e depósitos aluviais.

2.3.1 Geologia do Corpo Mineral N4WSul

O depósito N4WSul encontra-se no domínio da Serra de Carajás, em sua porção norte e corresponde a um projeto de lavra de um corpo mineral posicionado contíguo à mina de N4, configurando-se como uma extensão das atividades de lavra do Corpo N4W em direção sul.

O corpo de minério N4WSul possui forma alongada segundo a direção N-S, extensão de oito quilômetros e espessura de até 200 metros, de acordo com informações de furos de sondagem já realizados. A mineralização possui forma de lente, cuja extensão lateral varia em diferentes porções do corpo, podendo alcançar mais de 1.000 metros. A capa e a lapa são formadas pelas rochas metavulcânicas máficas ou indiferenciadas decompostas.

A estruturação do Corpo N4WSul é marcada por deslocamentos do minério por falhamentos de direção WNW-ESE e, subordinadamente por falhamentos NW-SE. As atitudes do bandamento do minério/jaspilito variam de N20° - 40°W com mergulhos de 65°- 80° para SW na porção norte, central e sul. Uma característica marcante do Corpo N4WS é a ocorrência de lagoas de expressiva distribuição areal ao longo do Platô.

2.3.2 Geologia do Corpo Mineral N3

O depósito mineral N3 encontra-se no domínio da Serra de Carajás, em sua porção norte. A Serra Norte, por sua vez, é composta por um alinhamento de corpos ferruginosos – N1 a N9 – que se dispõem ao longo de um platô contínuo em termos de distribuição espacial. O depósito N3 encontra-se imediatamente a oeste do corpo N4 e caracteriza-se por um platô de cerca de 2,7 km de extensão e 3,5 km² de área onde se tem a ocorrência de canga de minério.

Este platô permanece na paisagem devido ao suporte litológico fornecido pelo Grupo Grão Pará e pelas cangas ferruginosas que se desenvolvem a partir das formações ferríferas e das rochas máficas. A altitude média no planalto da Serra dos Carajás situa-se em torno de 700m, destacando-se que a declividade não varia muito nos topos.

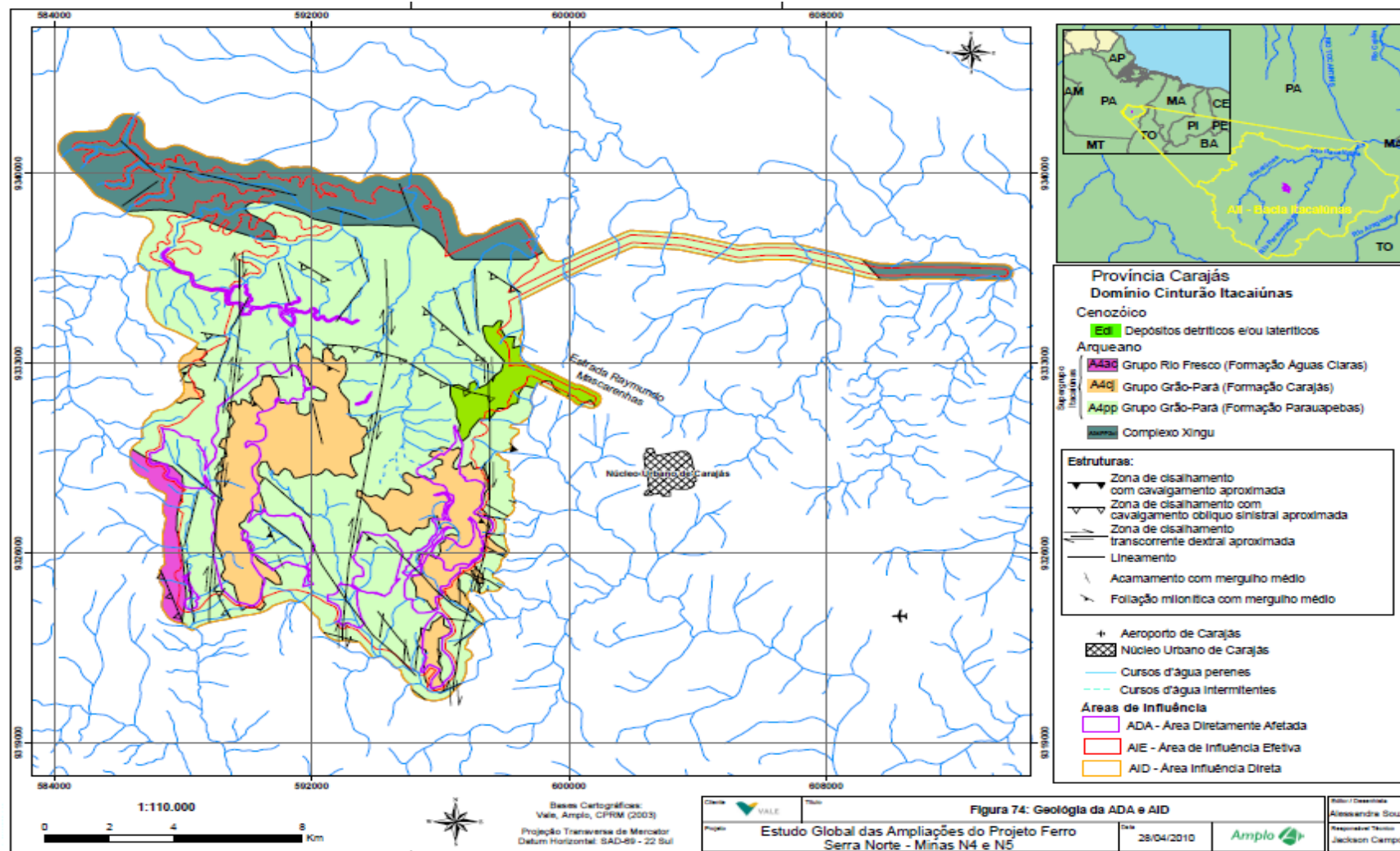


Figura 4 – Geologia dos corpos de minério de ferro N3 e N4WSul da Serra Norte de Carajás. Fonte: VALE/AMPLO (2010).

2.4 HIDROGEOLOGIA

Com base no atual conhecimento do arcabouço geológico-estrutural da região de Carajás e no mapeamento regional das unidades lito-estratigráficas, associadas às unidades aquíferas com suas respectivas características hidrodinâmicas localmente identificadas, VALE/AMPLO (2010) logrou a definição e distribuição das unidades hidrogeológicas na área de influência do empreendimento.

O principal sistema aquífero é constituído pelos litotipos ferríferos da Formação Carajás, unidade cuja interface estratigráfica basal é marcada pelas rochas máficas da Formação Parauapebas, enquanto que sua interface de topo se dá com os metabasaltos da Formação Paleovulcânica Superior (ou Formação Igarapé Cigarra).

As rochas máficas acima referidas, via de regra apresentam baixa permeabilidade, salvo em zonas onde o substrato litológico encontra-se mais cisalhado, podendo constituir aquícludes em meio de rocha sã ou aquípardos quando em meio de rocha decomposta. Em consequência, o sistema aquífero associado ao Grupo Grão-Pará, com uma geometria de dobramento e cisalhamentos transcorrentes, encontra-se lito-estratigraficamente encaixado em rochas de baixa permeabilidade (VALE/AMPLO, 2010).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir é apresentado o referencial teórico que subsidiou a realização do estudo da qualidade das águas superficiais e estimativa de background na área de influência das minas de Ferro da Serra Norte, Carajás.

3.1 IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA

Todos os organismos necessitam de água para sobreviver, sendo sua disponibilidade um dos fatores mais importantes a moldar os ecossistemas. A disponibilidade de água significa dizer que ela está presente não somente em quantidade adequada, mas que sua qualidade deve ser satisfatória para suprir as necessidades de um determinado conjunto de seres vivos. Além dos problemas relacionados à quantidade da água, causados por estiagens e cheias,

há também aqueles relacionados à qualidade, que é resultante de fenômenos naturais e das atividades antrópicas.

Conforme sumarizado em ANA (2012), estima-se que 96,54% da água que existe no mundo esteja nos oceanos. Há também muitos lagos salgados e presume-se que mais da metade da água subterrânea também seja salgada. No cômputo geral, portanto, podemos dizer que 97,5% da água que existe é salgada. Considerando como sendo água doce toda água que não é salgada, pode-se dizer que 2,5% da água que existe no mundo é doce. Acontece que mais de 2/3 da água doce ocorre nas geleiras e na cobertura permanente de neve sobre as montanhas e as regiões polares, de difícil acesso. Restam, portanto, tão somente cerca de 1/3 da água doce existente. Contudo, mais de 96% dessa água doce restante está confinada nos poros ou entranhada nas fissuras das rochas subterrâneas, em formações conhecidas como aquíferos. Ainda resta um pouco de água doce (pouco mais de 0,3%). Porém, mais de 3/4 desse volume restante são placas de gelo flutuantes, estão em pântanos ou em forma de umidade do solo em grande parte permanentemente congelado. A outra quarta parte que restou está nos rios e nos lagos, na atmosfera — em forma de vapor e de nuvens — e na composição do corpo dos vegetais e dos animais da Terra.

Em termos globais, o Brasil possui grande oferta de água, observando-se que circulam em média no território brasileiro cerca de 260.000 m³/s, dos quais 205.000 m³/s estão na bacia do rio Amazonas, sobrando para o restante do território 55.000 m³/s de vazão média.

Além dessas questões espaciais, o regime fluvial sofre variações ao longo do ano, que estão estreitamente relacionadas ao regime de precipitações. Na maior parte do Brasil, existe uma sazonalidade bem marcada, com estações secas e chuvosas bem definidas, de forma que ao final do período seco podem-se observar vazões muito abaixo da vazão média e, inclusive, ausência de água. Essa variabilidade das chuvas e vazões também é interanual, gerada pela ocorrência de anos mais secos e outros mais úmidos (ANA, 2015).

3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA ÁGUA

Entre as características químicas mais importantes da água, destaca-se o fato de a água ser um ótimo solvente, sendo chamada de solvente universal. Isso significa dizer que é capaz de dissolver um grande número de substâncias orgânicas e inorgânicas, sendo que algumas das substâncias dissolvidas são essenciais para sobrevivência dos organismos aquáticos.

A composição química da água natural é derivada de muitas fontes diferentes de solutos, incluindo gases e aerossóis da atmosfera, e erosão das rochas e solo, solução ou reações de precipitação que ocorrem abaixo da superfície da terra, e os efeitos resultantes de atividades humanas (HEM, 1985).

Na região Amazônica, por exemplo, mesmo em áreas desprovidas de ação antropogênica, encontram-se concentrações de ferro e manganês nas águas superficiais acima dos valores estabelecidos na resolução CONAMA 357/2005 (SEMAS/PA, 2012). Este fato é atribuído ao contexto geológico, pois são encontradas nesta região rochas ricas nestes elementos, o que, muitas vezes, favorece a sua lixiviação para o leito dos rios e para os aquíferos subterrâneos. Além disso, o clima tropical promove rápida e intensa degradação da matéria orgânica, originando ácidos naturais, reduzindo o pH e alterando a coloração da água. Ressalta-se, ainda, a quantidade elevada de mercúrio encontrada em condições naturais em alguns solos amazônicos. Portanto, ao se constatar valores anormalmente elevados de determinados elementos, faz-se necessário, além da investigação dos lançamentos próximos, o conhecimento das características naturais, especialmente das condições geológicas da área drenada (SEMAS/PA, 2012).

3.3 PRINCÍPIOS E PROCESSOS DE CONTROLE DA ÁGUA NATURAL

Os solutos contidos na água resultam de uma série de reações químicas antecedentes que causaram a dissolução de materiais, tendo alterado previamente componentes dissolvidos, ou tendo eliminado estes componentes da solução por precipitação ou outros processos. O processo químico é influenciado fortemente por atividades biológicas em alguns ambientes e por processos físicos naturais.

Os conceitos fundamentais relacionados aos processos químicos mais úteis no desenvolvimento de uma aproximação do quimismo da água natural são relacionados principalmente à termodinâmica química e aos mecanismos de reações (HEM, 1985).

3.3.1 Reações Químicas

No campo da química natural da água interessam principalmente as reações que ocorrem em solução aquosa relativamente diluída, embora em algumas águas naturais se encontrem raramente elevadas concentrações de solutos. Os sistemas de reação de interesse são geralmente heterogêneos, isto é, envolvendo uma fase líquida e uma fase sólida ou gasosa, ou as três fases.

Muitos tipos de reações são considerados importantes no estabelecimento e manutenção na composição da água natural. Uma reação irreversível é aquela em que os reagentes são totalmente convertidos em produtos e a afinidade química da reação pode não ser alcançada enquanto alguma quantidade de reagente químico permanece. Neste sentido, um processo reversível é aquele em que reagentes e produtos podem estar presentes quando a afinidade química da reação é zero, ou aproximadamente zero, para esta reação direta ou inversa. Isto pressupõe que para alcançar e sustentar esta condição, as reações direta e inversa ocorrem simultaneamente, pelo menos em uma microescala, e em taxas comparáveis quando as afinidades químicas das reações são pequenas.

No sistema aquático natural, para uma dada reação ser reversível ou irreversível os fatores determinantes são os fatores cinéticos e algumas características físicas do sistema de interesse, assim como as considerações termodinâmicas.

As reações químicas de interesse no sistema aquático natural podem ser de três tipos gerais: (1) processos imediatamente reversíveis, (2) processos em que a reversibilidade é impedida e, (3) processos que são irreversíveis no sentido fundamental (termodinâmica). Processos específicos nos sistemas de águas naturais representam uma continuidade dos tipos 1 para 3 (HEM, 1985).

3.3.2 Hidroquímica

A água é um solvente quimicamente muito ativo capaz de reagir com o meio percolado incorporando substâncias orgânicas e inorgânicas. Desta forma, quando considerados exclusivamente processos naturais, os principais constituintes presentes nas águas resultam de processos físicos e químicos de intemperismo de rochas. O intemperismo físico está associado à fragmentação das rochas. Já o intemperismo químico envolve processos de alteração mineral por meio de reações de hidratação/hidrólise, dissolução, precipitação, oxirredução e complexação (FAUST; ALY, 1981). Assim, são formados minerais secundários (de alteração) e liberados íons solúveis que são incorporados ao ambiente aquático.

Visto que as rochas apresentam condições de instabilidade na presença de água, o intemperismo químico pode ser interpretado como a tendência do sistema água/rocha a alcançar o equilíbrio físico-químico. Em águas subterrâneas, os solutos e suas concentrações são consequentes dos litotipos dos aquíferos, do tipo de alteração mineral, do fluxo e taxa de recarga do aquífero. Por sua vez, as reações químicas de alteração mineral dependem do tempo de contato água/rocha, temperatura, do CO₂ disponível e da presença de ácidos inorgânicos e orgânicos.

A composição física e química das águas subterrâneas irá refletir a mobilidade e solubilidade dos elementos envolvidos no processo de intemperismo (DREVER, 1997). Os cátions Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ são móveis e tendem a ser liberados facilmente por intemperismo; K⁺ é intermediário; Al³⁺ e Fe³⁺ apresentam menor mobilidade e tendem a permanecer no solo. Desta forma, os plagioclásios podem constituir fontes de Na⁺ e Ca²⁺ para o ambiente aquático, enquanto que biotita pode ser fonte de Mg²⁺ e K⁺ e o feldspato potássico de K⁺.

A presença de constituintes dissolvidos nas águas subterrâneas depende também de fatores externos ao meio percolado, tal como o clima (DREVER, 1997). As águas de chuva podem promover a concentração ou a diluição dos constituintes iônicos das águas subterrâneas. Além disso, as águas meteóricas podem ser importantes fontes de espécies químicas dissolvidas tais como Cl⁻, SO₄²⁻ e Na⁺.

A composição natural das águas superficiais também é controlada por inúmeros processos naturais, os quais incluem: geológicos e pedológicos (espécies minerais, tipos de solos); químicos (solubilidade dos minerais); geomorfológicos (variações de relevo), climáticos (temperatura, precipitação, evaporação) e biológicos (cobertura vegetal, presença de organismos).

As características naturais das águas podem ser alteradas em função do uso e ocupação do meio físico. A disposição inadequada de resíduos domésticos, industriais, de mineração, e a utilização de pesticidas e fertilizantes constituem as principais fontes de poluição ou contaminação dos recursos hídricos.

Variações na composição natural e a verificação de indícios de poluição ou contaminação das águas podem ser avaliadas por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Esta avaliação é fundamental para determinação da adequabilidade das águas em função do uso requerido.

3.4 CONCEITOS E DEFINIÇÕES DE BACKGROUND GEOQUÍMICO

Um conceito que tem sido amplamente utilizado como referência para distinguir concentrações naturais de um elemento e a influência das atividades antrópicas nestas concentrações é o de background geoquímico. Entretanto, o mesmo tem sido entendido e aplicado de diferentes formas entre os estudiosos das áreas ambientais.

Inicialmente este termo foi utilizado pelos geoquímicos para fins de prospecção mineral, com o objetivo de identificar e obter informações sobre eventuais anomalias geoquímicas, utilizadas em uma segunda etapa na busca de novas jazidas minerais (HAWKES; WEBB, 1962). Segundo Gałuszka & Migaszewski (2012), a mais antiga definição de background geoquímico se baseou na diferenciação entre as concentrações normais e anormais de substâncias no ambiente para fins de prospecção geoquímica e geoquímica exploratória, uma vez que o principal objetivo desses estudos, em geral, era a busca de anomalias positivas. A identificação das fontes não era relevante, mas sim o estabelecimento de concentrações típicas destes elementos em diferentes ambientes, pois estas permitiam a detecção de concentrações anômalas.

Segundo Langmuir (1997), a descoberta de concentrações anormais de metais e espécies afins nas águas superficiais tem sido assumida, como uma boa ferramenta de prospecção de jazidas de minério próximos (cf. LANGMUIR & CHATHAM, 1980; WANTY, CHATHAM, LANGMUIR, 1987).

Seguem algumas definições de background geoquímico:

(1) A abundância normal de um elemento em solo ou rocha estéril (HAWKES & WEBB, 1962);

(2) A concentração normal de um determinado elemento em um material sob investigação, tal como rocha, solo, plantas e água (BATES; JACKSON, 1984).

Atualmente o estabelecimento de valores de background tem assumido um papel muito importante em diferentes áreas das ciências ambientais. Entretanto, as variações de conceitos têm criado discussões a respeito das diversas definições empregadas para este termo.

Segundo Matschullat, Ottenstein e Reimann (2000a), apesar da existência de grande número de menções ao termo background geoquímico, parece não haver definição clara ou consenso sobre sua definição, sendo utilizado muitas vezes de forma imprecisa. O autor acrescenta que, considerando a relevância do background geoquímico na diferenciação entre as influências naturais e as não naturais ou antrópicas, é importante que seja dedicado algum esforço tanto para se chegar a sua conceituação clara e inequívoca, quanto na definição dos métodos necessários para a obtenção das informações que permitam estabelecer o background.

Gałuszka (2007) apresenta diversos conceitos do termo background em diferentes situações ambientais, os quais foram tabulados por Rodrigues & Nalini (2009) e são apresentados na tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Diferentes definições do termo *background Geoquímico* por Rodrigues & Nalini (2009).

VARIANTES	DEFINIÇÕES	REFERÊNCIAS
Background Ambiental	“Concentrações de substâncias inorgânicas naturais e de substâncias inorgânicas de origem antrópica que são representativas de uma dada região”	Natural resources and environmental protection cabinet (2004)

Background Antropogênico	Concentrações observadas em uma dada região tipicamente como resultado de atividades humanas (Não necessariamente relacionadas a uma atividade de contaminação).	Portier (2001)
	Produtos químicos presentes no meio ambiente devido às atividades humanas não relacionadas a fontes específicas de contaminação.	NFESC (2002)
Background Local	Concentrações de substâncias perigosas presentes consistentemente no meio ambiente, não relacionadas à liberação por atividades antropogênicas.	Model Toxics Control Act – Cleanup (2001)
Background Natural	Quantidades de substâncias naturais no meio ambiente isentas de fonte antropogênica de poluição.	Natural resources and environmental protection cabinet (2004)
	Concentração de substâncias perigosas no meio ambiente não relacionadas à liberação por atividades antropogênicas.	Model Toxics Control Act – Cleanup (2001)
	Concentrações de elementos químicos presentes no meio ambiente não influenciadas por atividades antrópicas.	NFESC (2002)
Background Pedogeoquímico	Concentrações naturais de elementos presentes no solo	Baize & Sterckeman (2001)
Background Pré – Industrial	Concentrações de diferentes elementos de materiais coletados e datados, de áreas estudadas no período pré-industrial.	Matschullat (2000a)

Apesar das similaridades observadas nas respectivas definições, observam-se divergências. Em termos gerais, o background geoquímico é entendido principalmente como um valor natural de um elemento para um determinado meio não impactado por atividades antrópicas (GOUGH, 1993). Dentre as diferentes definições apresentadas, a que mais se assemelha a este conceito e que melhor representa a proposta deste estudo, é a de background natural.

Segundo Galuszka (2007b), há necessidade de se criar uma terminologia e estabelecer uma definição precisa para uma gama de aplicações do termo "background geoquímico" em ciências ambientais e exploração geoquímica.

Outro termo bastante utilizado nos estudos ambientais, relacionado ao background geoquímico, é o baseline. Para Galuszka & Migaszewski (2012), o baseline é a concentração atual de uma substância química numa amostra ambiental contemporânea. Por outro lado, Edmunds et al. (2002) definem o

baseline de uma substância em águas subterrâneas como “a concentração de um dado elemento, espécie ou substância química em solução, a qual é derivada de fontes naturais de origem geológica, biológica ou atmosférica”.

Em contrapartida, Reimann & Garrett (2005, p.14) não são favoráveis a utilização deste termo, que é usado algumas vezes em equivalência ao background ou background ambiental, e busca definir ou inferir os níveis de contaminação atuais de determinados elementos, de forma que mudanças futuras destes níveis possam ser quantificadas.

Segundo Gough (1993), o baseline representa as concentrações em um dado momento e, geralmente, não corresponde ao verdadeiro background. As concentrações de baseline são normalmente expressas como um intervalo, e não um valor único. Para o referido autor, os três principais objetivos para o estudo de background e baseline são:

- Descrever as características químicas e variações de um ambiente - O estudo deve dizer algo sobre a composição dos materiais amostrados, bem como sobre sua distribuição ou padrão em toda a paisagem.
- Avaliar o grau ou intensidade de alteração do meio ambiente – O estudo de *baseline* deve também avaliar as mudanças no ambiente devidas às atividades humanas.
- Fornecer informações básicas necessárias aos estudos de processos ambientais.

A definição de background a partir de estudos ambientais pode gerar padrões para um determinado grupo de elementos. A distribuição ou padrão em toda a paisagem, em conjunto com informações sobre geologia, solos e plantas da área, ajuda a explicar processos tais como mobilização, transporte e deposição dos elementos no ambiente.

Conforme mencionado anteriormente, é particularmente difícil definir o background geoquímico em águas naturais devido à grande variabilidade espacial e temporal deste meio (GALUSZKA, 2007), e isto deve ser considerado em qualquer estudo desta natureza.

3.5 MÉTODOS UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DE BACKGROUND GEOQUÍMICO

Diversos métodos são utilizados na determinação do background geoquímico, dentre os quais, três são citados e discutidos por Galuszka (2007b), sendo eles, (i) o direto (geoquímico), (ii) o indireto (estatístico) e (iii) integrado, os quais são apresentados resumidamente na tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Diferentes métodos utilizados na determinação de valores de background geoquímico (Modificado de Galuszka, 2007b; Rodrigues & Nalini, 2009; Kelley & Taylor, 1997).

MÉTODOS	ANÁLISES DE DADOS	EXPRESSÃO DOS VALORES DE BACKGROUND	REQUISITOS PRINCIPAIS
Direto (geoquímico)	Aspectos históricos/Aspectos Contemporâneos – Requer entendimento sobre o comportamento geoquímico dos elementos estudados	Média ou mediana (valores individuais)	Amostras não influenciadas antropologicamente
Indireto (Estatístico)	Análise de regressão; Método Fractal; Gráficos de probabilidade; Técnicas usadas para eliminar outliers.	Valores proporcionais	Grande conjunto de dados (> 50)
Integrado	-----	O limite superior de uma gama de Valores.	Amostras em áreas naturais. Conhecimento especializado.

Os métodos geoquímicos diretos são baseados na análise de amostras reconhecidas como não influenciadas antropologicamente. Segundo Rodrigues & Nalini (2009), nestes estudos, os valores de background são geralmente apresentados como médias ou medianas da concentração de metais de uma área ou depósito sedimentar que não sofreu influência antropogênica. Conforme discutido por Costa (2007), a determinação de um dado valor de background, por esse método, requer um conhecimento sobre o comportamento geoquímico dos elementos estudados e sobre as condições ambientais prevalecentes, incluindo o entendimento de condições paleoambientais e sedimentológicas, que nem sempre são facilmente entendidas.

Como exemplo de utilização deste método é citado por Galuszka (2007b) o estudo conduzido por Kelley & Taylor (1997), no qual os autores coletaram amostras de águas naturais de áreas não impactadas e determinaram valores de background no noroeste do Alasca, e o estudo realizado por Kelley et al. (2003), os quais utilizaram o método direto para investigar concentrações de cobre (Cu) no nordeste do Chile.

Os métodos indiretos (estatísticos) abrangem várias técnicas, que incluem análise de regressão (mínimos quadrados parciais a análise de regressão), o método do fractal e gráficos de probabilidade, mas, acima de tudo, as técnicas usadas para eliminar outliers, que podem ser consequência de efeitos de influência antropológica. Segundo Galuszka (2007b), os métodos estatísticos de avaliação de background são criticados por muitos geoquímicos (cf. REIMANN & GARRETT, 2005) por negligenciar a importância de processos naturais que influenciam a distribuição de elementos ou compostos químicos em ambientes naturais e por não considerar as incertezas nas fases de tratamento das amostras, incluindo a realização da amostragem, preparação da amostra e análises químicas. Em outras palavras, segundo os críticos, os defensores desta abordagem são principalmente fundamentados em números e não dão o devido peso a uma grande variedade de fatores que influenciam nas concentrações de substâncias em ambientes naturais.

O método integrado de background geoquímico faz uma avaliação que combina a abordagem direta e indireta. No entanto, o pré-requisito para isso é que as amostras sejam coletadas em áreas relativamente intactas (por exemplo, parques nacionais, áreas com natureza preservada, ecossistemas florestais), selecionando uma área de estudo com garantias de que os ecossistemas não foram submetidos à influência antropogênica direta.

Diferentes métodos estatísticos são utilizados para a determinação do background geoquímico. Em geral, levam em conta a distribuição do conjunto de dados dos diferentes elementos analisados (apresentados em histogramas, box plots, gráficos de probabilidade, etc.) e aplicam técnicas variadas para a identificação de valores que fogem do padrão dominante e são definidos como outliers. Muitos autores recomendam a eliminação de outliers de um conjunto de

dados originais, por serem considerados como não representativos da tendência dominante e poderem resultar de efeitos de ações antropogênicas.

Um método muito utilizado durante a década de 1970 para avaliação de background foi o de Lepeltier (LEPELTIER, 1969), o qual parte da avaliação dos gráficos de frequências acumuladas ou somas cumulativas, em escala logarítmica dupla ou bilogarítmica. Este método foi desenvolvido para a prospecção mineral, mas também é aplicável para determinar o background geoquímico, considerando que o mesmo é utilizado com o objetivo de detectar anomalias geoquímicas positivas (MATSCHULLAT et al., 2000). O referido uso se baseia no pressuposto de que concentrações de elementos-traço possuem uma distribuição log-normal. Em outras palavras, adota-se a premissa de que a distribuição de elementos-traço em materiais segue distribuição log-normal (ou de Gauss), sendo os valores expressos em escala logarítmica (AHRENS, 1954; SHAW, 1961). Projetando-se as “somas cumulativas vs. concentração do elemento”, em escala bilogarítmica, um desvio da distribuição log-normal pode ser percebido como uma inflexão na parte superior da curva, representando uma anomalia (LEPELTIER, 1969). Na Figura 5 (MATSCHULLAT et al., 2000, sua Fig. 2), as duas setas apontam para duas inflexões importantes que separam amostras que apresentam valores de background do elemento analisado (0 - 70%), de amostras que possuem concentrações elevadas do elemento, as quais refletiriam anomalias positivas naturais (70 - 90%) e, finalmente, amostras que sofreram influência antropogênica (>90 - 100%).

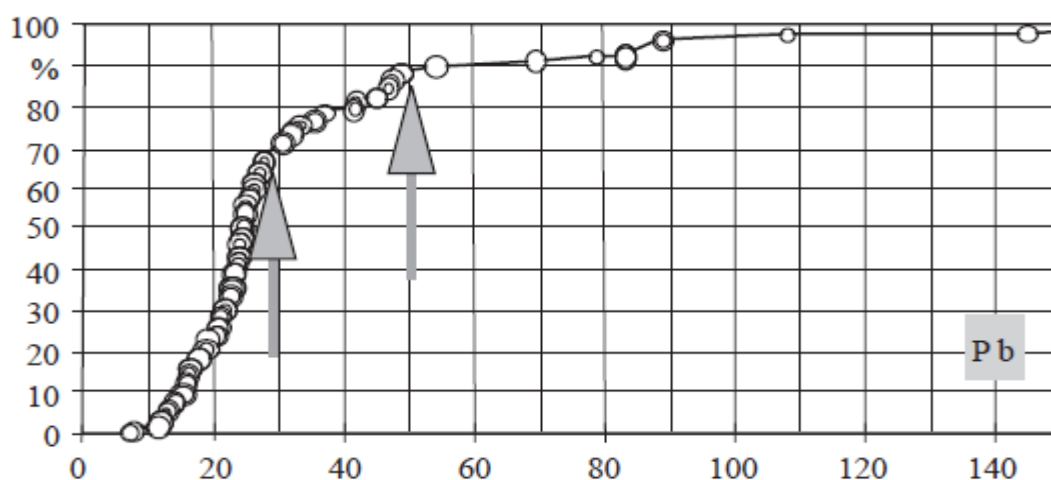


Figura 5 – Exemplo de Percentagem cumulativa vs. Concentração de um elemento (mg/kg). Fonte: Matschullat et al. (2000, sua Fig. 2).

Reimann, Filzmoser e Garrett. (2005) avaliaram os métodos estatísticos empregados para determinação de background geoquímico e concluíram que, se o número de outliers for inferior a 10%, o método do box plot ou box and whisker (Figura 7) é o mais adequado para o tratamento de dados geoquímicos, pois permite a identificação de valores extremos ou outliers (TUKEY, 1977). Além disso, a partir de uma seleção de classes preliminares, aquele método pode ser empregado para mostrar a distribuição espacial dos dados em mapa e isto tem se revelado um instrumento poderoso para identificar os processos geoquímicos chaves por detrás da distribuição de dados. Se a proporção dos outliers for maior que 15%, somente o método (medianaF2 MAD*) vai funcionar adequadamente. Ele permanece válido até que a população de outliers passa a dominar o conjunto de dados (50%). Os referidos autores consideram que os métodos do 'box plot com limiares internos' e medianaF2 MAD [O desvio absoluto médio (MAD or medmed) é definido como a média dos desvios absolutos da média de todos os dados (TUKEY, 1977)] são mais adequados para estimar o intervalo de background do que o método (médiaF2 desvio padrão), que foi utilizado em trabalhos clássicos, mas deve ser deixado de lado em função do amplo acesso a métodos estatísticos mais poderosos.

O box plot divide os valores das ordenadas dos dados em quatro partes iguais, em primeiro lugar situando a mediana (representada como uma linha no box), e, em seguida, definindo a posição do limite dos quartis superior (75% dos dados) e inferior (25% dos dados) que irão corresponder, respectivamente, ao limite superior e inferior do box central, que contém, assim, cerca de 50 % dos dados. Os limiares superior e inferior (upper and inner fences) são situados nos valores correspondentes a 1,5 vezes à extensão do comprimento da caixa central em direção, respectivamente, ao valor máximo e ao valor mínimo. Um segmento de reta vertical conecta o topo da caixa ao maior valor observado e outro segmento conecta a base da caixa ao menor valor observado. Este segmento denomina-se whisker ou 'fio de bigode', sendo que quaisquer valores que excedam os whiskers são definidos como dados discrepantes ou outliers e são marcados por um símbolo especial (Fig. 6). Os outliers extremos correspondem a valores maiores que os correspondentes ao valor do limiar

superior mais três vezes a largura do box central ou, de modo análogo, ao valor do limiar inferior menos três vezes a largura do box central.

Os outliers extremos representam valores que são muito incomuns para o conjunto de dados como um todo. A construção do box plot baseado em quartis é consistente para até 25% de outliers de dados em ambas as extremidades da distribuição. Além disso, ele não é seriamente influenciado por diferentes distribuições de dados (HOAGLIN et al., 2000).

Segundo Rodrigues & Nalini (2009), no Brasil, valores de background para o Estado de São Paulo foram geralmente definidos com base no quartil superior (75%) dos resultados analíticos, conforme observados no estudo de Lemos (2001). Já, em solos da China, as concentrações de metais pesados em argilito foram usadas como padrões gerais (WANG, 1994).

Uma revisão detalhada dos métodos estatísticos utilizados para cálculo de background geoquímico foi feita por Reimann et al. (2005). Os autores concluíram que a construção de gráficos de box plots e de probabilidade cumulativa, juntamente com informação adquirida a partir de mapas geoquímicos, constitui-se na melhor maneira de avaliar o background. Ainda segundo aqueles autores, a construção de gráficos box plots, provou ser uma poderosa ferramenta chave para a identificação de processos geoquímicos com base em distribuição espacial de dados.

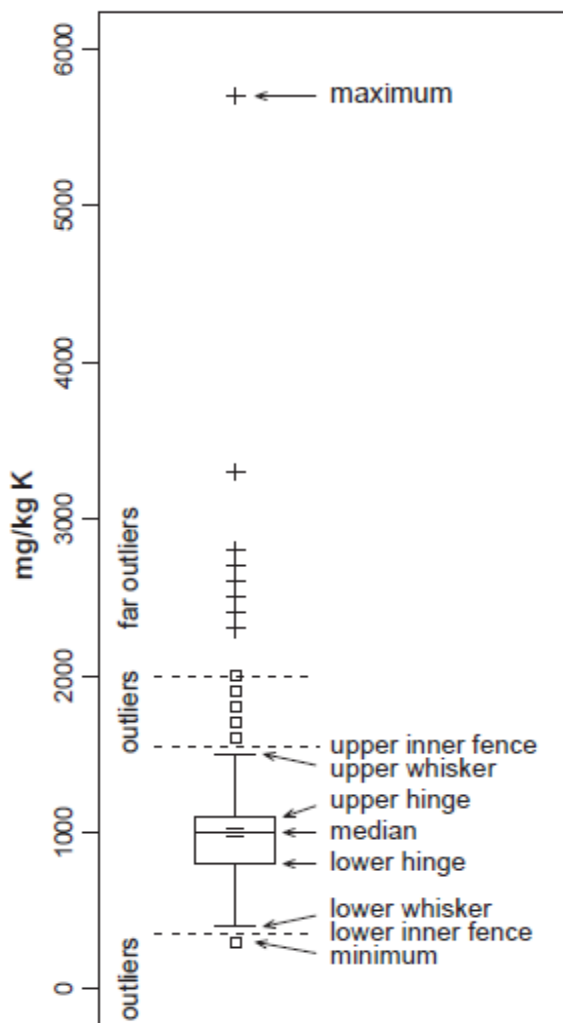


Figura 6 - Exemplo de aplicação da análise gráfica de boxplot (REIMANN et al. 2005)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi embasada em três etapas: (1) A primeira etapa consistiu na coleta de amostras de águas superficiais em 17 pontos de monitoramento (Fig. 3), localizados em áreas supostamente isentas de interferência antrópica, correspondentes a áreas consideradas 'naturais', ou seja, menos expostas a ações antropogênicas e distantes da zona de influência direta das minas em operação. (2) Em seguida foram realizadas análises físico-químicas das amostras das águas superficiais e posterior tratamento estatístico e interpretação dos dados obtidos. (3) A terceira etapa compreendeu a análise e interpretação dos dados e estimativa dos valores de background para a área definida neste estudo.

4.1 PONTOS DE MONITORAMENTO

A definição da rede amostral contemplou pontos representativos associados à ocorrência dos diferentes domínios lito-estratigráficos correlacionados aos seus respectivos domínios hidrogeológicos nas áreas de influência dos corpos minerais de N3 e N4WSul. Estes são basicamente representados pelo sistema hidrogeológico associado aos corpos da Formação Carajás portadores do minério de ferro e pelo sistema hidrogeológico vulcânico, associado com a espessa sequência de derrames basálticos (rochas máficas) da Formação Parauapebas, na base da formação ferrífera.

Os mananciais de superfície, via de regra, representam o nível de base local, sob condições rio-aquífero efluente, constituindo-se em zona de descarga natural dos aquíferos. Em drenagens perenes, no período crítico de estiagem, representam o fluxo da base sob escoamento natural (fluxo não influenciado) das águas restituídas pelos aquíferos, sendo sua composição química condicionada à da litologia dominante. Por outro lado, na época das chuvas, o escoamento superficial (run-off) reflete melhor as condições de preservação e conservação ambiental das bacias de drenagem, especialmente quanto aos efeitos da erosão e geração de cargas de sedimentos, sólidos em suspensão e liberação de metais.

Na figura 7 pode ser visualizado o mapa com a divisão das microbacias hidrográficas da área de influência das Minas de Ferro da Serra Norte em Carajás. Os pontos que compõem a malha amostral, definida para este estudo, foram distribuídos nas áreas consideradas naturais, nas proximidades dos corpos de canga N3 e N4WSul das minas de ferro Carajás. Estas áreas compreendem as microbacias dos igarapés Gelado, Taboca e Jacaré, respectivamente, NW, SW e SCW (Fig. 8).

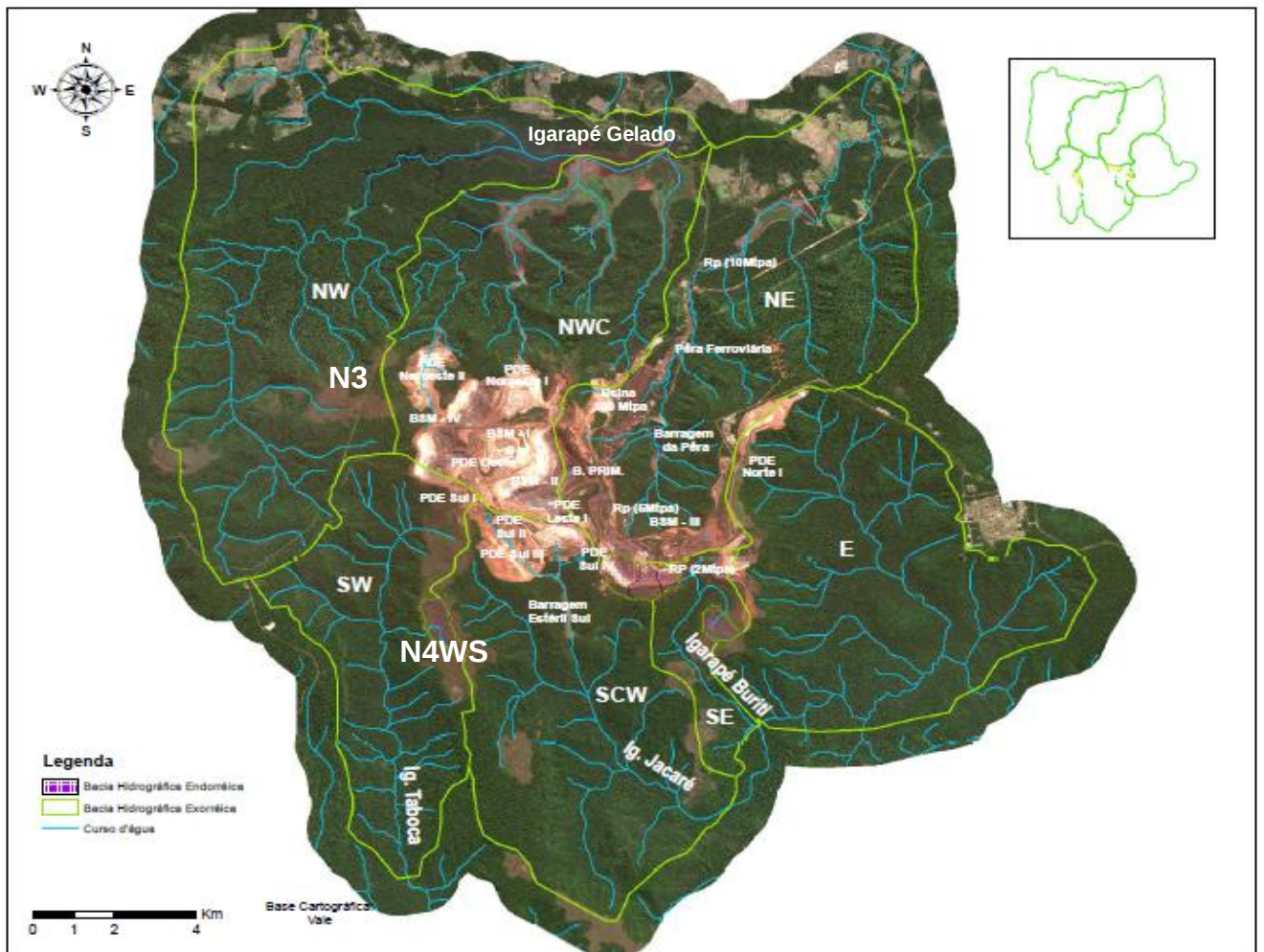


Figura 7 – Microbacias da área de influência das Minas de Ferro da Serra Norte - Carajás.

Nas proximidades da mina de N4WSul foram definidos 11 pontos, enquanto que nas da mina de N3 foram definidos 6, totalizando 17 pontos de amostragem para composição da malha, cuja localização espacial pode ser visualizada através da figura 8, enquanto que as informações de coordenadas e descrições destes pontos são apresentadas no quadro 3.

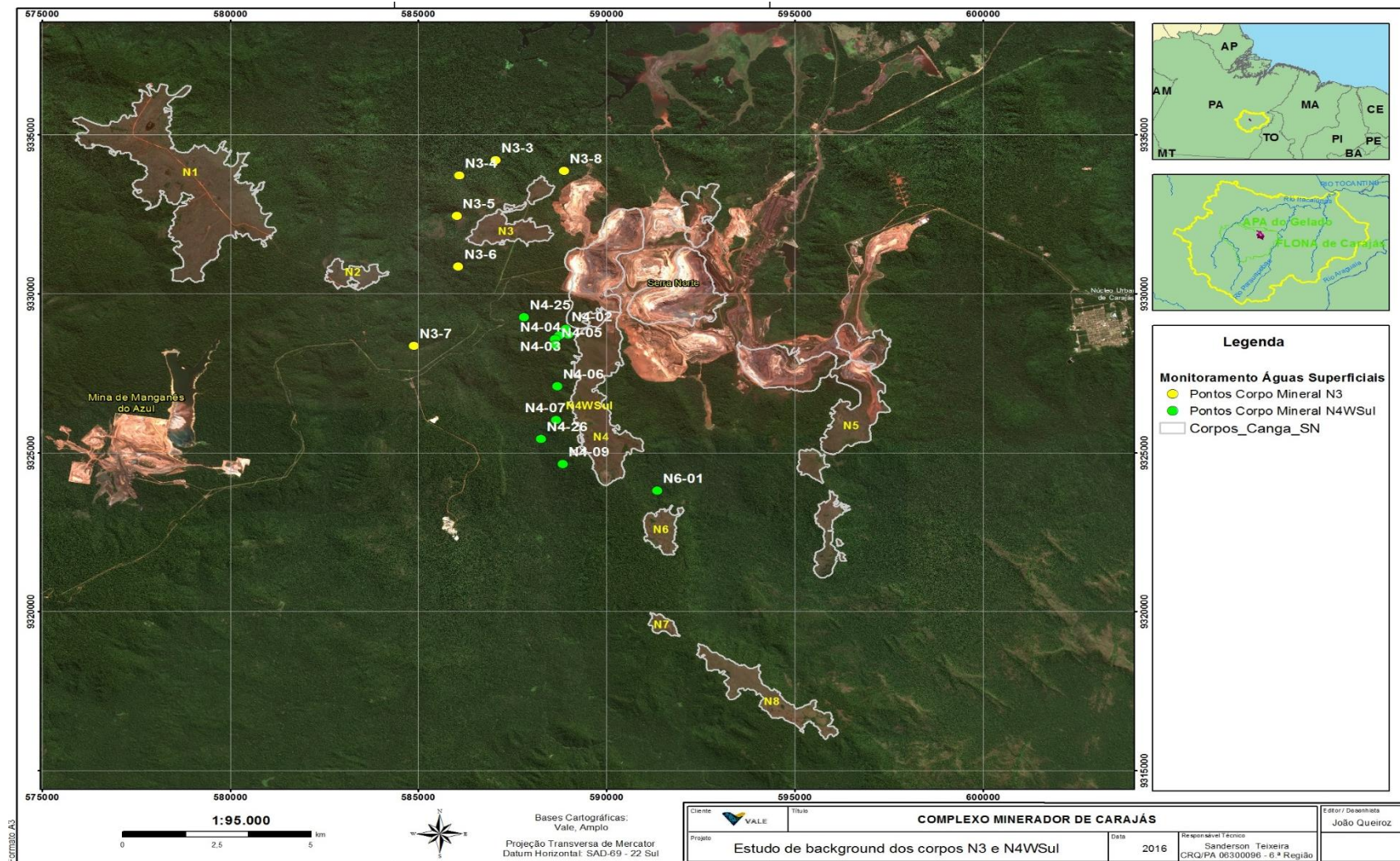


Figura 8 – Localização dos pontos de amostragem das águas superficiais nas proximidades das Minas de Ferro da Serra Norte - Carajás.

Tabela 3 – Coordenadas e descrições dos pontos de monitoramento selecionados para a área de influência das Minas de Ferro N3 e N4WSul.

Pontos de Monitoramento	Coordenadas UTM SAD69/22		Descrição dos pontos
N4-01	588990	9328709	Ponto em canga, na cabeceira de um afluente da margem esquerda do igarapé Taboca, a cerca de 50 metros da nascente.
N4-02	588921	9328886	Ponto em canga, afluente da margem direita da drenagem do ponto de monitoramento N4-01.
N4-03	588742	9328685	Ponto em afluente da margem direita da drenagem do ponto de monitoramento N4-01, com leito composto por seixos cor ocre alterados, canga e material fino.
N4-04	588628	9328570	Ponto em afluente da margem direita do igarapé Taboca, com leito formado por seixos de canga e material mais fino (areia).
N4-05	588647	9328383	Ponto em canga, a cerca de 50 metros da nascente, em afluente da margem esquerda do igarapé Taboca.
N4-06	588694	9327079	Ponto em canga, em afluente da margem esquerda do igarapé Taboca.
N4-07	588658	9326029	Ponto em canga, em drenagem à jusante da lagoa Clara, afluente da margem esquerda do igarapé Taboca.
N4-09	588837	9324642	Ponto em rocha básica/canga, em afluente da margem esquerda do igarapé Taboca, a cerca de 35 metros da nascente.
N4-25	587808	9329260	Ponto em canga, no igarapé Taboca, onde é realizado monitoramento de vazão.
N4-26	588264	9325435	Ponto no igarapé Taboca, onde é realizado monitoramento de vazão.
N6-01	591343	9323797	Ponto em canga, em afluente da margem direita do igarapé Jacaré, a cerca de 100 metros da nascente.
N3-3	0587057	9334194	Ponto de monitoramento no Corpo N3. Coleta realizada após queda d'água. Água de aspecto límpido.
N3-4	0586087	9333714	Ponto de monitoramento no Corpo N3. Água de aspecto límpido. Escoamento sobre canga. Vegetação no interior da drenagem. Leito raso.
N3-5	0586022	9332435	Ponto de monitoramento no Corpo N3. Água de aspecto límpido coletada após queda d'água. O ponto de coleta encontra-se após o fim de trilha aberta na mata.
N3-6	0586063	9330849	Ponto de monitoramento no Corpo N3. Água de aspecto límpido. Escoamento sobre canga. Vegetação no interior da calha. Sucessivas quedas d'águas geram um regime turbulento.

N3-7	0584881	9328353	Ponto de monitoramento no Corpo N3. Água de aspecto límpido. Escoamento sobre rochas. Vazão considerável e regime pouco turbulento.
N3-8	0588871	9333858	Água de aspecto límpido, coletada a jusante da queda d'água. Escoamento sobre canga.

4.2 SELEÇÃO DOS PARÂMETROS E ELEMENTOS A SEREM ANALISADOS

A seleção dos elementos e parâmetros a serem definidos foi condicionada pelas legislações vigentes, que estabelecem condições e padrões para a qualidade das águas superficiais, assim como pelas características geológicas, hidrogeológicas e hidrológicas da área em estudo, sendo eles: Alcalinidade bicarbonato, Alumínio dissolvido, Bário total, Boro total, Cádmio total, Chumbo total, Cloreto, Clorofila a, Cobalto total, Cobre dissolvido, Coliformes termotolerantes, Condutividade elétrica, Cor verdadeira, Cromo total, Demanda bioquímica de oxigênio, Fenóis, Ferro dissolvido, Ferro total, Fluoreto, Fósforo total, Manganês dissolvido, Manganês total, Níquel total, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio amoniacal, Óleos e graxas totais, Oxigênio dissolvido, pH, Sólidos dissolvidos totais, Sólidos suspensos totais, Sulfato, Sulfeto, Surfactantes aniônicos, Temperatura ambiente, Temperatura da água, Turbidez e Zinco total.

4.3 PERÍODO E FREQUÊNCIA DE REALIZAÇÃO DAS AMOSTRAGENS

Para realização deste estudo, foram utilizados dados de monitoramento de doze campanhas com periodicidade mensal, com exceção da primeira que foi bimestral, no período de dezembro/2013 a janeiro/2015, para o corpo mineral de N4WSul, enquanto que em N3, foram realizadas campanhas trimestrais, durante o período de maio/2014 a maio/2016, totalizando 8 campanhas realizadas.

A realização das campanhas em períodos distintos deveu-se a necessidade de utilização de dados pretéritos ao início das atividades de exploração mineral para estimativa dos valores de background nestas áreas.

A frequência mensal em N4WSul foi essencial para obtenção do maior número de dados em um ciclo sazonal completo antes do início da operação da mina. Para o corpo mineral N3 as campanhas foram trimestrais envolvendo dois

ciclos sazonais completos, considerando que estas áreas ainda estão em processo de licenciamento ambiental.

A frequência foi definida de forma a obter uma quantidade suficiente de dados para proceder aos tratamentos estatísticos e uma representatividade em relação às variações sazonais. Os pontos de amostragem foram locados em áreas situadas nas proximidades aos corpos minerais de N3 e N4WSul, consideradas naturais.

4.4 PROCEDIMENTOS DE COLETAS E ENSAIOS ANALÍTICOS

As coletas e ensaios analíticos foram realizados pela empresa SGS-Geosol Laboratórios Ltda. / Laboratório de Meio Ambiente. Este laboratório possui acreditação número CRL 0386 junto à Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios – RBLE, do Instituto Nacional de Metrologia – INMETRO.

Os métodos utilizados para realização dos ensaios analíticos e amostragem estão de acordo com as diretrizes estabelecidas nas seguintes normas e procedimentos:

- NBR 9897/87 – Planejamento de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores;
- NBR 9898/87 – Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores (Constante no escopo da Acreditação);
- Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água (CETESB, 2011);
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21a edição. (APHA, 2012), tópicos 1060A, B e C.
- ISO/IEC 17025:2005 – Requisitos Gerais de Competência para Laboratórios de Ensaio e Calibração.

4.5 TRATAMENTO DOS DADOS

O tratamento dos dados foi realizado através das seguintes etapas:

- Análise de consistência dos resultados brutos, obtidos através do monitoramento das águas superficiais da região em relação aos limites de detecção dos métodos, discrepância em relação aos resultados obtidos

em pontos localizados em um mesmo corpo hídrico e demais erros que possam ter sido identificados nas coletas e análises das amostras.

- Avaliação da evolução sazonal dos dados. Foi realizada uma análise crítica da tendência dos valores obtidos nas variáveis individuais analisadas, considerando a sazonalidade da região.
- Confrontar os resultados obtidos para os diferentes parâmetros com as características geológicas, hidrogeológicas e hidrológicas da área em estudo.
- Avaliação da qualidade das águas superficiais na malha de amostragem definida para os corpos minerais N3 e N4WSul, por meio do cálculo do Índice de Qualidade da Água – IQA.
- Tratamento estatístico generalizado dos dados usando o método recomendado por Reimann et al. (2005) e também o método EPA ProUCL, discutido anteriormente.
- Análise dos resultados obtidos e estimativa de possíveis valores de *background* para as áreas de reduzida influência antrópica.

4.6 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA - IQA

Para facilitar o entendimento das condições ambientais de corpos hídricos, foram desenvolvidos vários índices que retratam através de uma escala a qualidade da água em pontos de monitoramento. Para isso foram integrados vários parâmetros em um único indicador de qualidade, abrangente e de mais fácil utilização. A desvantagem apresentada por este índice está no fato de que ele não apresenta as múltiplas variáveis presentes em um curso d'água.

No presente trabalho foi utilizado para avaliação da qualidade das águas superficiais o índice de Qualidade das Águas (IQA), desenvolvido pela National Sanitation Foundation (NSF) dos Estados Unidos. O IQA tem sido largamente utilizado no Brasil e em outros países como indicador da qualidade da água para o abastecimento humano (ANA, 2015). Este índice é embasado em nove parâmetros considerados capazes de compor e representar a qualidade dos corpos hídricos. Tais parâmetros são: temperatura da amostra; pH; oxigênio dissolvido; demanda bioquímica de oxigênio; coliformes termotolerantes; nitrogênio total; fósforo total; sólidos totais; turbidez. Foram estabelecidas para

cada variável curvas de variação e atribuídos pesos relativos. Destaca-se que o cálculo original do IQA pela National Sanitation Foundation - NSF considera o nitrogênio em forma de nitrato, sendo que para este estudo foram acrescidas as frações de nitrito e nitrogênio amoniacal total. Para o cálculo foi realizada a conversão de fosfato para fósforo total.

O IQA é calculado através da média harmônica ponderada na forma de produtório das notas atribuídas a cada parâmetro de qualidade da água através da seguinte equação:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Onde:

IQA – índice de Qualidade da Água, um número entre 0 e 100;

n – número de variáveis analisadas que compõe o cálculo do IQA;

qi – qualidade da i-ésima variável, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

wi – peso correspondente à i-ésima variável, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

O índice de qualidade da água varia numa escala de 0 a 100. No quadro 4, são apresentados os critérios definidos pela NSF e adaptados pela CETESB, com a identificação das faixas utilizadas nos estados brasileiros.

Tabela 4 – Faixas de classificação de IQA utilizadas nos estados brasileiros.

NSF		CETESB	
Faixas de IQA utilizadas nos seguintes estados: AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS		Faixas de IQA utilizadas nos seguintes estados: BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP	
Excelente	90 < IQA ≤ 100	Ótima	80 ≤ IQA ≤ 100
Bom	70 < IQA ≤ 90	Boa	52 ≤ IQA < 80
Médio	50 < IQA ≤ 70	Aceitável	37 ≤ IQA < 52
Ruim	25 < IQA ≤ 50	Ruim	20 ≤ IQA < 37
Muito Ruim	0 < IQA ≤ 25	Péssima	0 ≤ IQA < 20

Além de seu peso (w), cada parâmetro possui um valor de qualidade (q), obtido do respectivo gráfico de qualidade em função de sua concentração ou medida (ANA, 2015).

4.7 ESTIMATIVA DOS VALORES DE BACKGROUND

Para avaliação de tendência dos valores de background foi considerado um número mínimo de sete resultados por ponto e por parâmetro e para a análise dos dados, foi empregado o software ProUCL, versão 5.0.00, desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency (US-EPA). Este software é composto por um pacote de ferramentas gráficas e métodos estatísticos usados para tratamento de dados e estimativa dos valores de background. As concentrações de background são denominadas pela EPA Valores de Referência da Qualidade (VRQ).

4.7.1 Etapas da estimativa

A estimativa do Valor de Referência da Qualidade segue as etapas apresentadas no fluxograma da US-EPA.

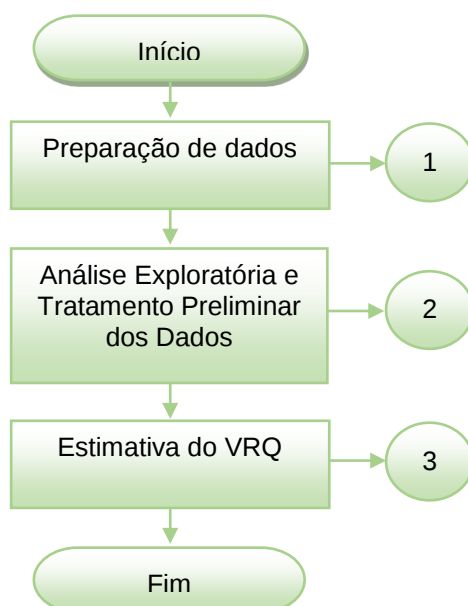


Figura 9 – Etapas de estimativa do valor de referência da qualidade (VRQ)

4.7.2 Ordenamento

Inicialmente os dados foram ordenados em ordem cronológica crescente, conforme ilustrado no fluxograma da figura 10.

O ordenamento incluiu a criação de uma variável-índice para denotar os dados censurados, que representam os resultados abaixo do limite de detecção ou quantificação dos respectivos métodos analíticos, ou seja, os valores mínimos identificáveis pela metodologia analítica adotada para cada parâmetro a ser analisado em determinada amostra.

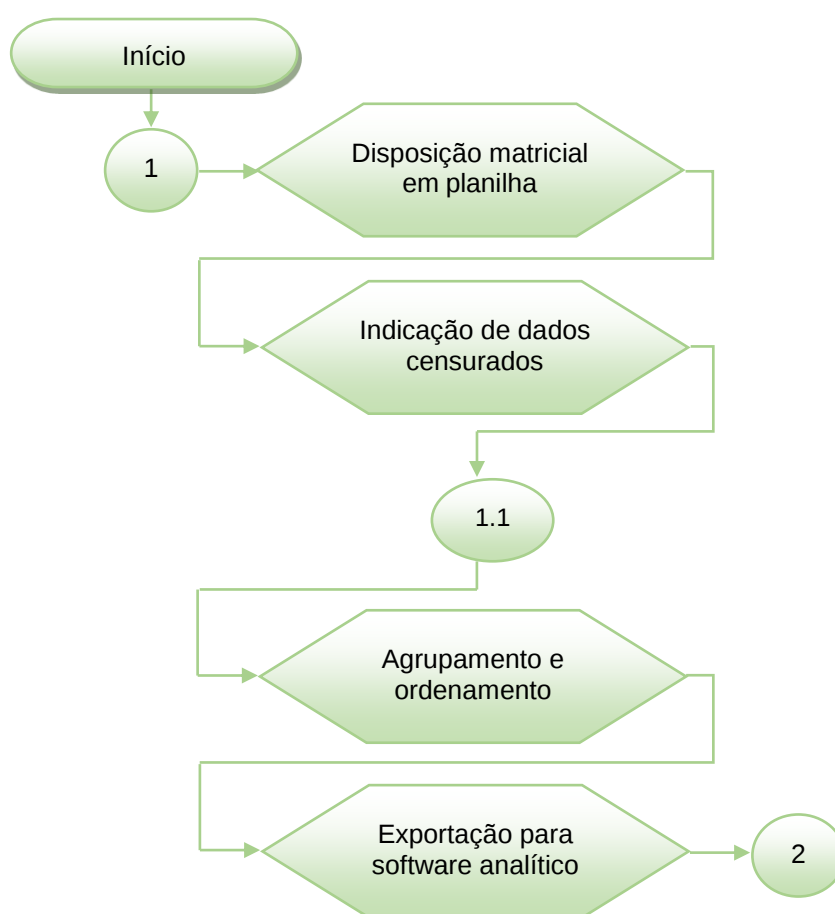


Figura 10 – Etapas de ordenamento e exportação de dados para o software.

4.7.3 Análise exploratória: primeira parte

A primeira parte da análise exploratória visou o reconhecimento dos dados e o gerenciamento de outliers (US-EPA). As subetapas da primeira parte

da análise exploratória consistiram na avaliação da estabilidade temporal e a avaliação da monomodalidade da distribuição. Dados crescentemente ou decrescentemente instáveis indicam que há um processo em curso, o que faz o conjunto se distanciar da característica básica dos conjuntos de valores de background, que representam a estabilidade sobre uma base de tempo. Por seu turno, distribuições multimodais indicam que os dados são provenientes de amostras de diferentes populações.

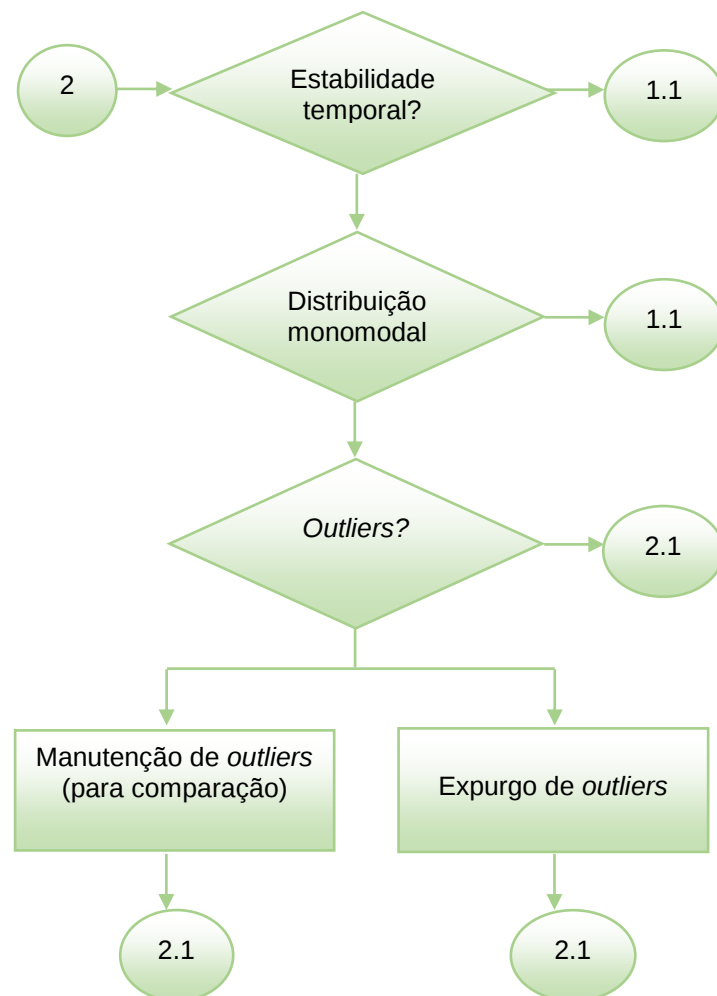


Figura 11 – Etapas de análise exploratória dos dados – primeira parte

4.7.4 Análise exploratória: segunda parte

A segunda parte da análise exploratória consistiu do gerenciamento dos dados censurados ou não detectados (NDs) (US-EPA). Nesse caso, as características do conjunto consideradas foram o tamanho da amostra, o número

de NDs com relação ao número dos valores plenamente conhecidos ou detectados (Ds) e a eventual distribuição dos valores detectados (Ds). O objetivo do gerenciamento foi atribuir valores aos dados censurados, por estimação por regressão sobre estatísticas de ordem – ROS (ou REO), de modo a incorporá-los no cálculo do VRQ.

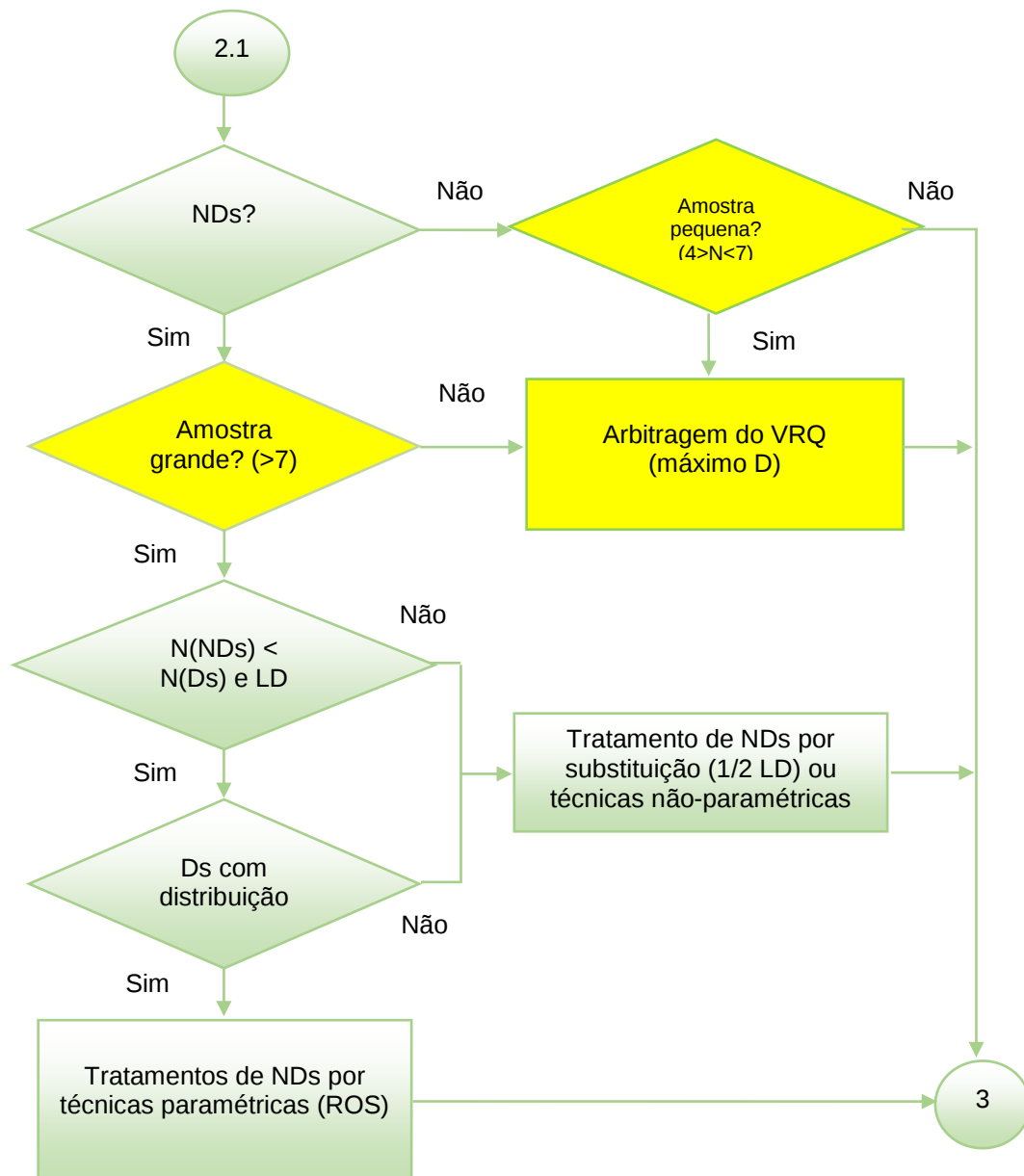


Figura 12 – Etapas de análise exploratória dos dados – segunda parte

4.7.5 Estimativa do VRQ

A última etapa da estimativa (Figura 13) teve como preocupação central a escolha da medida que representará o VRQ, dentre as várias disponíveis:

- Limite superior do intervalo de confiança da média – LSC;
- Um percentil;
- Limite superior do intervalo de confiança de um percentil do conjunto – LST;
- Limite superior do intervalo em torno da média, que inclui as futuras k (≥ 1) observações – LSP;
- O valor máximo do conjunto de dados; e
- Limite superior simultâneo do intervalo de confiança do valor máximo estimado – LSS.

Cada medida tem o seu significado e a escolha depende do tratamento posterior a dar aos dados que provenham do meio a ser monitorado e controlado.

Para o caso dos dados que seguirem uma distribuição Normal, Gama ou Log-normal, a medida estatística derivou da distribuição. No caso dos dados que não seguirem uma distribuição, foram empregados métodos não-paramétricos para a estimação da medida.

As medidas estimadas por métodos paramétricos contêm mais informações do que as medidas derivadas de análise não-paramétrica. Em caso de coincidência de distribuições, dá-se preferência à distribuição Normal, sobre a distribuição Gama, e desta sobre a distribuição Log-normal. A preferência por estes dois métodos sobre a distribuição Log-normal está no fato de que para conjuntos de dados altamente enviesados, o uso desta distribuição tende a dar origem a valores inflados e exageradamente grandes para estatísticas de decisão, especialmente quando o tamanho da amostra é pequeno (por exemplo, $<20-30$).

A medida escolhida para representar o VRQ (condição de background) foi o limite superior do intervalo de confiança do valor máximo estimado – LSS, pois a adoção desta medida para o cálculo do VRQ garante que a probabilidade de ocorrência de futuros falsos positivos mantenha-se constante. As condições deste cálculo incluem:

- Os pontos de monitoramento foram selecionados especificamente para gerar dados para avaliação de valores de background; e os dados foram coletados em locais sem interferência antrópica direta.
- O LSS foi calculado com o auxílio do software ProUCL, versão 5.0.00, após a remoção dos valores considerados outliers, por tratamento estatístico, e também por arbitragem com base no conhecimento prévio da área, consideradas ainda as correlações entre os parâmetros medidos.

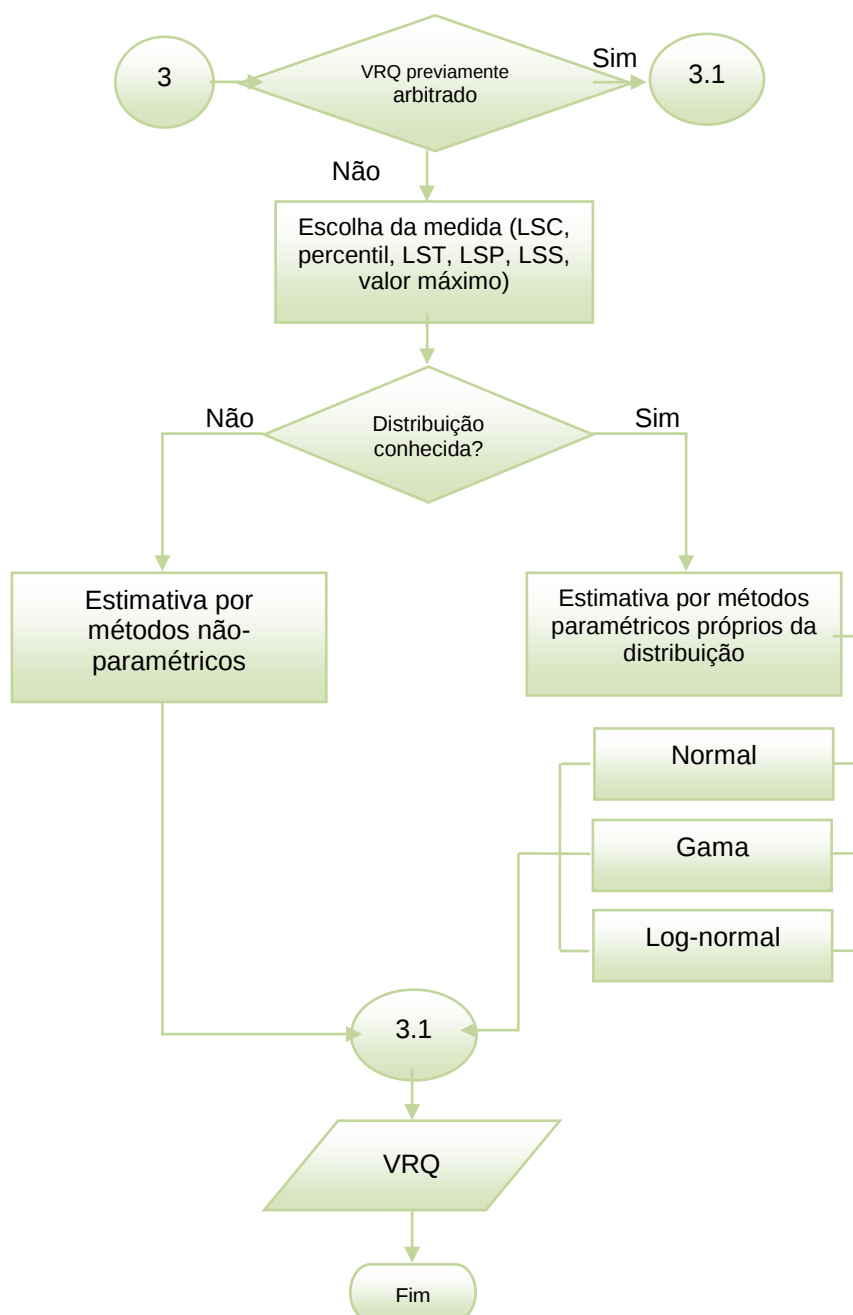


Figura 13 – Etapas de estimativa do VRQ

5 RESULTADOS OBTIDOS

5.1 AVALIAÇÃO SAZONAL

O regime hídrico da região estudada caracteriza-se por apresentar dois períodos distintos e bem definidos, sendo o chuvoso (estação chuvosa) compreendido entre os meses de novembro a abril, em que se verifica elevação das vazões e do nível da coluna d'água dos corpos hídricos da região, e de estiagem (estação seca) que se inicia em maio e estende-se a outubro, com diminuição dos deflúvios.

Desta forma, é de fundamental importância o entendimento da disponibilidade dos diferentes elementos avaliados nestes ambientes, em relação à sazonalidade da região. Partindo deste princípio, foram elaborados gráficos com os resultados obtidos nos diferentes períodos sazonais, para os parâmetros utilizados na estimativa dos valores de background nas áreas estudadas, os quais são apresentados a seguir.

Considerando que as campanhas foram realizadas em períodos distintos nos dois corpos minerais em estudo, optou-se por fazer as avaliações das duas áreas estudadas de modo independente em função das diferentes condições as quais elas foram possivelmente submetidas.

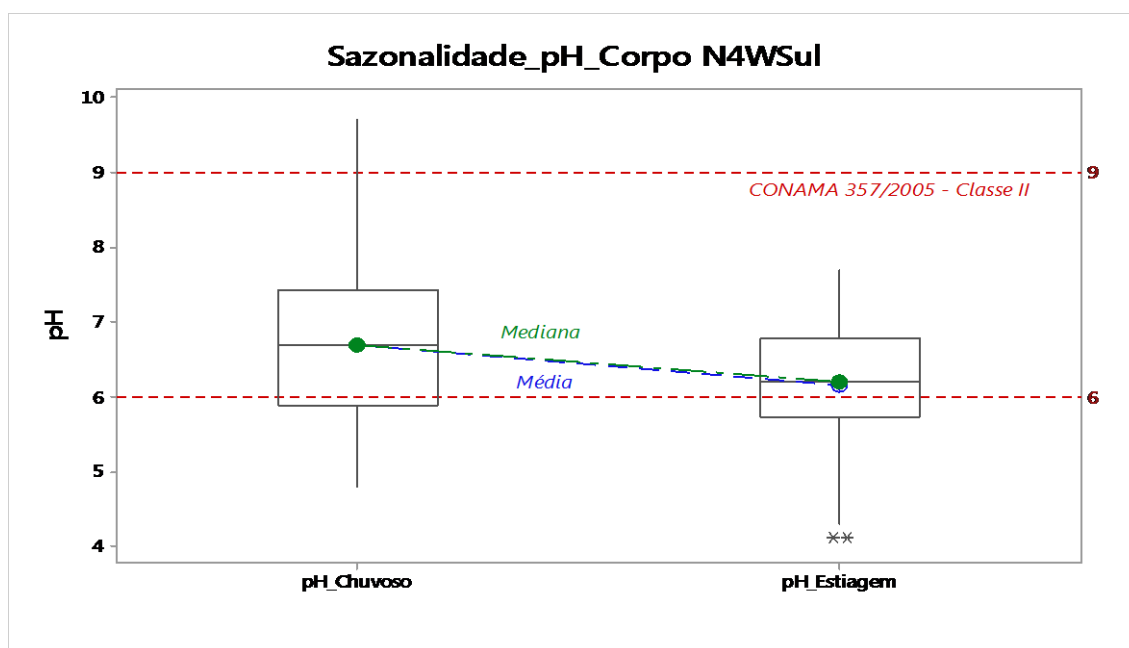


Figura 14 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro pH em N4WSul.

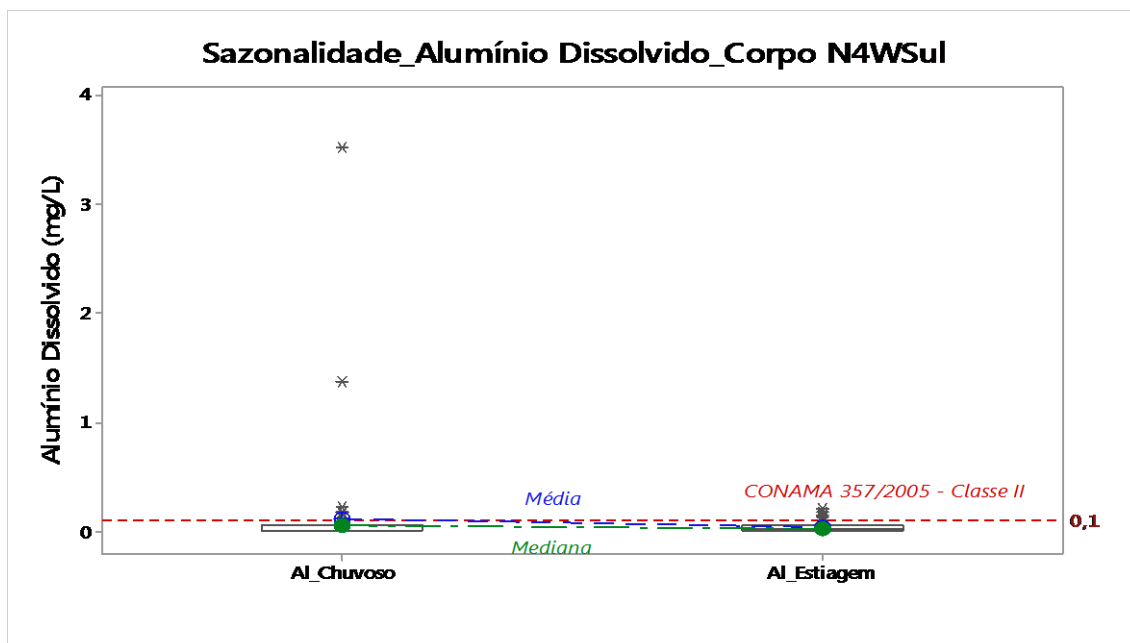


Figura 15 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro alumínio dissolvido em N4WSul.

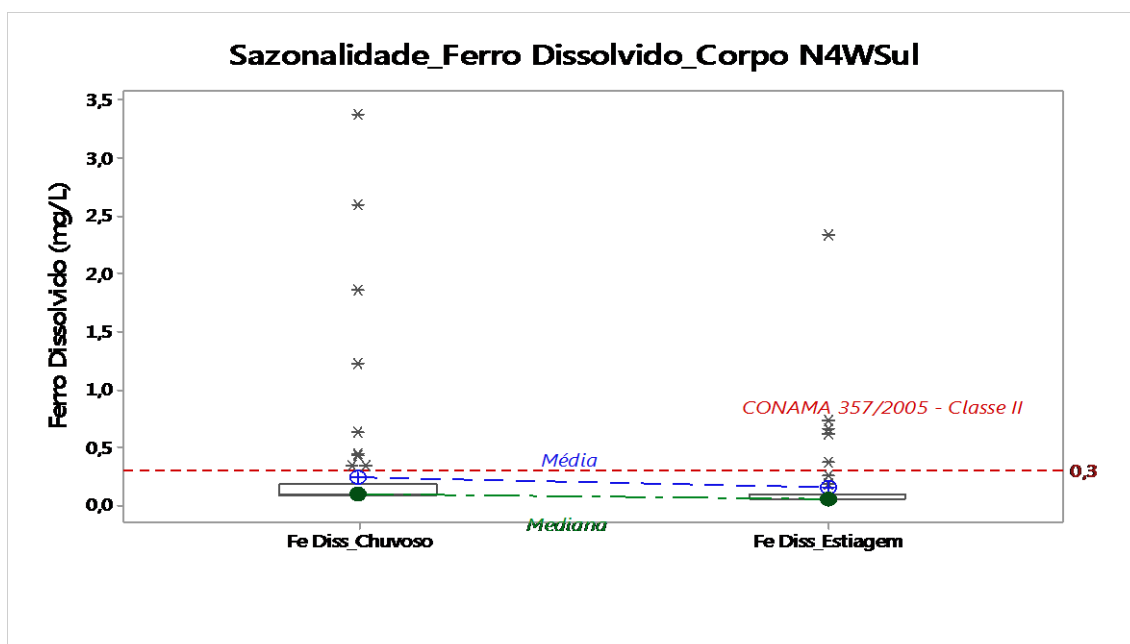


Figura 16 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro ferro dissolvido em N4WSul.

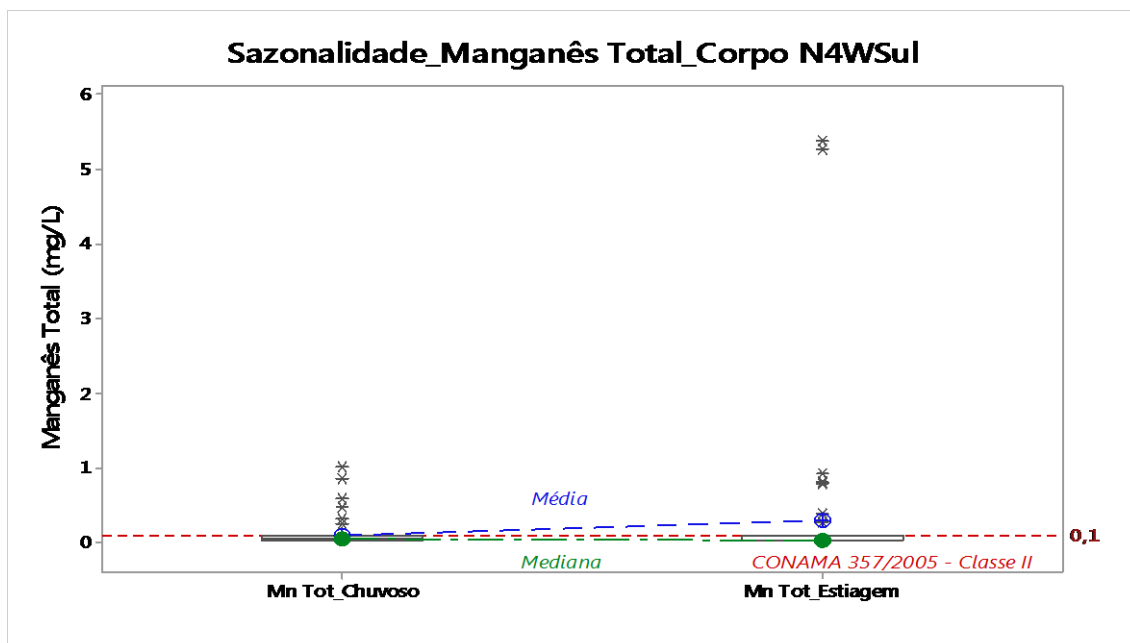


Figura 17 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro manganês total em N4WSul.

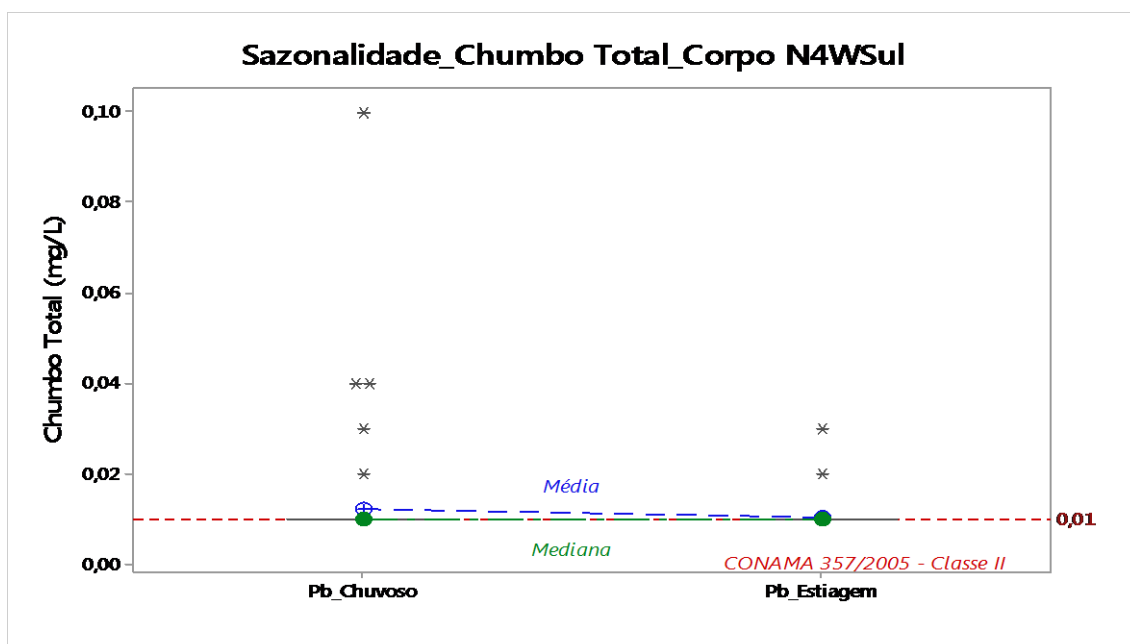


Figura 18 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro chumbo total em N4WSul.

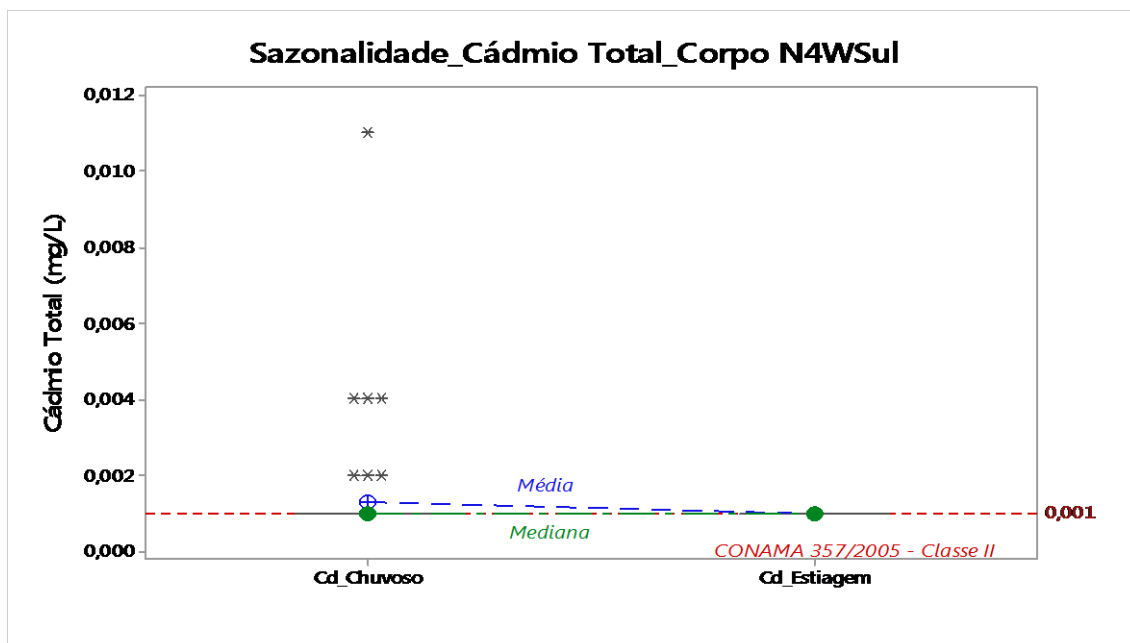


Figura 19 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro cádmio total em N4WSul.

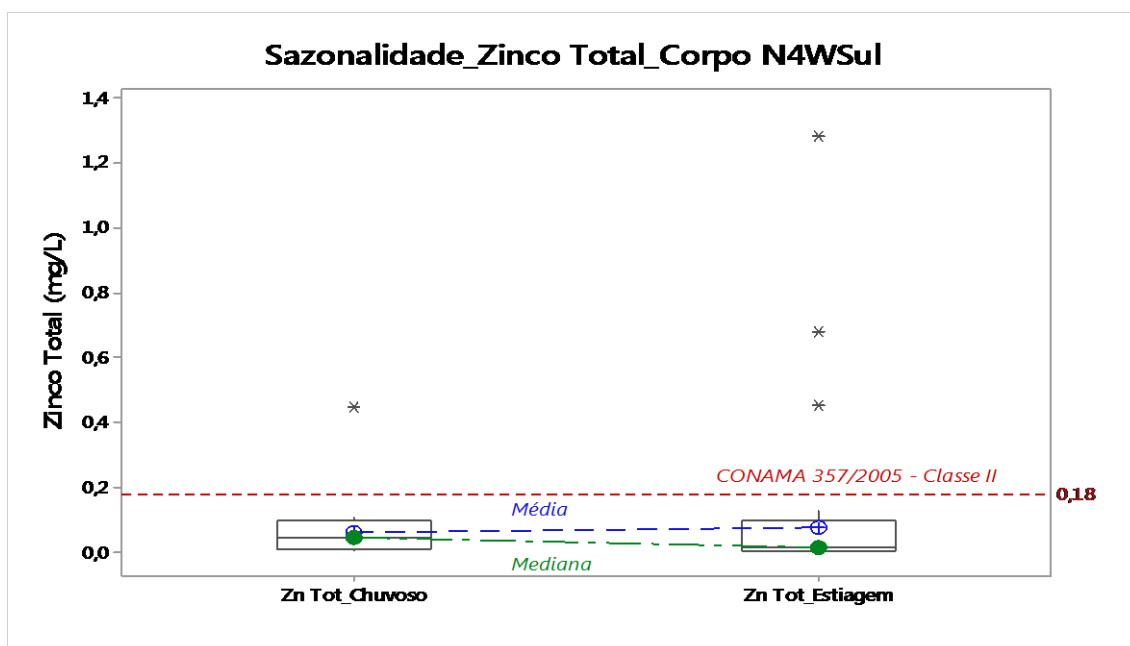


Figura 20 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro zinco total em N4WSul.

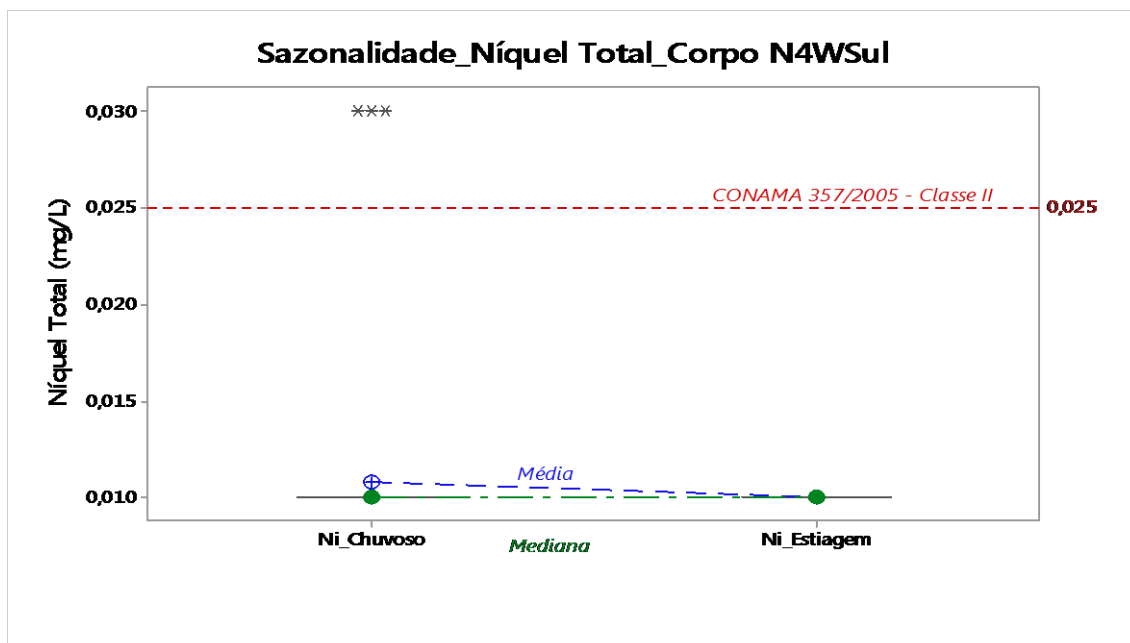


Figura 21 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro níquel total em N4WSul.

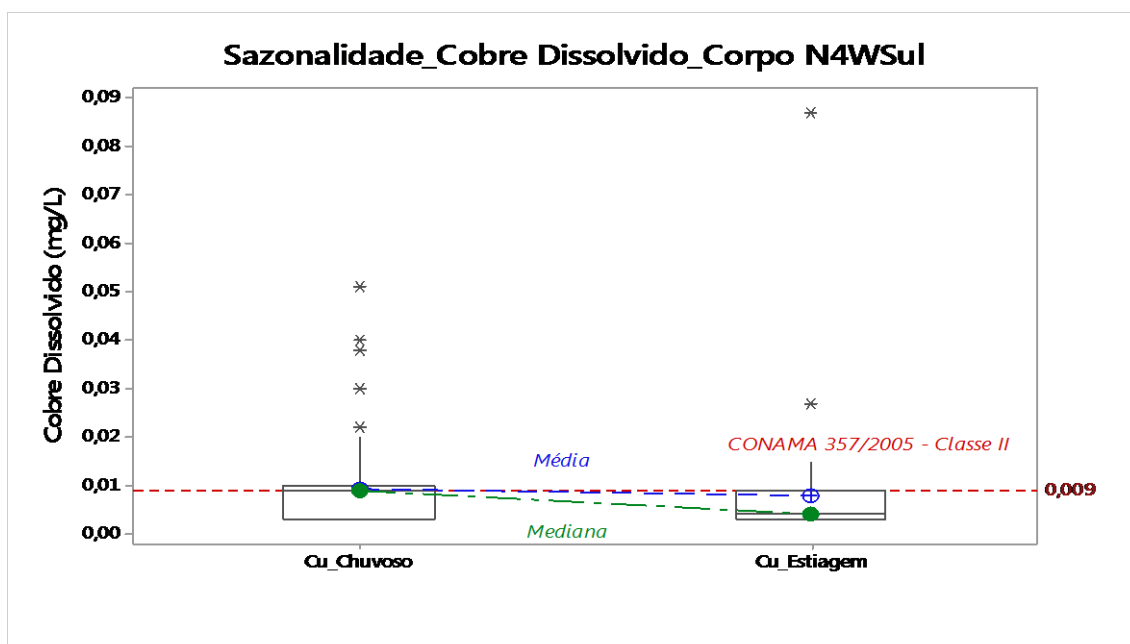


Figura 22 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro cobre dissolvido em N4WSul.

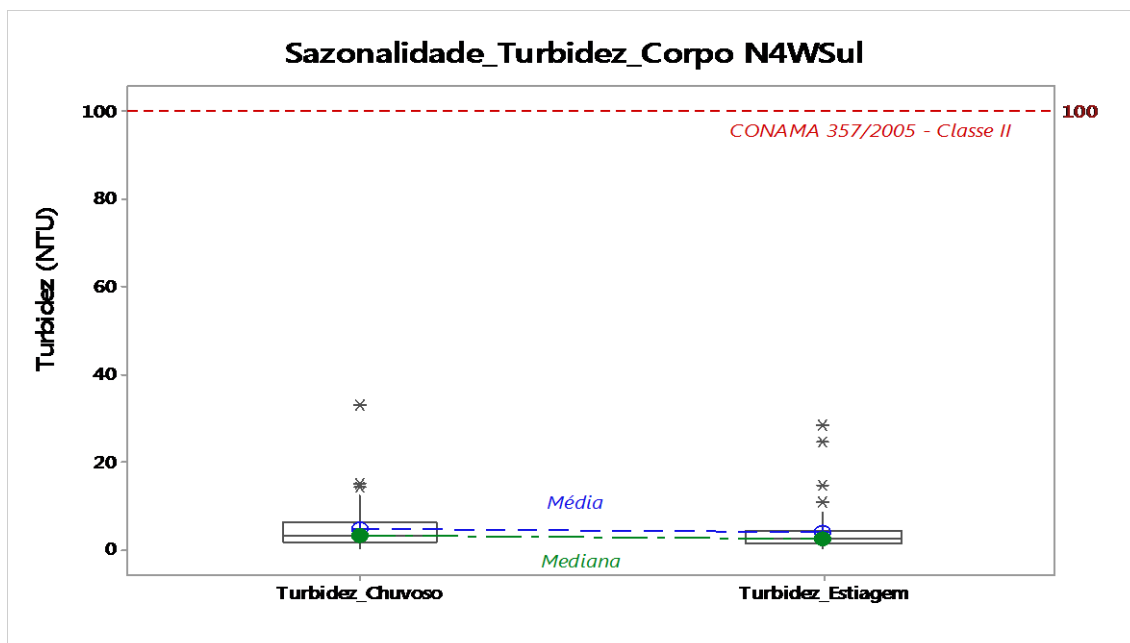


Figura 23 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro turbidez em N4WSul.

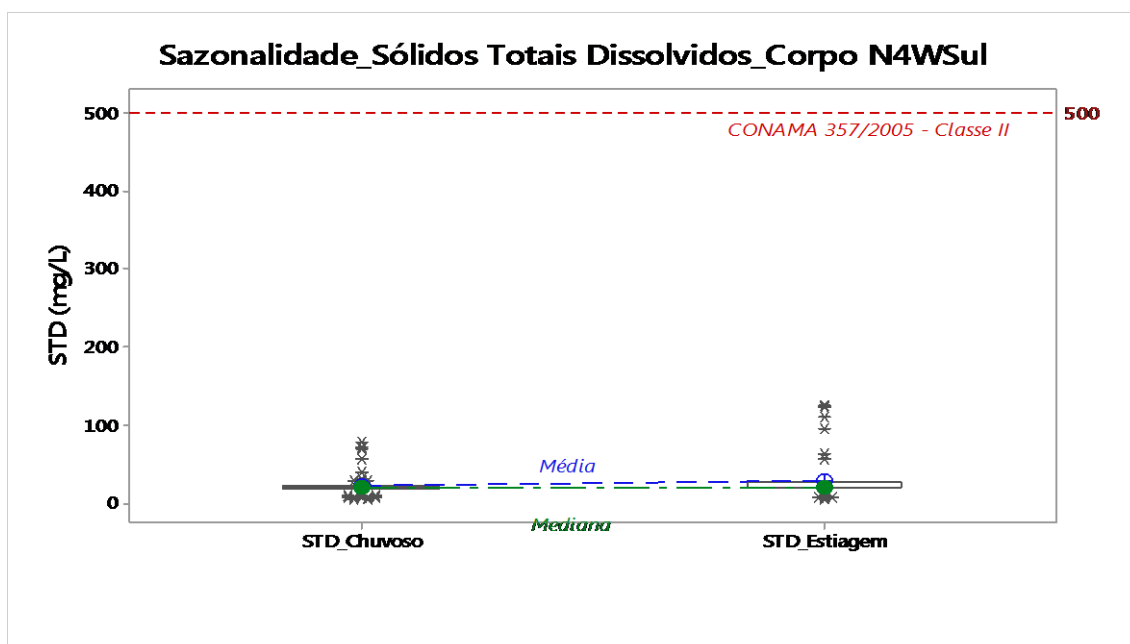


Figura 24 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro STD em N4WSul.

Na análise de variação sazonal dos resultados obtidos para os parâmetros avaliados no corpo mineral N4WSul, verifica-se que os menores valores de pH são identificados no período de estiagem da região. Porém, nos pontos de monitoramento de N4WSul foram obtidos valores médios de pH inferiores a 6 tanto na estação chuvosa, quanto no período de estiagem, ao passo que em N3 os valores médios de pH inferiores a 6 foram observados apenas na estiagem (Apêndice A).

Quanto aos metais, as maiores concentrações são, em sua maioria, identificadas no período chuvoso, devido ao maior aporte destes elementos para os corpos hídricos da região. Entretanto, os parâmetros manganês total, zinco total e cobre dissolvido apresentam alguns valores elevados (outliers) na estação seca. Com relação ao parâmetro total de sólidos dissolvidos, pode-se observar que os valores mais elevados foram obtidos no período de estiagem, havendo inclusive maior número de outliers superiores. O parâmetro turbidez indica valores mais elevados na estação chuvosa, embora parcialmente superpostos com os registrados na estação seca.

A seguir são apresentados os gráficos de avaliação sazonal dos dados obtidos no monitoramento das águas superficiais do corpo mineral N3.

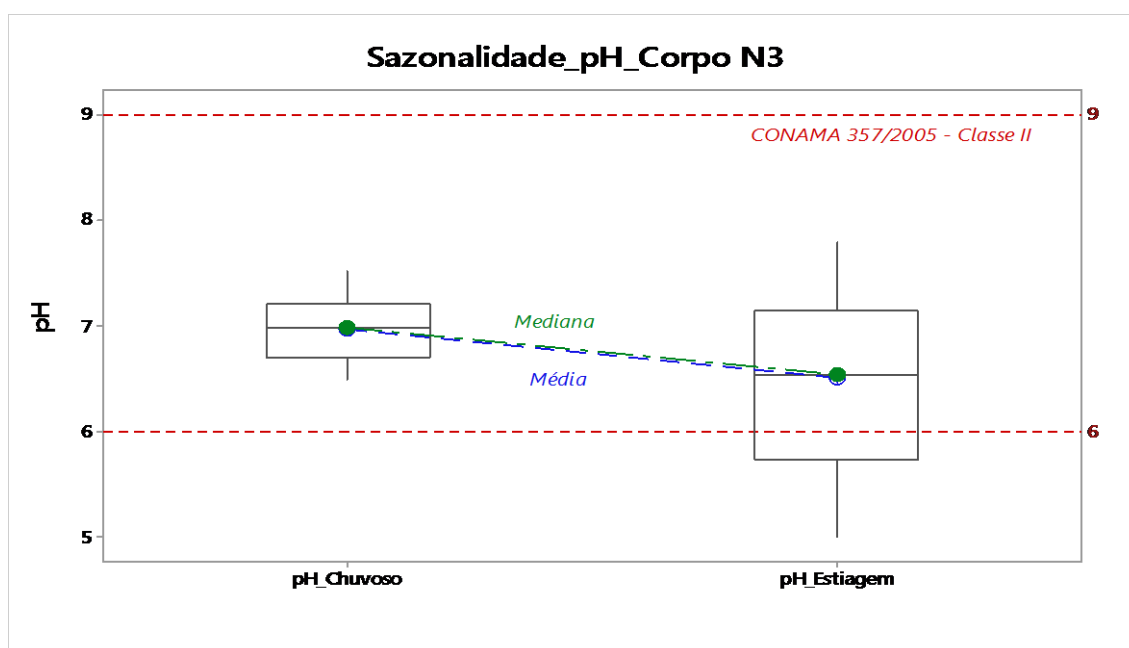


Figura 25 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro pH em N3.

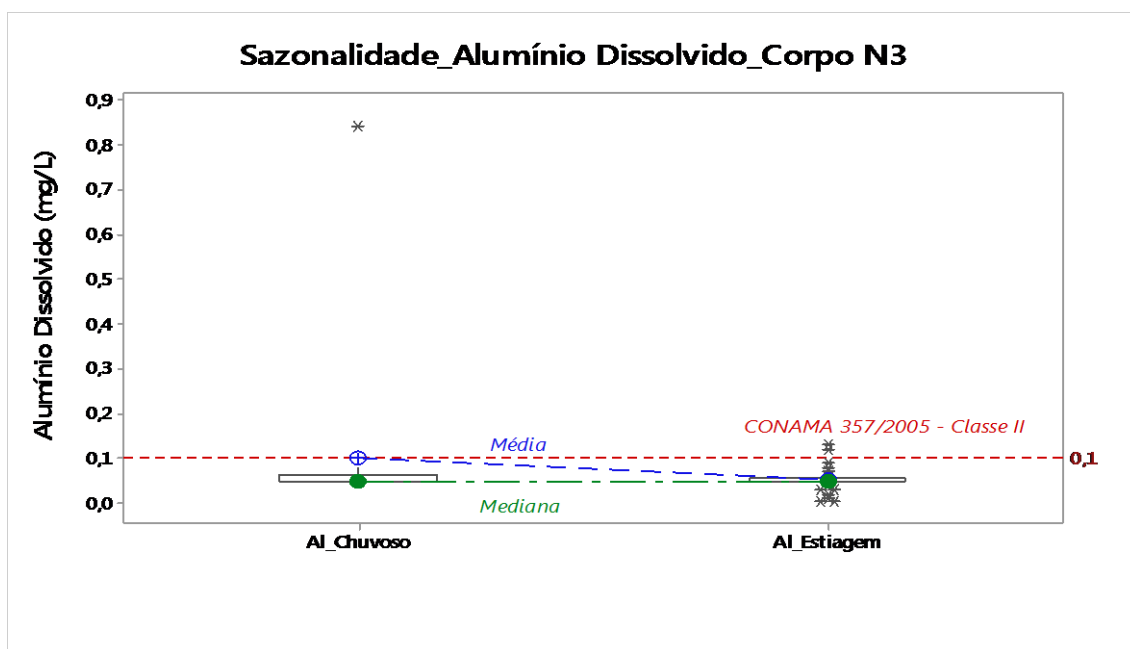


Figura 26 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro alumínio dissolvido em N3.

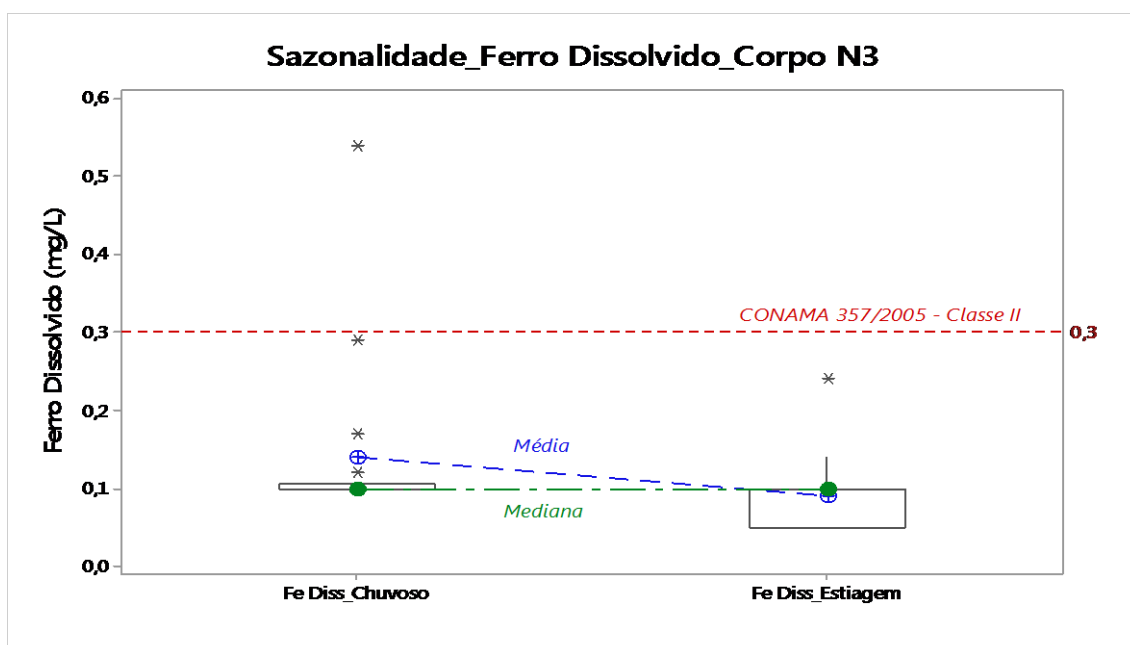


Figura 27 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro ferro dissolvido em N3.

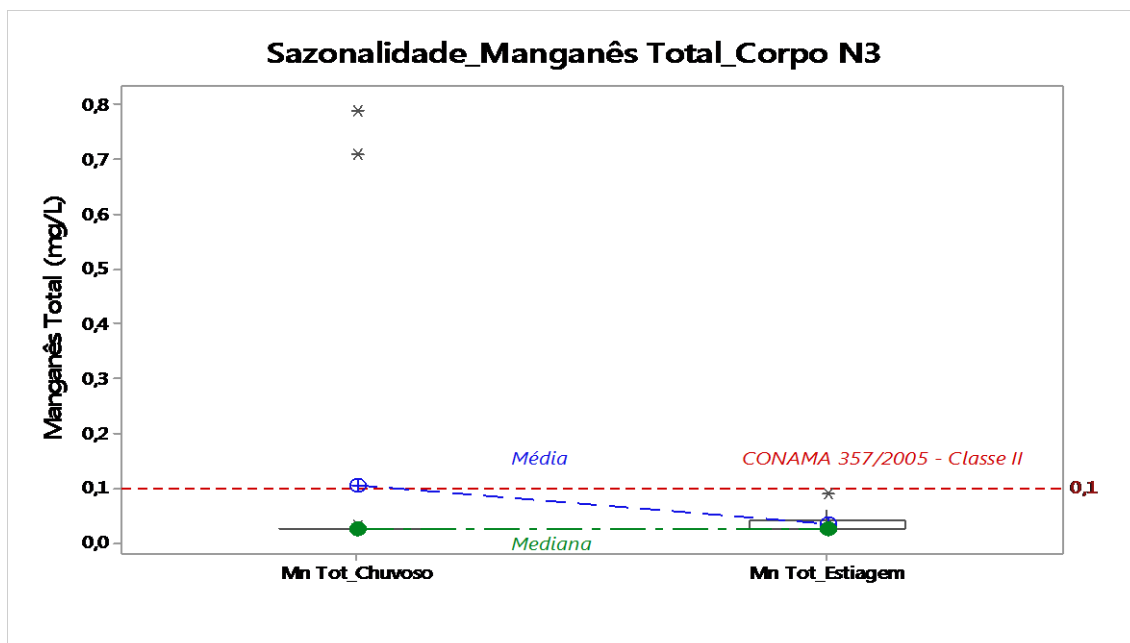


Figura 28 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro manganês total em N3.

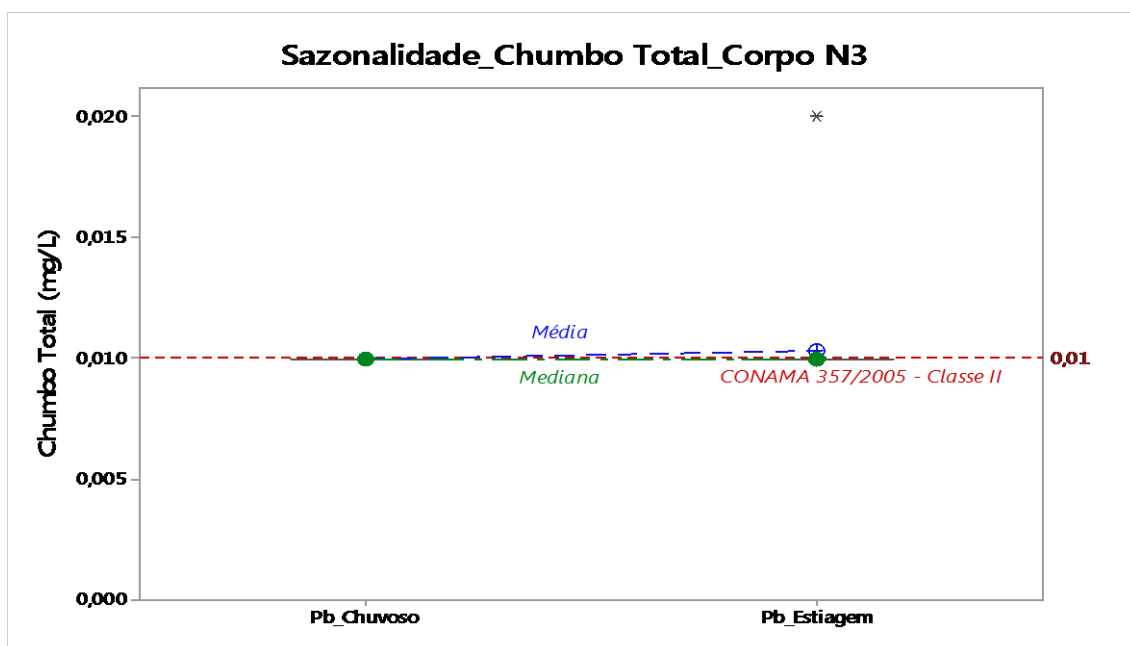


Figura 29 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro chumbo total em N3.

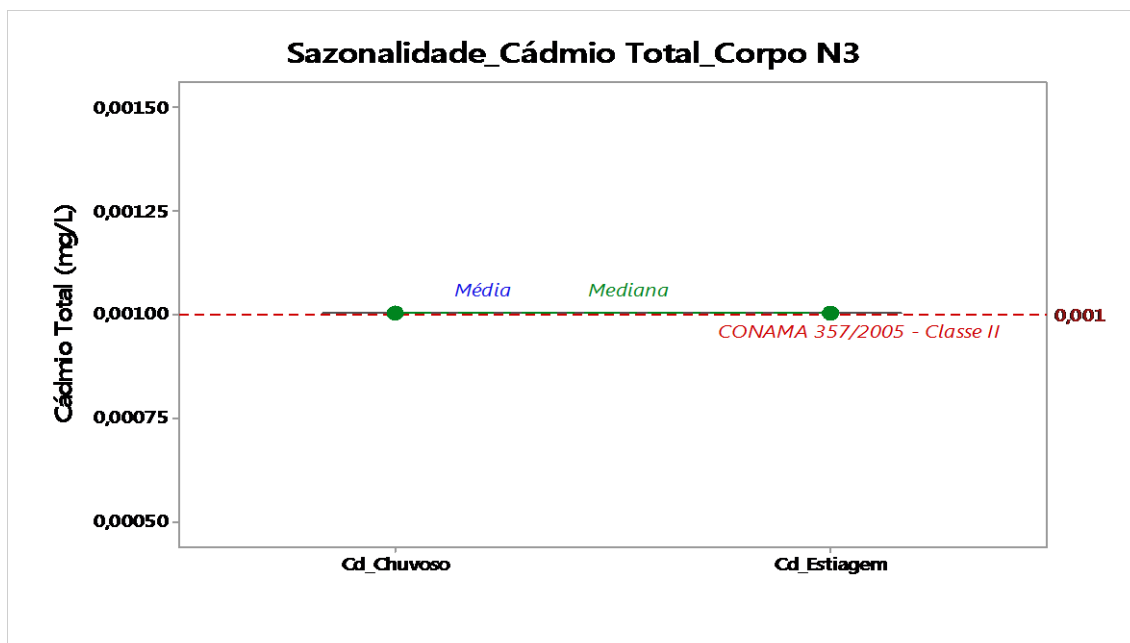


Figura 30 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro cádmio total em N3.

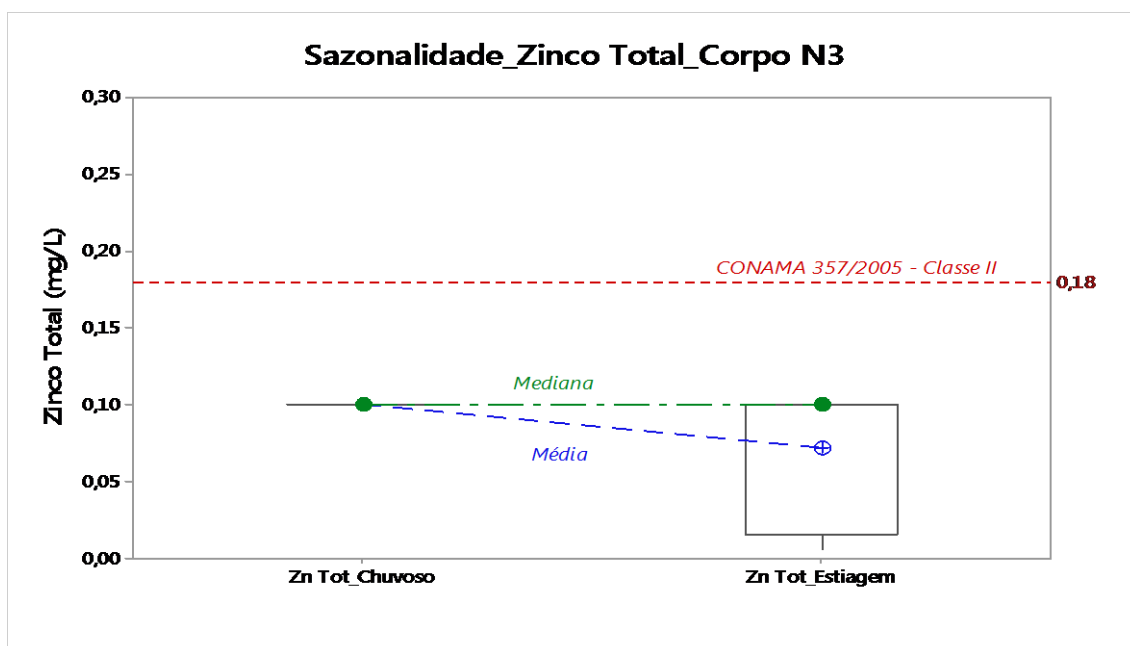


Figura 31 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro zinco total em N3.

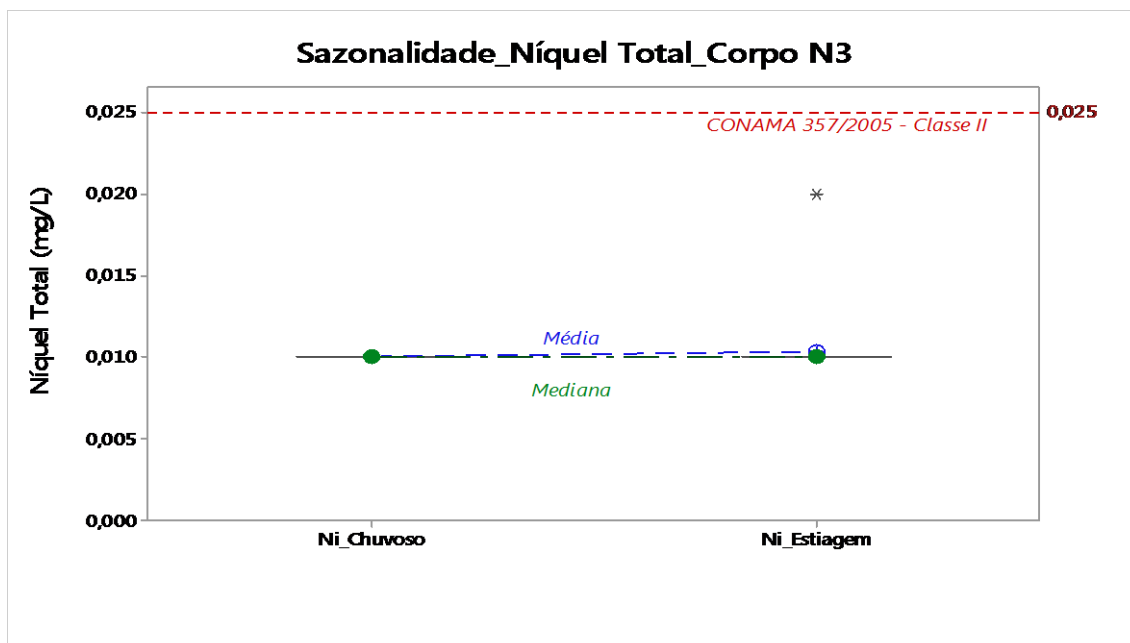


Figura 32 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro níquel total em N3.

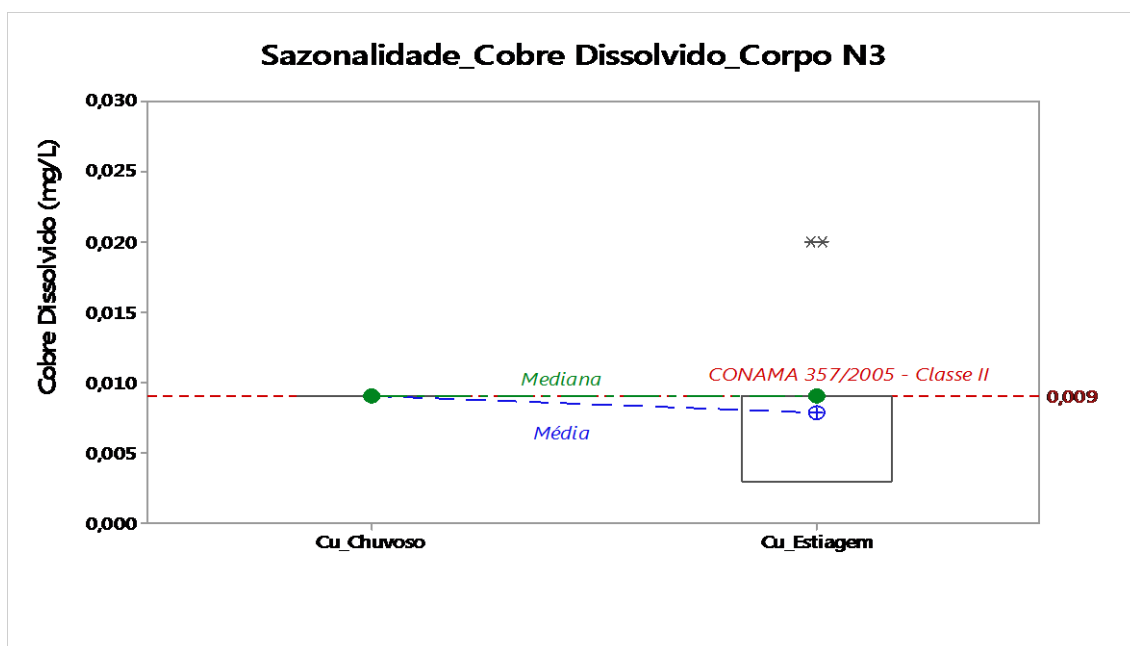


Figura 33 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro cobre dissolvido em N3.

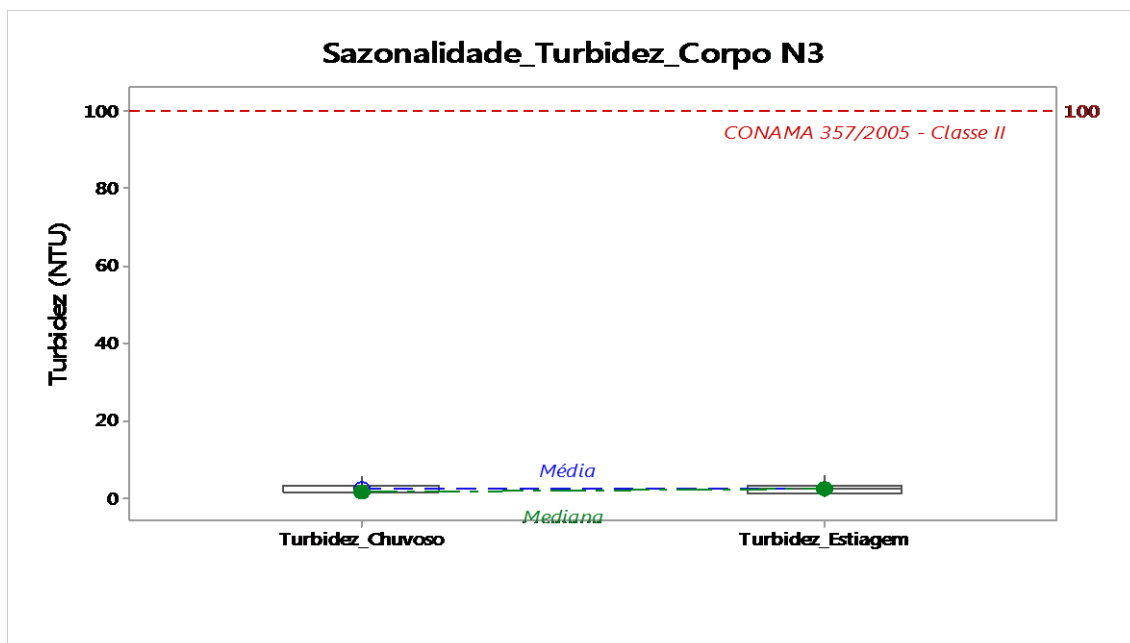


Figura 34 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro turbidez em N3.

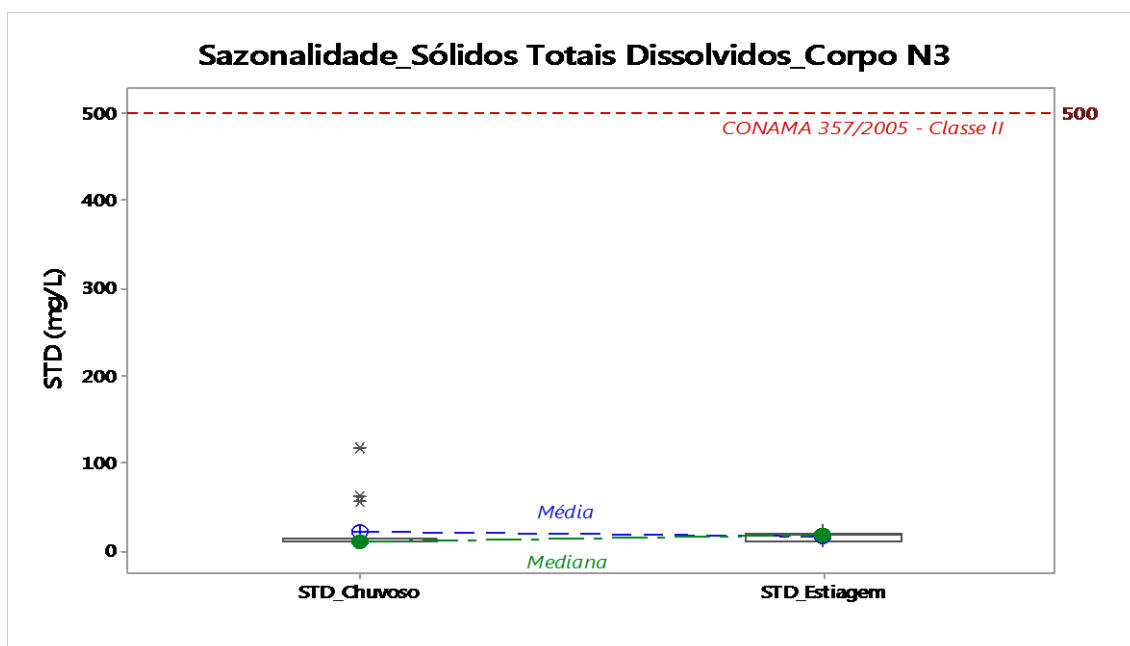


Figura 35 – Gráfico boxplot com a variação sazonal dos resultados obtidos para o parâmetro sólidos totais dissolvidos em N3.

Na análise dos resultados do monitoramento do corpo mineral N3, verifica-se que os valores de pH no período de estiagem tendem a ser inferiores em comparação aos obtidos no período chuvoso, embora haja ampla superposição. O pH durante a estação chuvosa se mantém bastante estável e se situa em torno de 7. Os pontos de monitoramento com valores médios de pH inferiores a 6 são menos numerosos que em N4WSul e se situam todos no período de estiagem.

Quanto aos metais, em geral, o comportamento é bem distinto do que foi observado no corpo N4WSul, pois não há contraste muito acentuado entre as duas estações e há uma tendência clara para valores menores em N3 quando comparado com os obtidos em N4WSul. Isto fica mais evidente no caso de Al e Fe. Além disso, há diversos elementos, como, por exemplo, Pb, Cd e Ni, cujos teores se situam abaixo do limite mínimo de detecção e não puderam ser determinados. Cu e Zn apresentam um comportamento similar ao do Fe, com valores muito baixos, porém mais elevados na estação seca.

Turbidez e total de sólidos dissolvidos apresentam valores com mais ampla variação durante a estação seca, porém com ampla superposição com aqueles verificados na estação chuvosa.

Fica claro pelo conjunto de dados apresentados que, independentemente da estação e excetuando alguns outliers, os diferentes parâmetros se situam abaixo dos valores máximos sugeridos na Resolução CONAMA 357/2005.

No Apêndice A, encontram-se para cada ponto de monitoramento, os resultados dos parâmetros avaliados, seus respectivos limites legais e a indicação, em vermelho, dos parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005.

5.2 CONFORMIDADE LEGAL

Nas figuras 36 e 37 são apresentados graficamente, para cada ponto monitorado e para cada parâmetro analisado durante as campanhas realizadas, o número de resultados não conformes, assim como a sua porcentagem em relação ao total de medidas (133).

Dentre os pontos situados no corpo mineral de N4WSul, predominam águas com características ácidas a levemente ácidas, com 33% dos resultados

de pH obtidos se situando abaixo de 6 ou muito mais raramente acima de 9 e, portanto, fora da faixa limite estipulada para esta variável (Fig. 36). Já nos pontos de monitoramento de N3, os valores médios de pH em não conformidade são bem menos numerosos, pois representam 19% do total e se limitam à estação seca (Fig. 37; Apêndice A). Nas duas áreas estudadas, os valores de pH obtidos variam em sua maioria entre 7,5 e 6,0 (Fig. 14) e coincidem com aqueles de águas superficiais e subterrâneas inseridas em sistemas geológicos de formação ferrífera. Tais valores devem estar relacionados com a decomposição da matéria orgânica do solo, que é abundante na região e leva à formação de ácidos fúlvicos e húmicos. Os baixos valores de alcalinidade de bicarbonato obtidos nos pontos amostrados indicam baixa capacidade de tamponamento para as águas da região.

Em relação à condutividade elétrica, nos pontos de N4WSul, os resultados apresentaram-se em sua maioria inferiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, condição típica de águas com baixa concentração iônica e, em princípio, não impactadas. Da mesma maneira, as concentrações de sólidos dissolvidos totais são pouco expressivas e exibem plena conformidade com os limites estabelecidos. À exceção de resultado obtido nas águas do ponto N4-07, durante a campanha de dezembro de 2014, quando foi reportado valor de 206 mgPtCo/L, as concentrações obtidas são inferiores em relação ao limite máximo estipulado pela legislação e predominaram resultados inferiores ao limite de quantificação do método analítico. A cor verdadeira, que é influenciada pela concentração de sólidos totais dissolvidos, apresenta um único valor não conforme com a legislação vigente nos dois corpos estudados.

Para a variável turbidez, assim como para os teores de sólidos totais em suspensão, os resultados obtidos foram inferiores ao limite legal e situam-se predominantemente em valores abaixo de 5, correspondentes a águas límpidas, exceto em N4WSul na estação chuvosa, quando há valores superiores a 5.

Com relação aos metais, não foram constatados valores não conformes para bário total, boro total, cobalto total e cromo total. Pb (5%), Cd (5%), Zn (3%) e Ni (2%) apresentaram no máximo 5% de valores não conformes. Dentre os elementos citados, excetuando bário total, a maioria das amostras apresentou concentrações abaixo do limite de detecção. Em N4WSul, valores não

conformes foram identificados para o alumínio dissolvido (12%), cobre dissolvido (22%), ferro dissolvido (11%) e manganês total (21%) (Fig.36). Para os parâmetros Cu e Fe, a maioria dos resultados foram inferiores ao limite de quantificação dos métodos analíticos.

Para o alumínio dissolvido, nos pontos monitorados na Mina de N4WSul, durante as doze campanhas, foi registrado um total de 16 (dezesesseis) valores acima do padrão legal, que corresponde a 12% dos dados, com maior número no ponto N4-09, com 4 (quatro) não conformidades (Fig. 36). Somente nas amostras do ponto N4-06 não foram obtidas concentrações anômalas de alumínio dissolvido.

O Cobre dissolvido foi o metal a apresentar maior número de ultrapassagens do limite legal, totalizando 29 (vinte e nove), que corresponde a 22% dos dados em não conformidade, com destaque para as águas do ponto N4-26, com 05 (cinco) não conformidades (Fig. 36). Assim como o Cu, o Mn apresentou um elevado número de não conformidades, um total de 28 (vinte e oito), que corresponde a 21% dos dados, com destaque para o ponto N4-25 que apresentou durante o período de monitoramento 06 (seis) concentrações acima do limite legal, seguido dos pontos N4-03 e N4-04, ambos com 05 (cinco) não conformidades. Foi observado pelo menos um valor não conforme de Cu em todos os pontos de amostragem e, no caso do Mn, apenas no ponto N4-09 não foi observado nenhum valor não conforme. A fração dissolvida apresentou teores pouco expressivos com máximo de 0,84 mg/L Mn.

Para o ferro dissolvido, destacou-se o ponto N4-07, em que, das 12 (doze) amostras coletadas, 11 (onze) apresentaram concentrações superiores ao padrão estabelecido para águas doces classe 2 (Fig. 36). Neste ponto, a água apresentou aspecto turvo, com vegetação ombrófila densa, localizado as proximidades de uma lagoa e do acesso principal de pesquisa mineral do corpo N4WSul, com potencial influência sobre o mesmo. Neste ponto foi identificado o maior número de possíveis outliers em N4WSul, para o parâmetro turbidez, com valores de 9,9 NTU, 12,6 NTU e 15,1 NTU (Fig. 23). Embora estes valores estejam em conformidade com o limite estipulado pela legislação que é de 100NTU, indicam maior aporte de partículas sólidas em suspensão na água. Outras não conformidades foram obtidas em amostras de águas dos pontos N4-

01, N4-05 e N4-26, sendo, porém, um único caso para cada ponto, totalizando 14 (quatorze) ultrapassagens do limite legal, que corresponde a 11% dos dados, para ferro dissolvido na região do corpo mineral de N4WSul.

Quanto às variáveis cádmio total e chumbo total, os registros de concentrações não conformes foram em menor número, totalizando 7 (sete) situações para cada uma das variáveis (Fig. 36), que correspondem a 5% dos dados, sendo a maioria dos resultados inferior aos respectivos limites de detecção do método. Similarmente, para zinco total e níquel total foram reportados, respectivamente, apenas 4 (quatro; 3%) e 3 (três; 2%) resultados não conformes e apenas três pontos de amostragem acusaram valores anômalos para estes elementos.

Quanto ao monitoramento microbiológico, a contagem de coliformes termotolerantes revelou que em praticamente todas as amostras de água os resultados não ultrapassaram o limite estabelecido pela legislação, a exceção do resultado obtido na amostra de água do ponto N4-25, durante a campanha de março de 2014, período de chuvas na região. Em princípio, tal valor anômalo poderia ser relacionado a carreamento de carga difusa, contudo a contagem de 5.650 NMP/100mL é alta, sendo comparável aos valores obtidos em corpos de água receptores de efluentes sanitários. Portanto, é mais provável que se trate de resultado anômalo, proveniente de possível erro de amostragem e/ou análise.

A matéria orgânica, indicada pelo parâmetro DBO₅, apresentou todos os valores inferiores ao limite de quantificação do método e, conseqüentemente, ao limite máximo legal. As concentrações de Oxigênio dissolvido, em sua maioria, são superiores ao limite mínimo legal, indicando bom estado de oxigenação dos cursos de água. Entretanto, ocorreram casos isolados de não conformidade nas amostras dos pontos N4-06 (4,26 mg/L – junho de 2014), N4-07 (4,67 mg/L – fevereiro de 2015) e N4-26 (4,73 mg/L – julho de 2014).

A série nitrogenada, que inclui os parâmetros nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal total, apresentou, em geral, teores pouco significativos, havendo uma única não conformidade relacionada à concentração de nitrato no ponto N4-07 (11,3 mg/L – julho de 2014). Similarmente, o parâmetro fósforo total apresentou durante todo o período de monitoramento somente um resultado não conforme, em amostra do ponto N4-01 (0,14 mg/L – setembro de 2014).

Quanto ao parâmetro Sulfato total, as concentrações medidas foram todas inferiores a 14,6 mg/L, consideravelmente abaixo do valor máximo permitido pela legislação. Por outro lado, as concentrações de sulfeto situam-se acima do limite legal em 14 (quatorze) amostras provenientes de dez pontos distintos de amostragem, destacando-se as amostras dos pontos N4-07 e N6-01, com 03 (três) não conformidades cada. A variável Óleos e graxas não apresentou resultados quantificáveis, podendo se considerar como atendida a condição “virtualmente ausentes”.

Para fenóis totais e substâncias tensoativas que reagem com azul de metileno, prevaleceram resultados inferiores aos respectivos limites de quantificação, bem como ao limite legal, exceto em amostras isoladas e exclusivamente para substâncias tensoativas (pontos de monitoramento N4-02, 0,57 mg/L – outubro de 2014 - e N4-07, 4,87 mg/L – outubro de 2014). Os ânions cloreto total e fluoreto total, quando quantificados, apresentaram concentrações pouco expressivas se comparadas aos respectivos limites legais.

A quantificação da biomassa de algas foi realizada através da avaliação do parâmetro Clorofila a, que obteve teor máximo de 6,49 µg/L verificado nas águas do ponto de monitoramento N4-03, durante a campanha de setembro de 2014, conferindo a essa variável plena conformidade legal.

Quanto à rede do monitoramento do corpo mineral N3, constatou-se, assim como para o corpo N4WSul, a predominância de característica ácida a levemente ácida nas águas da região, com pelo menos um valor abaixo da faixa limite estipulada para este parâmetro em todos os pontos monitorados, sendo que os pontos N3-3, N3-4 e N3-7 apresentaram 02 (dois) valores não conformes cada (Fig. 37). Os valores anômalos em relação à faixa limite estipulada correspondem a 19% dos dados.

Em relação à condutividade elétrica, a maioria dos resultados é inferior a 100 µS/cm e, portanto, compatível com aqueles típicos de águas pouco mineralizadas. São exceção os valores obtidos nos pontos N3-3 e N3-6, durante o mês de abril de 2015, de 184 µS/cm e 196 µS/cm, respectivamente, influenciados provavelmente pelo tempo chuvoso registrado no momento da coleta. Consequentemente, os conteúdos de sólidos dissolvidos totais também se apresentaram pouco expressivos e situam-se bem abaixo do limite legal.

Como particularidade, foram registrados valores diferenciados em amostras coletadas nos pontos N3-3 e N3-6, em um mesmo dia do mês de abril de 2015 (117 mg/L e 63 mg/L, respectivamente). Seguindo esta tendência, a variável cor verdadeira teve a maioria dos resultados reportados como inferior ao Limite de Quantificação, sendo que os valores quantificáveis tiveram plena conformidade legal.

Para a variável turbidez, a totalidade dos resultados obtidos situa-se abaixo do limite legal, com valor máximo de 5,76 UNT em amostra coletada no ponto N3-6 em campanha realizada durante o mês de junho de 2015. Analogamente, para os teores de sólidos totais em suspensão, prevaleceram concentrações pouco expressivas não superiores a 21,5 mg/L. A concentração máxima foi obtida em amostra do ponto N3-3 durante a campanha de novembro de 2015.

Quanto aos metais, os parâmetros que apresentaram dois resultados não conformes, que corresponde a 4% dos dados, nos diferentes pontos monitorados foram alumínio dissolvido, cobre dissolvido, manganês total e mercúrio, ao passo que ferro dissolvido, chumbo, selênio e sulfeto apresentaram um valor não conforme cada (Fig. 37). A maioria das concentrações obtidas são inferiores aos limites de detecção dos respectivos métodos analíticos.

As condições microbiológicas das amostras de água do corpo mineral de N3 são condizentes com as de ambiente não antropizado, conforme indica a total conformidade das mesmas em termos do parâmetro coliforme termotolerantes, cuja contagem máxima foi de 780 UFC/100ml, nos pontos N3-3 e N3-6, durante o mês de novembro de 2015.

Os níveis de oxigenação, avaliados por meio da quantidade de oxigênio dissolvido, também são satisfatórios e denotam a ausência de interferências antrópicas nos igarapés monitorados. Isso é confirmado pela concentração de DBO_5 , sempre inferior ao limite de quantificação do método analítico.

Na série nitrogenada, nenhuma amostra apresentou concentrações acima dos limites estipulados pela legislação em vigor, sendo as mesmas pouco expressivas tanto para nitrogênio amoniacal total, como para nitrato e nitrito. Similarmente, o parâmetro fósforo total apresentou a maioria dos resultados abaixo do Limite de Quantificação, com plena conformidade legal.

Para os parâmetros sulfato total e sulfeto total, os resultados obtidos situam-se de modo amplamente dominante abaixo do limite de detecção do método analítico. Uma exceção foi identificada no ponto N3-4 onde o parâmetro sulfeto total, durante o mês de maio de 2016, exibiu valor de 0,006 mg/l, acima do limite estipulado de 0,002 mg/l.

A variável óleos e graxas não apresentou resultados quantificáveis, sendo atendida a condição “virtualmente ausentes” recomendada pela norma legal. Para fenóis totais e substâncias tensoativas que reagem com azul de metileno, prevaleceram resultados inferiores aos respectivos limites de quantificação, bem como ao limite legal. Os parâmetros cloreto total e fluoreto total, quando quantificados, também apresentaram concentrações pouco significativas.

Por fim, a variável clorofila a apresentou teores baixos, próximos ao limite de quantificação, resultando em atendimento pleno ao padrão estabelecido para águas doces classe 2.

A diferença entre o número de ocorrências entre as áreas dos corpos minerais de N3 e N4WSul, pode ter sido influenciada pelo número de campanhas e períodos distintos de realização das mesmas, sendo 8 (oito) no N3 e 12 (doze) em N4WSul. Outro fato que pode ser considerado é a potencial influência da drenagem do acesso de pesquisa sobre o ponto N4-7, o qual apresentou características contrastantes em relação aos demais pontos.

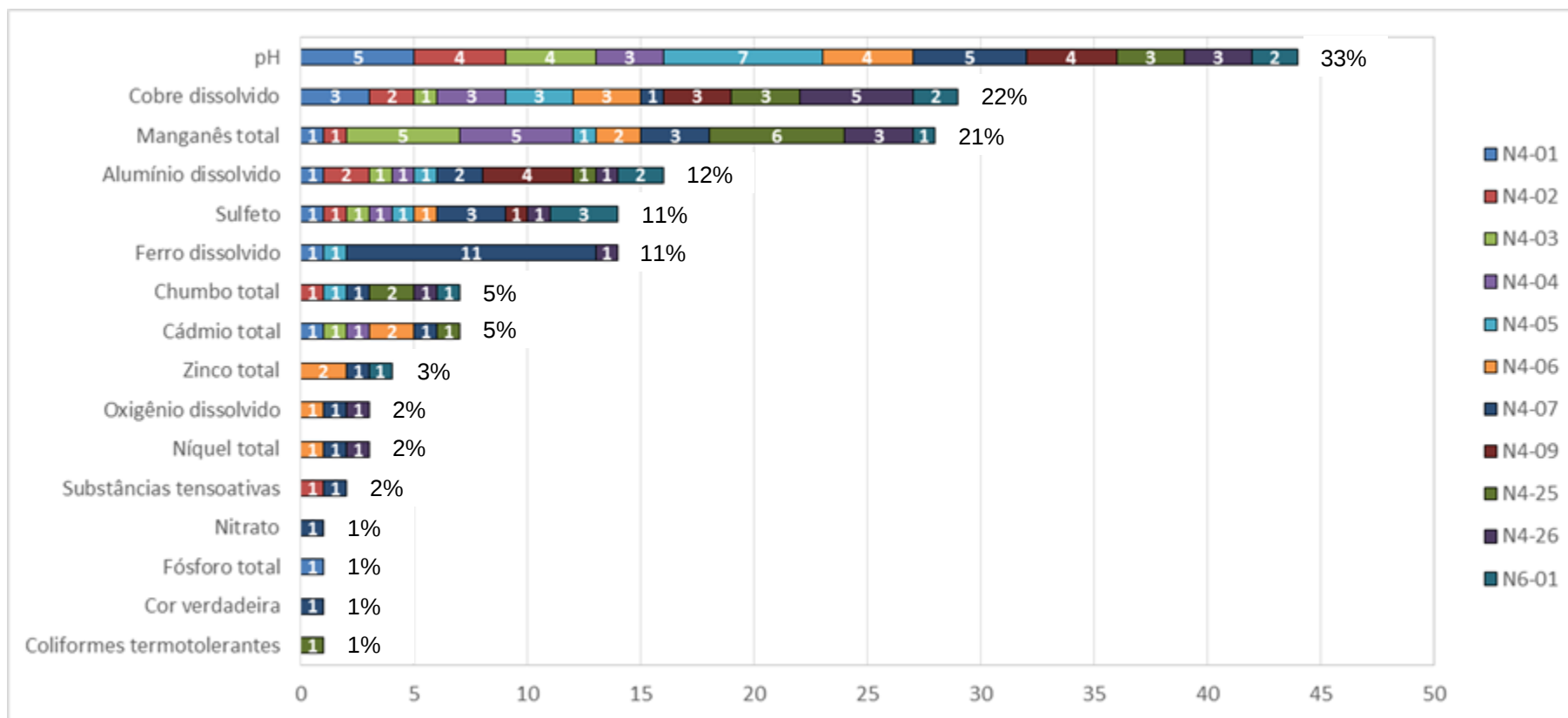


Figura 36 – Relação de Pontos e Parâmetros que Apresentaram Concentrações Não Conformes – Corpo Mineral N4WSul

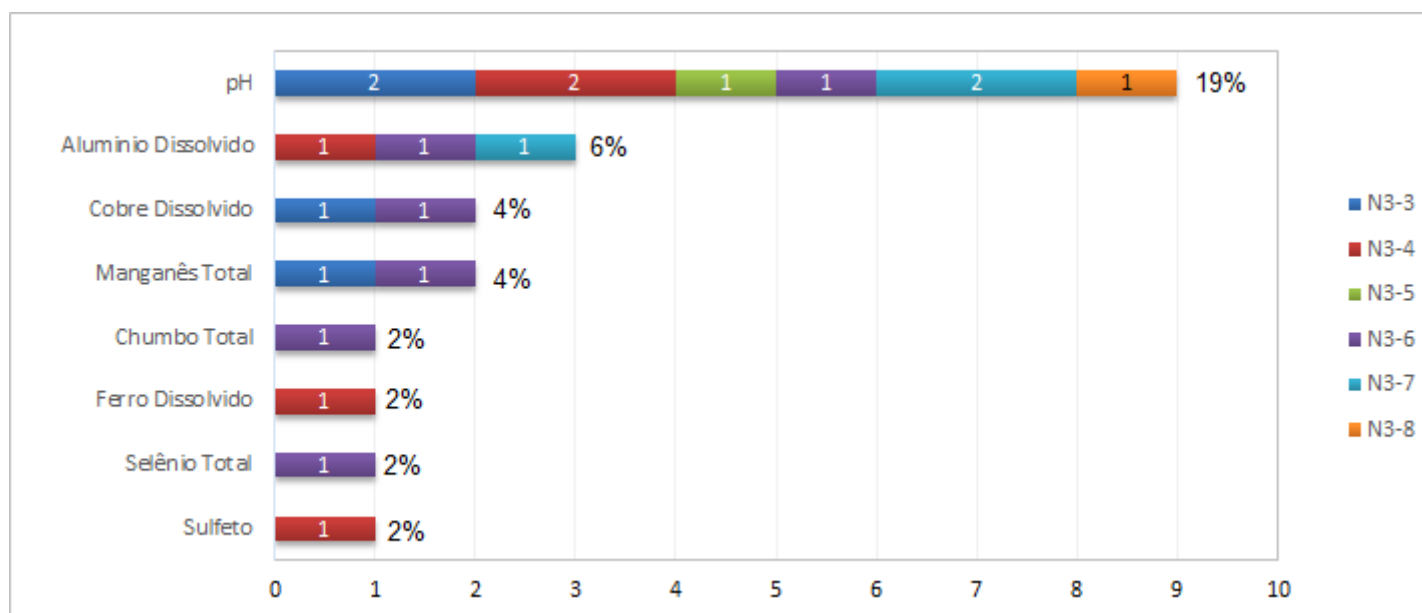


Figura 37 – Relação de Pontos e Parâmetros que Apresentaram Concentrações Não Conformes – Corpo Mineral N3

5.3 CÁLCULO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA - IQA

O cálculo do IQA baseou-se na avaliação de amostras coletadas durante os meses que representam as diferentes estações climáticas, para identificar possíveis influências nos resultados obtidos devido à sazonalidade, entendendo a contribuição de cada variável individual utilizada para composição do índice. Alguns resultados não foram gerados devido à ausência de pelo menos um dos parâmetros necessários para cálculo.

Na tabela 5, são apresentados os resultados dos cálculos do IQA para os diferentes pontos analisados no corpo mineral de N3, considerando os critérios de classificação adotados pela CETESB.

Tabela 5 – Resultados de IQA para pontos de monitoramento do domínio N3.

Data das Amostragens	Pontos de Monitoramento					
	N3_3	N3_4	N3_5	N3_6	N3_7	N3_8
Maio/14	88,4	78,7	85,4	85,6	81,9	89,5
Outubro/14	72,5	85,1	66,9	69,6	84,3	89,8
Abril/15	80,8	81,7	85,0	92,4	84,1	
Junho/15	90,0	76,3	79,9	82,7	74,0	83,3
Setembro/15	93,3	75,0	82,2	81,9	79,2	93,4
Novembro/15	72,8	84,3	75,2	74,5	79,0	87,4
Fevereiro/16	77,6	86,0	83,7	81,5	82,1	86,0
Maio/16	82,2	82,4	80,2	81,8	80,0	81,9

Na análise dos resultados, verifica-se que as águas superficiais no corpo mineral N3 se enquadram entre “boa” (>60 a 80) e “ótima” (>80). Estes resultados estão condizentes com o tipo de ambiente avaliado, pois é considerado em princípio como área natural, sem interferências antrópicas, que poderia, em tese, ser propícia para a estimativa de valores de background.

Fazendo uma comparação entre a média geral dos resultados obtidos para o IQA em todos os pontos de amostragem versus a pluviometria, durante o período monitorado (figura 38), pode-se notar variações pouco acentuadas nos valores do IQA, ao passo que a precipitação varia de modo muito marcante. O IQA varia de valores superiores a 80 (águas “ótima”) para um pouco inferiores a 80 (águas “boa”). Os valores acima de 80 foram obtidos tanto na estação chuvosa (abr/15 e fev/16), quanto na estação seca (jun/15 e set/15) ou na

transição entre elas (mai/14 e mai/16). Os valores abaixo de 80 foram registrados na transição ou no início da estação chuvosa (out/14 e nov/15) (Fig. 38). Portanto, os dados obtidos não indicam diferenças expressivas no IQA durante as estações chuvosa e seca na área estudada.

Nas campanhas realizadas durante os meses de abril e maio, final do período chuvoso e início do período de estiagem, foram coletadas as águas que apresentaram o maior número de valores de IQA enquadrados como “ótima”. Enquanto que nas campanhas realizadas durante os meses de outubro e novembro, início do período chuvoso, foram coletadas maior número de amostras com valores de IQA, enquadrados como "boa".

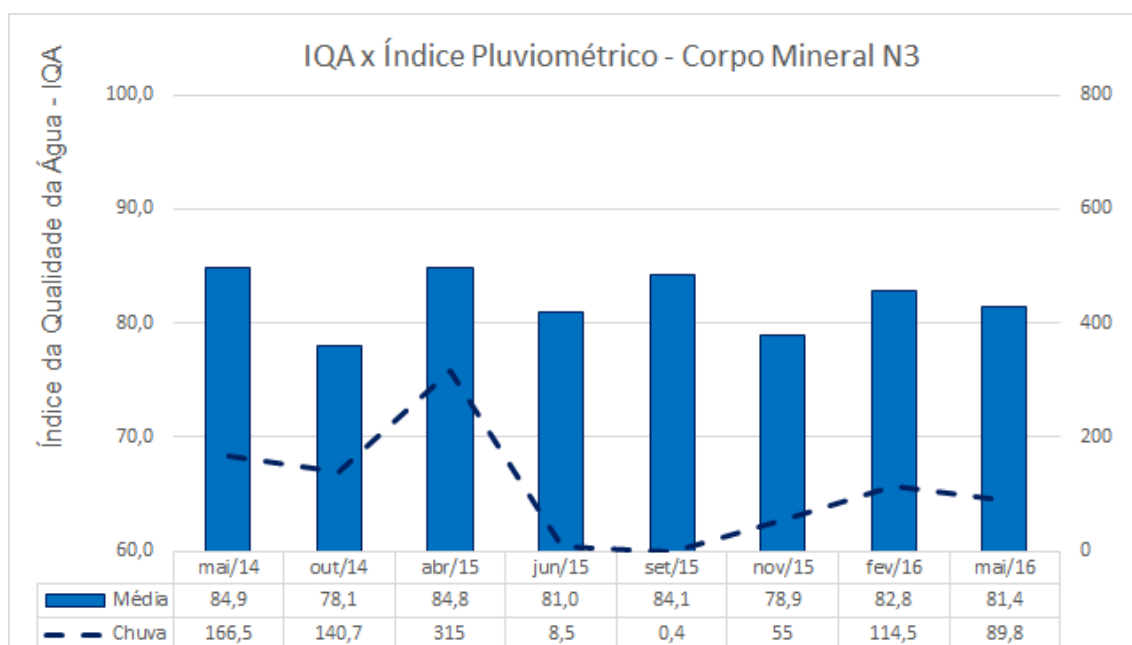


Figura 38 – Dados IQA versus índice pluviométrico – Corpo Mineral N3.

Pode-se observar algumas diferenças entre os pontos monitorados. O ponto N3-8 é o que apresenta melhor qualidade da água considerando que o IQA em média foi de 87,3 e todos os valores obtidos nas diferentes campanhas enquadrados como condição “ótima”. No ponto N3-7, verifica-se o maior número de valores enquadrados como “boa” e o menor desvio padrão de 3,4, enquanto que o menor valor médio de IQA (79,8), foi obtido no ponto N3-5, conforme pode ser observado na tabela 6 e na figura 39.

Tabela 6 – Estatística descritiva dos valores de IQA – Corpo Mineral N3

Pontos	Nº Dados	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo
N3-3	8	82,2	7,8	72,5	81,5	93,3
N3-4	8	81,2	4,1	75,0	82,0	86,0
N3-5	8	79,8	6,2	66,9	81,2	85,4
N3-6	8	81,2	6,8	69,6	81,8	92,4
N3-7	8	80,6	3,4	74,0	80,9	84,3
N3-8	7	87,3	4,0	81,9	87,4	93,4

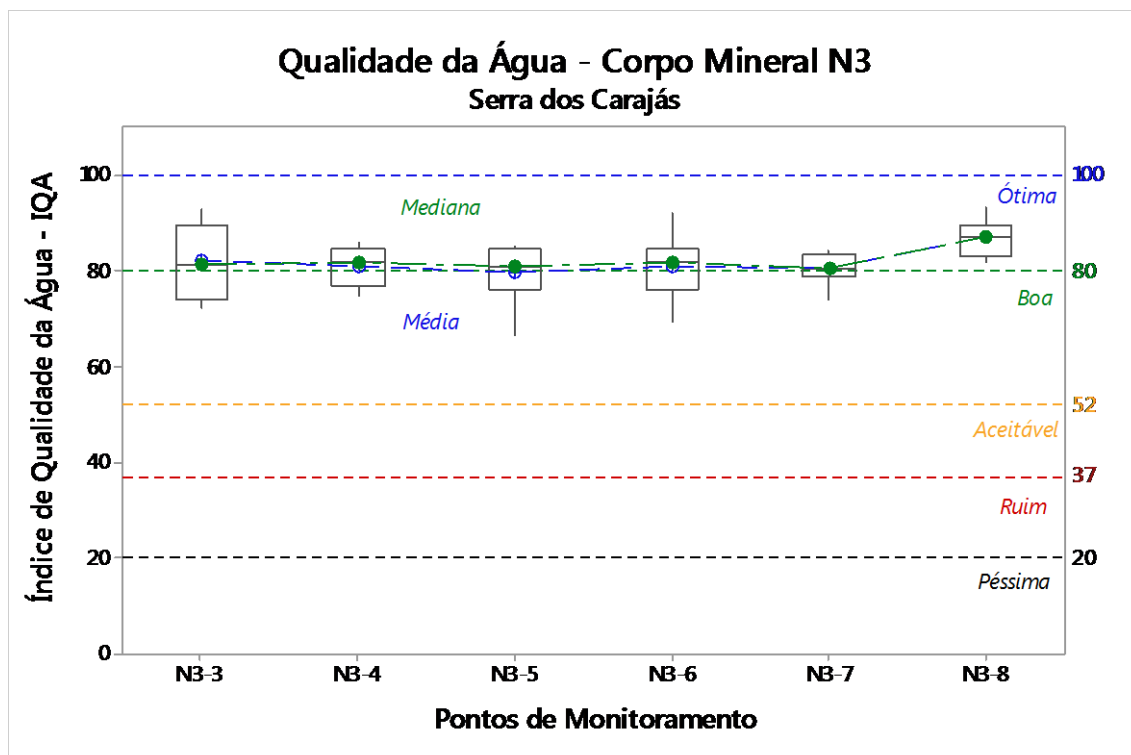


Figura 39 – Gráfico box plot para os valores de IQA obtidos nos diferentes pontos de amostragem do Corpo Mineral N3.

Na figura 40, pode ser observado o comportamento de cada variável individual na composição do índice. As variáveis que compõem o IQA que receberam os menores valores individuais foram oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes e pH, sendo que para as mesmas são atribuídos os maiores pesos de 0,17, 0,15 e 0,12, respectivamente.

Os resultados obtidos para coliformes termotolerantes são satisfatórios e condizentes com condições microbiológicas de ambientes não antropizados. Entretanto, esta variável apresenta grandes variações, com valores entre <1 a 780 UFC/100ml, o que se reflete nos valores obtidos para o IQA.

Quanto ao pH, tem-se a predominância de característica ácida a levemente ácida para as águas da região, com pelo menos um valor abaixo da faixa limite estipulada para este parâmetro, em cada um dos pontos monitorados. Estes valores levam à redução dos valores de IQA, sendo representados graficamente por outliers inferiores situados abaixo do intervalo interquartil (Fig. 40).

Os níveis de oxigenação da água nos pontos amostrados são satisfatórios, o que é condizente com condições de ambiente sem interferência antrópica. O oxigênio dissolvido possui o maior peso no cálculo do IQA, logo os resultados obtidos para esta variável têm maior contribuição no resultado final do IQA.

Os resultados de IQA obtidos para as demais variáveis apresentam valores entre 79 a 99 e também são condizentes com possíveis características naturais para o ambiente estudado.

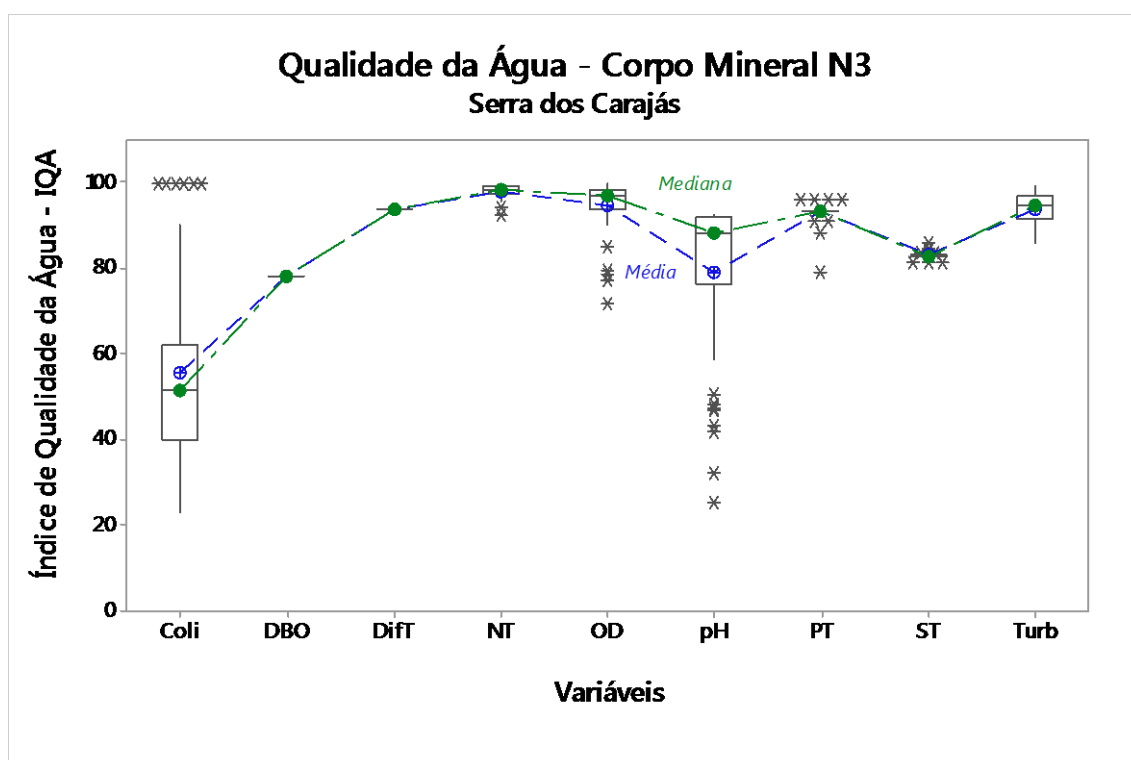


Figura 40 – Gráfico box plot para os diferentes parâmetros que compõem o IQA – Corpo Mineral N3.

Na tabela 7 e na figura 41, são apresentados os resultados dos cálculos do IQA para os diferentes pontos de amostragem no corpo mineral de N4WSul, considerando os critérios de classificação adotados pela CETESB.

Tabela 7 – Resultados de IQA para pontos de monitoramento de N4WSul.

Período de Amostragem	Pontos de Monitoramento										
	N4-1	N4-2	N4-3	N4-4	N4-5	N4-6	N4-7	N4-9	N4-25	N4-26	N6-01
Dezembro-13	78,3	79,5	82,4	87,2	83,0	82,6	64,4	80,5	80,8	81,2	81,4
Fevereiro-14	76,9	76,3	75,5	74,9	86,9	75,6	82,0	77,0	78,9	75,2	78,2
Março-14	68,6	75,2	73,8	76,2	74,1	77,9	78,8	77,2	65,2	78,0	69,7
Abril-14	89,2	88,3	86,6	86,6	79,8	90,3	76,2	81,2	73,9	76,7	81,9
Maio-14	80,6	80,2				76,8	78,0	80,5	83,4	79,1	80,9
Junho-14	61,2	61,2	70,1	90,9	72,2	73,7	81,2	80,2	77,6	90,1	85,8
Julho-14	82,9	79,3	80,8	80,3	83,0	85,8	75,7	78,6	82,2	80,9	72,8
Setembro-14	87,8	92,7	80,2	81,8	76,1	91,4	92,1	87,4	85,8	92,1	83,2
Outubro-14	77,2	84,9	82,9	83,6	85,8	71,5	81,6	79,0	79,4	76,8	70,9
Novembro-14	74,9	80,2	73,7	84,1	67,8	72,2	82,3	78,0	84,8	82,5	81,2
Dezembro-14	81,6	73,4	81,1	82,5	78,6	85,8	71,3	80,1	80,0	72,2	74,1
Janeiro-15	85,5	82,5	75,2	77,1	76,3	71,5	71,7	84,0	77,4	85,8	83,4

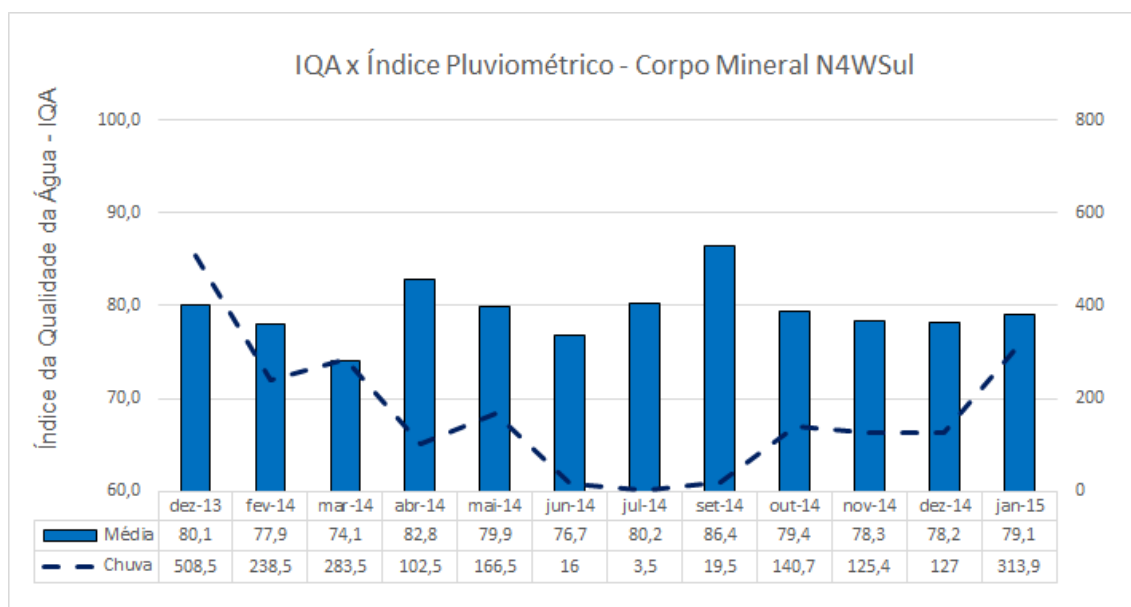


Figura 41 – Dados IQA versus índice pluviométrico – Corpo Mineral N4WSul.

Na análise dos resultados obtidos no corpo mineral N4WSul, verifica-se que as águas superficiais se enquadram entre “boa” e “ótima”, similarmente ao observado para o corpo N3. No gráfico de comparação entre a média dos resultados obtidos para o IQA versus a pluviometria (figura 41), constata-se comportamento inteiramente distinto destas duas variáveis e são observadas variações de IQA entre “boa” e “ótima” ao longo de todas as campanhas realizadas.

Na figura 42 e na tabela 8, é apresentada a síntese estatística dos resultados obtidos em cada ponto monitorado no corpo mineral de N4WSul. Nelas pode-se observar que o ponto N4-04 apresenta o maior valor médio de IQA (82,3), enquanto que o ponto N4-07 exibe o menor valor médio (77,9).

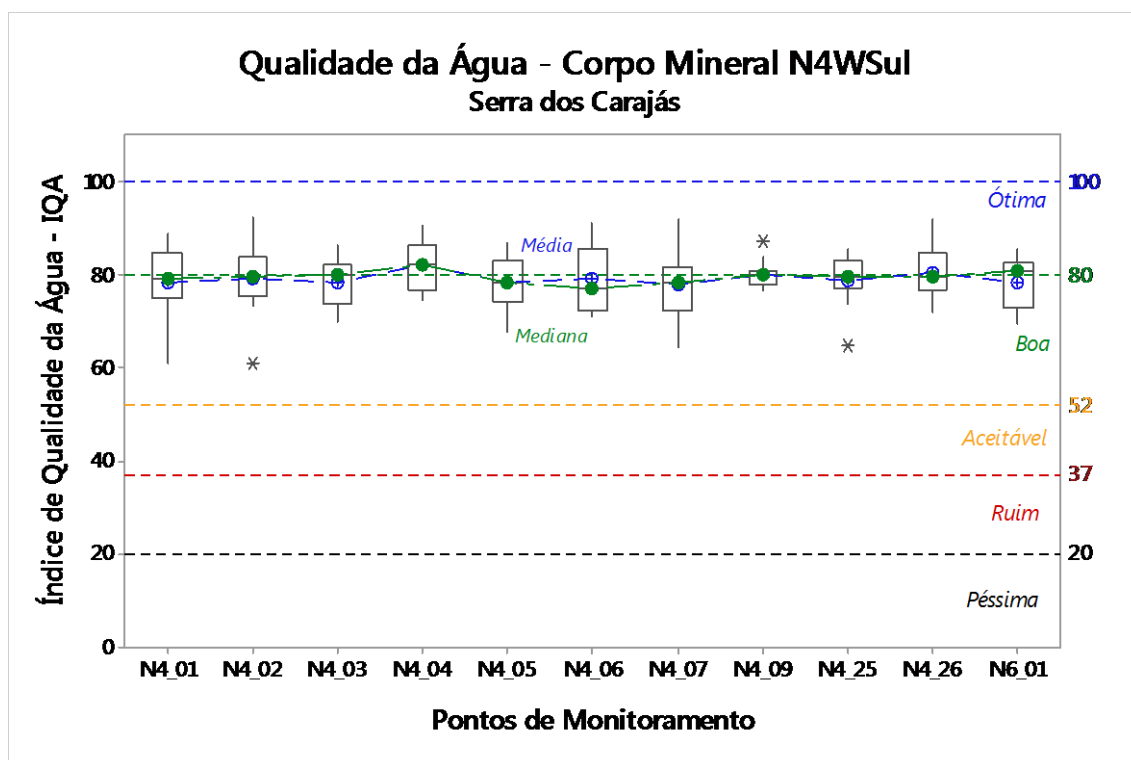


Figura 42 – Gráfico box plot para os valores de IQA obtidos nos diferentes pontos de amostragem do Corpo Mineral N4WSul

Tabela 8 – Síntese estatística dos valores de IQA obtidos nos pontos de amostragem do Corpo Mineral N4WSul

Pontos	FrequênciaTotal	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo
N4_01	12	78,7	8,0	61,2	79,4	89,2
N4_02	12	79,5	7,9	61,2	79,9	92,7
N4_03	12	78,4	5,0	70,1	80,2	86,6
N4_04	12	82,3	5,0	74,9	82,5	90,9
N4_05	12	78,5	5,9	67,8	78,6	86,9
N4_06	12	79,6	7,3	71,5	77,4	91,4
N4_07	12	77,9	7,0	64,4	78,4	92,1
N4_09	12	80,3	2,9	77,0	80,1	87,4
N4_25	12	79,1	5,5	65,2	79,7	85,8
N4_26	12	80,9	6,0	72,2	80,0	92,1
N6_01	12	78,6	5,4	69,7	81,1	85,8

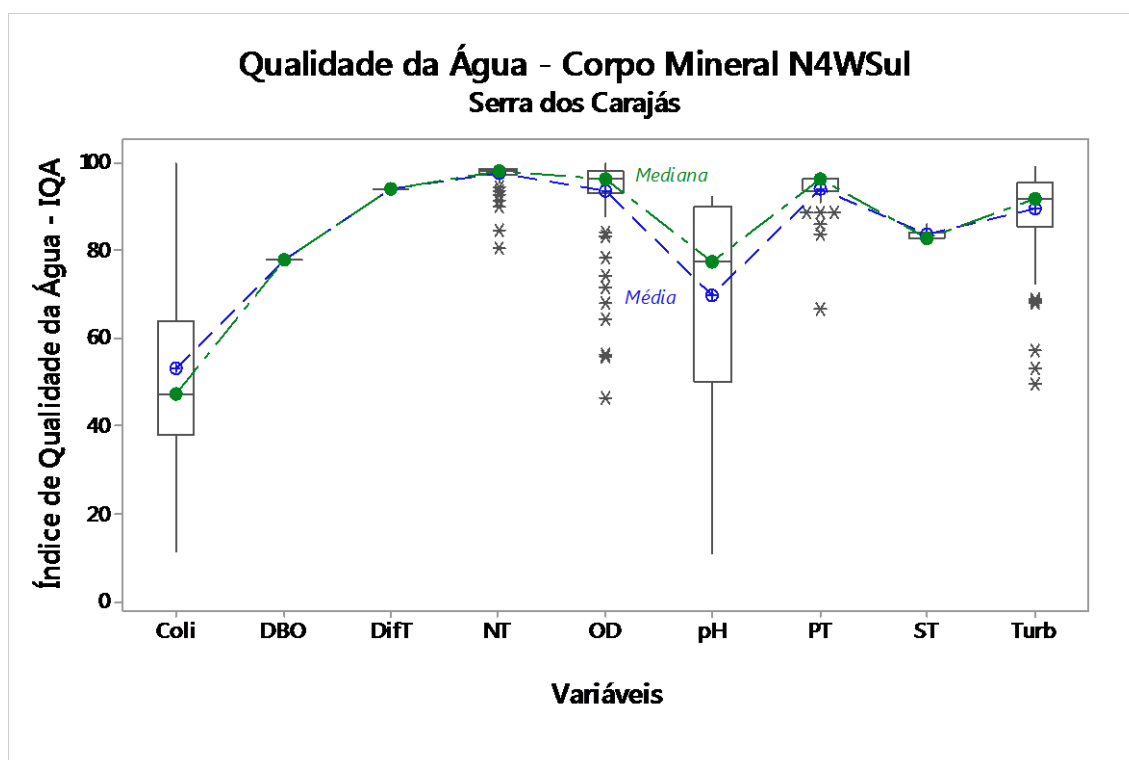


Figura 43 – Gráfico box plot para os diferentes parâmetros que compõem o IQA – Corpo Mineral N4WSul

Na figura 43, pode ser observado o comportamento de cada variável individual que compõe o índice IQA, sendo pH, coliformes termotolerantes, DBO₅ e sólidos totais, as variáveis que apresentaram os menores valores individuais de IQA.

Os resultados obtidos para coliformes termotolerantes ficaram, em sua maioria, abaixo do limite estipulado pela legislação em vigor, com exceção do valor de 5.650 UFC/100ml obtido no ponto N4-25, cuja causa não pôde ser identificada, mas pode estar relacionada a falha na amostragem e/ou análise, assim como, ocorrência eventual de fezes de animais silvestres, causando uma anomalia localizada. Esta variável apresenta elevada sensibilidade e está sujeita a grandes variações, que se refletem nos resultados obtidos para o IQA.

Quanto ao pH, a predominância de característica ácida a levemente ácida para as águas da região, leva à redução dos valores de IQA.

Os níveis de oxigenação para estes pontos são satisfatórios, sendo que esta variável tem contribuição expressiva no valor final do IQA.

Diferentemente ao observado nos pontos do domínio N3, os valores obtidos para turbidez nos pontos localizados no corpo N4WSul apresentaram maiores variações e tendem a ser comparativamente menores, com muitos outliers inferiores ao intervalo interquartil, que influenciam no sentido de se obter menores valores de IQA.

Os resultados de IQA obtidos para as demais variáveis, com valores entre 66,8 a 99,3 em uma escala de 0 a 100, são satisfatórios e refletem as características naturais do ambiente estudado.

5.4 CÁLCULO DOS VALORES DE BACKGROUND

A metodologia utilizada para estimativa dos valores de background ou Valores de Referência da Qualidade (VRQ), foi a desenvolvida pela US-EPA e detalhada no item 4.7.

5.4.1 Avaliação de Tendência

Para o teste de tendência de séries temporais foram empregados os testes de Mann-Kendall (univariado) e Teste de Theil-Sem, de acordo com a metodologia aplicada no programa ProUCL, versão 5.0.00. Nas tabelas 9 e 10 é apresentado o resumo dos resultados do teste de Mann-Kendall, aplicado para cada ponto, e do teste de Theil-Sen, para os pontos que apresentaram tendência para a primeira metodologia, para o grupo de parâmetros de interesse, sendo os gráficos de tendência apresentados no apêndice B.

No teste de tendência Mann-Kendall aplicado aos dados obtidos durante as 12 (doze) campanhas de monitoramento realizadas nos pontos de monitoramento de N4WSul (Tabela 9), foi verificado que os parâmetros alumínio dissolvido nos pontos N4-06 e N4-26, cobre dissolvido nos pontos N4-02, N4-03 e N4-07, ferro dissolvido e ferro total, ambos no ponto de monitoramento N4-09, zinco total nos pontos N4-01, N4-2, N4-4 e N4-6, apresentaram evidência estatisticamente significativa de tendência de crescimento das concentrações. Por outro lado, o ferro dissolvido, no ponto de monitoramento N4-07 e ferro total no ponto N4-25, coliformes termotolerantes nos pontos N4-07 e N4-09, apresentaram tendência de decréscimo das concentrações. Para todos os pontos de monitoramento do corpo mineral N4WSul, o parâmetro fenóis totais apresentou evidência estatisticamente significativa de acréscimo nas concentrações, devido à mudança do valor do Limite de Quantificação. Já o parâmetro zinco total apresentou tendência de acréscimo nos pontos N4-04, N4-07, N4-26 e N6-01.

Para as amostras que apresentaram evidências de tendências em relação a metodologia Mann-Kendall, foi aplicado também o teste de tendência Theil-Sen. Neste, o cobre dissolvido no ponto N4-02, zinco total nos pontos N4-01, N4-02 e N4-06, apresentaram tendência de acréscimo para os dados. O ponto N4-07 demonstrou tendência de decréscimo para as concentrações de ferro dissolvido e no ponto N4-25 para ferro total.

Para o parâmetro fenóis totais, o teste de Theil-Sen mostrou não haver tendência de aumento. Da mesma forma, o parâmetro zinco total com tendência de acréscimo nos pontos N4-04, N4-07, N4-26 e N6-01 no teste Mann-Kendall, não confirmou esta tendência quando aplicado o teste Theil-Sen.

Tabela 9 - Resumo dos Resultados do Teste de Tendência – Corpo Mineral N4WSul no período Dez/2014-Jan/2015.

Ponto	Parâmetro	Evidência estatisticamente significativa suficiente para caracterização de tendência?			
		Mann-Kendall		Theil-Sen	
		Com LQ	Sem LQ	Com LQ	Sem LQ
N4-01	Al dissolvido	Não	-	-	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Não	-	-	-
	Fe dissolvido	Não	-	-	-
	Fe total	Não	-	-	-
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Sim (+)	-	Não	-
	Mercurio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Sim (+)	-	Sim (+)	-
N4-02	Al dissolvido	Não	-	-	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Sim (+)	Sim (+)	Sim (+)	Sim (+)
	Fe dissolvido	Não	-	-	-
	Fe total	Não	-	-	-
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Sim (+)	-	Não	-
	Mercurio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Sim (+)	-	Sim (+)	-
N4-03	Al dissolvido	Não	-	-	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Sim (+)	-	Não	-
	Fe dissolvido	Não	-	-	-
	Fe total	Não	-	-	-
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Sim (+)	-	Não	-
	Mercurio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Não	-	-	-

(+) tendência de acréscimo da concentração

(-) tendência de decréscimo da concentração

Tabela 9 (Continuação) - Resumo dos Resultados do Teste de Tendência – Corpo Mineral N4WSul no período Dez/2014-Jan/2015.

Ponto	Parâmetro	Evidência estatisticamente significativa suficiente para caracterização de tendência?			
		Mann-Kendall		Theil-Sen	
		Com LQ	Sem LQ	Com LQ	Sem LQ
N4-04	Al dissolvido	Não	-	-	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Não	-	-	-
	Fe dissolvido	Não	-	-	-
	Fe total	Não	-	-	-
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Sim (+)	-	Não	-
	Mercúrio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Sim (+)	-	Não	-
N4-05	Al dissolvido	Não	-	-	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Não	-	-	-
	Fe dissolvido	Não	-	-	-
	Fe total	Não	-	-	-
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Sim (+)	-	Não	-
	Mercúrio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Não	-	-	-
N4-06	Al dissolvido	Sim (+)	-	Não	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Não	-	-	-
	Fe dissolvido	Não	-	-	-
	Fe total	Não	-	-	-
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Sim (+)	-	Não	-
	Mercúrio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Sim (+)	-	Sim (+)	-

(+) tendência de acréscimo da concentração

(-) tendência de decréscimo da concentração

Tabela 9 (Continuação) - Resumo dos Resultados do Teste de Tendência – Corpo Mineral N4WSul no período Dez/2014-Jan/2015.

Ponto	Parâmetro	Evidência estatisticamente significativa suficiente para caracterização de tendência?			
		Mann-Kendall		Theil-Sen	
		Com LQ	Sem LQ	Com LQ	Sem LQ
N4-07	Al dissolvido	Não	-	-	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Sim (+)	-	Não	-
	Fe dissolvido	Sim (-)	Sim (-)	Sim (-)	Sim (-)
	Fe total	Não	-	-	-
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Sim (+)	Sim (+)	Não	-
	Mercurio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Sim (+)	Sim (+)	Não	-
N4-09	Al dissolvido	Não	-	-	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Não	-	-	-
	Fe dissolvido	Sim (+)	-	Não	-
	Fe total	Sim (+)	-	Não	-
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Sim (+)	-	Não	-
	Mercurio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Não	-	-	-
N4-25	Al dissolvido	Não	-	-	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Não	-	-	-
	Fe dissolvido	Não	-	-	-
	Fe total	Sim (-)	Sim (-)	Sim (-)	Sim (-)
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Sim (+)	-	Não	-
	Mercurio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Não	-	-	-

(+) tendência de acréscimo da concentração

(-) tendência de decréscimo da concentração

Tabela 9 (Continuação) - Resumo dos Resultados do Teste de Tendência – Corpo Mineral N4WSul no período Dez/2014-Jan/2015.

Ponto	Parâmetro	Evidência estatisticamente significativa suficiente para caracterização de tendência?			
		Mann-Kendall		Theil-Sen	
		Com LQ	Sem LQ	Com LQ	Sem LQ
N4-26	Al dissolvido	Sim (+)	-	Não	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Não	-	-	-
	Fe dissolvido	Não	-	-	-
	Fe total	Não	-	-	-
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Sim (+)	-	Não	-
	Mercúrio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Sim (+)	-	Não	-
N6-01	Al dissolvido	Não	-	-	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Não	-	-	-
	Fe dissolvido	Não	-	-	-
	Fe total	Não	-	-	-
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Sim (+)	-	Não	-
	Mercúrio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Sim (+)	-	Não	-

(+) tendência de acréscimo da concentração

(-) tendência de decréscimo da concentração

O teste de tendência Mann-Kendall nos parâmetros de interesse, considerando as oito campanhas de monitoramento realizadas nos seis pontos de monitoramento do corpo mineral N3, revelaram tendência de acréscimo para o parâmetro ferro dissolvido no ponto N3-05. Para este ponto foi aplicado o teste de tendência Theil-Sen, sendo confirmada a tendência no referido parâmetro. A seguir é apresentado o resumo dos resultados dos testes de tendência aplicados aos pontos de monitoramento do corpo mineral N3 (Tabela 10).

Tabela 10 - Resumo dos Resultados do Teste de Tendência – Corpo Mineral N3 no período Maio/2014 – Maio/2016.

Ponto	Parâmetro	Evidência estatisticamente significativa suficiente para caracterização de tendência?			
		Mann-Kendall		Theil-Sen	
		Com LQ	Sem LQ	Com LQ	Sem LQ
N3-03	Al dissolvido	Não	-	-	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Não	-	-	-
	Fe dissolvido	Não	-	-	-
	Fe total	Não	-	-	-
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Não	-	-	-
	Mercurio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Não	-	-	-
N3-04	Al dissolvido	Não	-	-	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Não	-	-	-
	Fe dissolvido	Não	-	-	-
	Fe total	Não	-	-	-
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Não	-	-	-
	Mercurio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Não	-	-	-
N3-05	Al dissolvido	Não	-	-	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Não	-	-	-
	Fe dissolvido	Sim (+)	Sim (+)	Sim (+)	Sim (+)
	Fe total	Não	-	-	-
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Não	-	-	-
	Mercurio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Não	-	-	-

(+) tendência de acréscimo da concentração

(-) tendência de decréscimo da concentração

Tabela 10 (continuação) - Resumo dos Resultados do Teste de Tendência – Corpo Mineral N3.

Ponto	Parâmetro	Evidência estatisticamente significativa suficiente para caracterização de tendência?			
		Mann-Kendall		Theil-Sem	
		Com LQ	Sem LQ	Com LQ	Sem LQ
N3-06	Al dissolvido	Não	-	-	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Não	-	-	-
	Fe dissolvido	Não	-	-	-
	Fe total	Não	-	-	-
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Não	-	-	-
	Mercurio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Não	-	-	-
N3-07	Al dissolvido	Não	-	-	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Não	-	-	-
	Fe dissolvido	Não	-	-	-
	Fe total	Não	-	-	-
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Não	-	-	-
	Mercurio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Não	-	-	-
N3-08	Al dissolvido	Não	-	-	-
	Cd total	Não	-	-	-
	Pb total	Não	-	-	-
	Cu dissolvido	Não	-	-	-
	Fe dissolvido	Não	-	-	-
	Fe total	Não	-	-	-
	Mn dissolvido	Não	-	-	-
	Mn total	Não	-	-	-
	Ni total	Não	-	-	-
	Fenóis totais	Não	-	-	-
	Mercurio total	Não	-	-	-
	Zinco total	Não	-	-	-

(+) tendência de acréscimo da concentração

(-) tendência de decréscimo da concentração

5.4.2 Concentrações de Background Natural

Para o cálculo das concentrações de estimativa de background ou Valores de Referência da Qualidade (VRQ) foi utilizado o método do Limite Superior Simultâneo – LSS, tendo sido adotado como premissa, que as áreas avaliadas são naturais, sem influência de atividades antrópicas.

Os valores de background obtidos para cada corpo mineral foram tratados de forma independente, pois os dados utilizados para o cálculo foram obtidos por meio de amostragens realizadas em períodos distintos, de dezembro de 2013 a janeiro de 2015, num total de 12 (doze) campanhas de monitoramento no corpo mineral N4WSul e 8 (oito) campanhas de monitoramento no corpo mineral N3, realizadas no período entre maio de 2014 a maio de 2016. Portanto, os resultados obtidos nas duas áreas estudadas não são plenamente comparáveis.

Foram feitos cálculos para cada ponto individualmente e para o conjunto de pontos de cada área em estudo, utilizando-se o método de Upper Limits/ Background Threshold Values - BTV (Percentiles, UPLs, UTL, USL / Limite Superior Simultâneo) a partir do software estatístico ProUCL, versão 5.0.00. Salienta-se que nos pontos da Mina de Ferro N4WSul, notou-se forte influência nos resultados integrados dos valores anômalos registrados no ponto N4-07, identificado também na análise feita em relação aos limites Legais. Em razão disso, os resultados desse ponto foram excluídos do cálculo do conjunto de dados para esta área. Contudo, foi realizado o cálculo para o ponto N4-07, isoladamente. Ademais, por apresentar diferentemente dos demais pontos tendência de acréscimo em suas concentrações, os resultados para o parâmetro cobre dissolvido obtidos nas amostras das águas do ponto de monitoramento N4-02, não foram considerados na determinação do valor de concentração de background para este elemento.

Nas tabelas 11, 12 e 13 são apresentados os valores das concentrações de background para os sítios anteriormente mencionados. Ressalta-se que no cálculo das concentrações de background, quando os resultados não puderam ser processados devido ao número elevado de valores abaixo Limite de Quantificação (LQ), foi adotado como valor de concentração o próprio LQ.

Para fenóis totais e mercúrio total, em ambos os sítios, e para cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido e níquel total em N3, os valores de

concentração de background não puderam ser calculados em função do grande número de análises com valores situados abaixo do limite de detecção em relação ao número total de análises. Esta condição foi mais marcante no cálculo de background para os pontos individuais em N3 cujo número de campanhas de monitoramento foi inferior às realizadas em N4WSul e no qual a quase totalidade dos resultados indicou valores abaixo do limite de detecção, não sendo possível o processamento dos dados para o cálculo do background.

Na estimação dos valores de background, alguns parâmetros apresentaram mais de um Limite de Detecção - LD ou de quantificação - LQ, tendo sido aplicado, nesses casos, o método não paramétrico de estimação do VRQ. Para aqueles que apresentaram um limite único, foi utilizado o método de distribuição normal ou gama, preferencialmente o primeiro, quando aplicável.

Para ambas as áreas em pauta, notou-se que as concentrações de background natural dos elementos avaliados são iguais ou superiores aos limites legais estabelecidos na Resolução CONAMA Nº 357/2005 para águas doce classe 2. Entre os corpos minerais de N3 e N4WSul, nos parâmetros utilizados para cálculo background, sobressaíram valores de concentrações mais elevados para o segundo domínio, mesmo com a exclusão dos resultados obtidos para o ponto N4-7 e dos valores de cobre dissolvido para o ponto N4-2, o qual apresentou tendência de acréscimo no conjunto de dados, diferentemente dos demais pontos monitorados.

Tabela 11 – Concentrações de Background – Corpo Mineral N4WSul.

	Limite de Quantificação mg/L	Todos os Pontos (Exceto N4-07)	Por Ponto - Upper Limits/BTVs ⁽¹⁾										
		Upper Limits/BTVs ⁽¹⁾	N4-01	N4-02	N4-03	N4-04	N4-05	N4-06	N4-07	N4-09	N4-25	N4-26	N6-01
Alumínio dissolvido / mg/L	0,05	0,23	0,14 ⁽⁴⁾	0,19 ⁽⁵⁾ 0,19 ⁽⁶⁾	0,06	0,12	0,05	0,08	0,16 ⁽⁴⁾	0,24 ⁽⁵⁾ 0,26 ⁽⁶⁾	0,08 ⁽⁴⁾	0,12	0,33 ⁽⁵⁾ 0,36 ⁽⁶⁾
Cádmio total / mg/L	0,001	0,004	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP
Chumbo total / mg/L	0,01	0,04	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	0,04	DNP	0,03
Cobre dissolvido / mg/L	0,009	0,04 (Expurgado N4-02)	0,040	0,030	0,010	0,010	0,020 ⁽⁵⁾ 0,020 ⁽⁶⁾	0,022	0,020	0,087	0,013 ⁽⁴⁾	0,014	DNP
Ferro dissolvido / mg/L	0,10	0,45	0,34	0,35 ⁽⁵⁾ 0,38 ⁽⁶⁾	0,17 ⁽⁵⁾ 0,17 ⁽⁶⁾	0,20 ⁽⁴⁾	0,45	0,10	3,54 ⁽⁴⁾	0,10	0,22 ⁽⁴⁾	0,35 ⁽⁴⁾	0,10
Ferro total / mg/L	0,10	1,30	0,46 ⁽⁴⁾	1,05	0,74 ⁽⁵⁾ 0,84 ⁽⁶⁾	0,34	0,48	0,13 ⁽⁴⁾	13,11 ⁽⁴⁾	0,10	0,53 ⁽⁴⁾	1,88 ⁽⁵⁾ 2,25 ⁽⁶⁾	0,25 ⁽⁵⁾ 0,27 ⁽⁶⁾
Manganês dissolvido / mg/L	0,025	0,840	0,500	0,320	0,790	0,153 ⁽⁴⁾	DNP	0,840	0,333	0,090	0,396 ⁽⁵⁾ 0,436 ⁽⁶⁾	0,760	0,770
Manganês total / mg/L	0,025	1,020	0,590	0,320	0,702	0,256 ⁽⁴⁾	0,060	0,910	0,180 ⁽⁴⁾	0,090	0,551 ⁽⁵⁾ 0,628 ⁽⁶⁾	0,800	1,020
Níquel total / mg/L	0,010	0,030	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP
Fenóis totais / mg/L	0,002	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP
Merúrio Total / mg/L	0,0002	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP
Zinco Total / mg/L	0,1	0,455	0,1	0,13	0,0793	0,0739	0,0531 ⁽⁴⁾	0,1	0,124 ⁽⁵⁾ 0,130 ⁽⁶⁾	0,0798 ⁽⁴⁾	0,122 ⁽⁴⁾	0,1	0,0175 ⁽⁴⁾

⁽¹⁾95% USL

⁽²⁾95% KM Bootstrap t UCL

⁽³⁾95% KM (t) UCL

⁽⁴⁾95% KM USL

⁽⁵⁾95% Gamma USL – Wilson Hiferty (WH)

⁽⁶⁾95% Gamma USL – Hawkins Wixley (HW)

DNP = Dado Não Processado

Tabela 12 – Concentrações de Background – Corpo Mineral N3.

	Limite de Quantificação mg/L	Todos os Pontos	Por Ponto - Upper Limits/BTVs ⁽¹⁾					
		Upper Limits/BTVs ⁽¹⁾	N3-03	N3-04	N3-05	N3-06	N3-07	N3-08
Alumínio dissolvido / mg/L	0,05	0,127 ⁽⁴⁾	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP
Cádmio total / mg/L	0,001	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP
Chumbo total / mg/L	0,01	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP
Cobre dissolvido / mg/L	0,009	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP
Ferro dissolvido / mg/L	0,10	0,323 ⁽⁴⁾	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP
Ferro total / mg/L	0,10	0,774 ⁽⁵⁾ 0,919 ⁽⁶⁾	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP
Manganês dissolvido / mg/L	0,025	0,790	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP
Manganês total / mg/L	0,025	0,790	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP
Níquel total / mg/L	0,010	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP
Fenóis totais / mg/L	0,002	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP
Merúrio Total / mg/L	0,0002	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP
Zinco Total / mg/L	0,1	0,104 ⁽⁴⁾	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP	DNP

⁽¹⁾95% USL

⁽²⁾95% KM Bootstrap t UCL

⁽³⁾95% KM (t) UCL

⁽⁴⁾95% KM USL

⁽⁵⁾95% Gamma USL – Wilson Hiferty (WH)

⁽⁶⁾95% Gamma USL – Hawkins Wixley (HW)

DNP = Dado Não Processado

Tabela 13 – Concentrações de Background – Área dos Corpos Minerais de N3 e N4WSul

	Limite de Quantificação mg/L	Limite	Por Corpo Mineral Upper Limits/BTVs ⁽¹⁾	
		CONAMA N° 357/05 Classe 2	N3	N4WSul
Alumínio dissolvido / mg/L	0,05	0,1	0,127 ⁽⁴⁾	0,23
Cádmio total / mg/L	0,001	0,001	DNP	0,004
Chumbo total / mg/L	0,01	0,01	DNP	0,04
Cobre dissolvido / mg/L	0,009	0,009	DNP	0,04
Ferro dissolvido / mg/L	0,10	0,3	0,323 ⁽⁴⁾	0,45
Ferro total / mg/L	0,10	-	0,774 ⁽⁵⁾ 0,919 ⁽⁶⁾	1,30
Manganês dissolvido / mg/L	0,025	-	0,790	0,840
Manganês total / mg/L	0,025	0,1	0,790	1,020
Níquel total / mg/L	0,010	0,025	DNP	0,030
Fenóis totais / mg/L	0,002	0,003	DNP	DNP
Mercúrio Total / mg/L	0,0002	0,0002	DNP	DNP
Zinco Total / mg/L	0,1	0,455	0,104 ⁽⁴⁾	0,455

⁽¹⁾95% USL

⁽²⁾95% KM Bootstrap t UCL

⁽³⁾95% KM (t) UCL

⁽⁴⁾95% KM USL

⁽⁵⁾95% Gamma USL – Wilson Hiferty (WH)

⁽⁶⁾95% Gamma USL – Hawkins Wixley (HW)

DNP = Dado Não Processado

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As análises realizadas nas amostras de águas superficiais das áreas dos corpos minerais N3 e N4WSul revelam valores de alguns dos parâmetros definidos neste estudo, acima dos limites estipulados pela Resolução 357 do CONAMA, conforme detalhado no item 5.2. As diferenças em relação aos limites foram mais evidentes nos resultados obtidos para o corpo mineral N4WSul se comparado ao N3. Possíveis interferências antropogênicas foram identificadas no ponto N4-7, que apresentou concentrações elevadas de diversos metais, mas principalmente de ferro dissolvido (Fig. 36). Isto pode ser explicado em função da proximidade daquele ponto de amostragem do acesso principal, sendo potencialmente influenciado pelas drenagens pluviais daquele local. Isto teria se refletido nos resultados obtidos para alguns parâmetros, os quais são diferenciados em relação aos demais pontos. Apesar desta ressalva, estima-se que, em sua ampla maioria, as ocorrências de valores acima dos permitidos pela resolução vigente estão relacionadas às características intrínsecas da região, mais do que a efeitos de ações antropogênicas. Em outras palavras, é a influência de fatores geológicos, geomorfológicos, pedológicos e climatológicos, assim como a disponibilidade dos diferentes elementos, que determina as concentrações de diferentes metais e as variações nos parâmetros físico-químicos nos corpos hídricos das áreas analisadas. Neste sentido, conclui-se que os valores de background determinados no presente trabalho refletem as condições naturais (geogênicas) e não efeitos de ações antropogênicas.

Uma avaliação complementar foi realizada por meio do cálculo do índice de qualidade da água – IQA, cujos resultados enquadram entre “boa” e “ótima” a qualidade das águas superficiais da região definida para o estudo. Estes resultados são satisfatórios e condizentes com os ambientes avaliados, considerados como áreas naturais, sem influência significativa de atividades antrópicas.

Na avaliação dos resultados obtidos no monitoramento da qualidade das águas superficiais das áreas objeto deste estudo, verifica-se que a sazonalidade é um fator preponderante na variação dos resultados obtidos, sendo que no período de estiagem, em geral, são obtidos valores de pH que tendem a ser um pouco menores, embora haja ampla superposição nos valores de pH obtidos nas

duas estações. Para a maioria dos metais, as maiores concentrações são obtidas durante o período chuvoso. Isto indica maior aporte destes elementos para os corpos hídricos em função da intensificação da erosão, lixiviação e transporte de elementos por meio das águas das chuvas que aumentam o volume e vazão das drenagens. Este comportamento pode parecer um pouco paradoxal, porque o aumento de volume da drenagem deve certamente favorecer a diluição dos diferentes metais nas águas superficiais, porém os dados obtidos indicam que esta tendência é contraposta pelos fatores mencionados, cuja influência deve superar o efeito da diluição por aumento de volume. Esta é uma conclusão importante do presente trabalho que deve ser investigada no âmbito de toda a bacia, o que permitirá testar a hipótese aqui apresentada. Foram identificadas exceções localizadas ao comportamento geral descrito, indicadas pela presença de alguns outliers superiores no período de estiagem para os parâmetros manganês total, zinco total e cobre dissolvido no corpo mineral N4WSul (Figuras 17, 20 e 22, respectivamente) e chumbo total, níquel total e cobre dissolvido no corpo N3 (Figuras 29, 32 e 33, respectivamente).

Com relação aos parâmetros relacionados às frações de sólidos, sendo eles os sólidos totais dissolvidos e turbidez, constata-se que em N4WSul há maior número de potenciais outliers e que estes estão presentes tanto no período chuvoso, quanto no de estiagem, enquanto que em N3 o número de potenciais outliers é limitado e foi identificado apenas no período chuvoso.

A estimação dos valores de background seguiu o método de Upper Limits / Background Threshold Values – BTV, sendo realizados cálculos para pontos individuais e conjunto de pontos em cada área em estudo. Trata-se de um pacote estatístico robusto para estimação dos valores de background. Entretanto, o conhecimento prévio das características intrínsecas da região estudada foi fundamental para tomadas de decisões de caráter subjetivo no tratamento dos dados obtidos estatisticamente. Conclui-se, conforme destacado por Reimann & Garret (2005), que embora o tratamento estatístico dos dados seja fundamental, os resultados assim obtidos devem obrigatoriamente ser confrontados e interpretados a luz dos diferentes aspectos geoambientais, de modo a se chegar a uma avaliação integrada consistente.

O fato de as concentrações de grande número de elementos analisados se situar sistematicamente ou em sua maior parte abaixo do limite mínimo de detecção dos métodos analíticos adotados, (por exemplo, B, Cd, Pb, Cl, Co, Cr, F, P, Ni; ver Tabelas 11, 12 e 13; Apêndice A), e de tais limites serem inferiores aos valores máximos admitidos pela Resolução CONAMA 357/2005 revela que os conteúdos destes elementos estão, de modo geral, em conformidade com a legislação vigente. Embora não tenha sido possível fixar valores para o background destes elementos, pode-se concluir que ele se situa em intervalo inferior ao limite de detecção analítico. Um número menor de elementos, com destaque para Al, Fe, Mn, Zn e Cu, este apenas em N4WSul, apresenta diversos valores acima do limite de detecção e, em alguns casos, valores superiores ao limite máximo da resolução (Apêndice A). Para estes elementos foi possível estimar valores de background com base nos valores máximos obtidos para cada um deles. Constata-se nas tabelas 11, 12 e 13, que os valores de background estimados para estes elementos são superiores aos conteúdos máximos indicados na resolução.

Portanto, para ambas as áreas em pauta, verificou-se que as concentrações de background dos parâmetros que apresentaram conteúdos superiores aos limites de detecção estão em não conformidade em relação aos limites legais estabelecidos na Resolução CONAMA Nº 357/2005 para águas doce classe 2. Isto foi constatado mesmo com o expurgo de resultados que apresentaram indicativos de potenciais interferências externas, como por exemplo, os dados obtidos no ponto N4-7, com destaque para Fe, ou como foi o caso dos valores obtidos para cobre dissolvido no ponto N4-2.

Em estudos desenvolvidos em outros países e/ou em outras regiões do Brasil, tem sido registradas concentrações em águas superficiais e subterrâneas acima dos limites estabelecidos pela legislação aplicável, por razões não relacionadas à atividade humana, como é o caso citado por Langmuir (1997), de identificação de concentrações de uma ou mais substâncias que excedem aos limites estabelecidos pela Agência de Proteção Ambiental (EPA), em águas superficiais e subterrâneas nos Estados Unidos. Situações análogas foram observadas no norte da Europa, o que levou a críticas da definição de valores rígidos para limites máximos legais sem levar em conta outras variáveis

ambientais, além da ação antropogênica (REIMANN; GARRET, 2005). No Brasil, e mais especificamente na região Amazônica, mesmo em áreas desprovidas de ação antropogênica, já foram identificadas concentrações de ferro e manganês nas águas superficiais acima dos valores estabelecidos na resolução CONAMA 357/2005 (SEMAS/PA, 2012).

Logo, conforme evidenciado no presente trabalho, é indispensável para melhor entendimento da distribuição dos elementos metálicos, bem como suas concentrações nos ecossistemas naturais, a realização de estudos aprofundados que levem em conta não somente possíveis efeitos antropogênicos, mas também a herança geogênica que varia em função do ambiente geológico e outros fatores. A presente pesquisa demonstra que tais estudos são fundamentais para a definição de padrões de qualidade da água e gestão dos recursos hídricos da região. Considera-se, obviamente, irrealista atribuir valores máximos de enquadramento inferiores aos valores de background natural em diferentes áreas e ambientes geológicos, pois deve-se levar em consideração as particularidades de cada região, conforme já tem se pronunciado a respeito alguns órgãos ambientais, referenciados neste estudo.

7 CONCLUSÕES

Mesmo com uma ferramenta estatística robusta, sem o conhecimento prévio das características intrínsecas da região não seria possível atuar com assertividade nas tomadas de decisões, como é o caso do tratamento de outliers ou valores anômalos, e poderia se chegar a valores superestimados de concentrações de background.

Para embasar a análise da qualidade das águas superficiais, foi calculado o índice de qualidade da água – IQA, que possui como principal vantagem a representação de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade. Entretanto, este índice não deve ser visto de forma isolada, devido à perda de informação das variáveis individuais e da sua interação. O resultado obtido no cálculo deste índice foi de enquadramento das mesmas entre “boa” e “ótima”. Estes resultados estão condizentes com o tipo de ambiente avaliado, considerando em princípio, que se

trata de áreas naturais, sem interferências antrópicas, que seriam, em tese, propícias para a estimativa de valores de background.

Como resultado da avaliação em relação aos limites Legais definidos pela legislação em vigor, há alguns parâmetros, com pelo menos um valor acima dos limites estipulados pela legislação (ver item 5.2), com destaque para o ponto N4-07, em que, das 12 (doze) amostras coletadas, 11 (onze) apresentaram para o parâmetro ferro dissolvido concentrações superiores ao padrão estabelecido para águas doces classe 2. Embora tenham sido identificados desvios em relação aos limites Legais estabelecidos nos dois corpos minerais, verifica-se um número superior em N4WSul. Uma potencial influência antrópica foi identificada no ponto N4-7 em decorrência da abertura de acesso para realização de pesquisas, sendo observadas características diferenciadas em relação aos demais pontos deste domínio. Entretanto, esta variação é considerada pontual, tendo em vista que os demais pontos, inclusive os pontos a montante e jusante, não seguiram esta mesma tendência.

A comparação entre os dados obtidos nas coletas efetuadas nas estações chuvosa e no período de estiagem revelaram diferenças expressivas em termos de diversos parâmetros, com tendência para aumento na concentração dos metais no período chuvoso. Apesar desta afirmação parecer contraditória a princípio, considerando que no período chuvoso há tendência de diluição de elementos químicos presentes na água, em função do maior volume de água circulante, deve-se considerar que este efeito foi superado pela contribuição de erosão, lixiviação e transporte de solo e rochas, bem como de material orgânico presente nas áreas de contribuição.

Os resultados obtidos mostram que a maioria dos elementos analisados apresenta valores abaixo do limite de detecção e bem inferiores ao valor máximo admitido pela resolução vigente. Para tais elementos não foi possível a definição rigorosa de valores de background, pois estes se situam abaixo do limite de detecção, mas é evidente que eles não registram efeitos antrópicos. Já os elementos metálicos que apresentaram em número expressivo de análises teores superiores aos limites mínimos de detecção analítica, também foram estimados valores de background iguais ou superiores aos limites legais fixados na Resolução 357 do CONAMA. Isto implica que concentrações superiores aos

limites normatizados destes elementos podem ser obtidas nesta região em áreas não afetadas de modo significativo por ações antropogênicas.

Ressalta-se que, apesar de ter sido realizado o expurgo dos dados mais discrepantes (ferro em N4-7 e cobre dissolvido em N4-2), fica evidente a diferença entre os corpos minerais de N4WSul e N3. Isto pode ser em parte devido ao número distinto de campanhas e aos diferentes períodos de sua realização. Em razão disso, os resultados obtidos para cada corpo mineral foram considerados de modo independente, mesmo porque a temporalidade é um fator que pode influenciar de modo expressivo os resultados. Outros fatores considerados foram geologia, geomorfologia, hidrogeologia. Além disso, as feições superficiais também exercem influência, pois podem facilitar ou impedir a dissolução e transporte dos diferentes elementos pela água de escoamento, e isto pode gerar variações de concentrações de um dado elemento na água.

A análise dos resultados obtidos neste estudo demonstra a importância da determinação das características químicas das águas superficiais, para o estabelecimento de valores de referência, fundamentais para a gestão dos recursos hídricos da região.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Água na medida certa: a hidrometria no Brasil / Agência Nacional de Águas; textos elaborados por Antonio Cardoso Neto.** Brasília: ANA, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos: informe 2015 / Agência Nacional de Águas.** Brasília: ANA, 2015.

AHRENS, L.H. The log-normal distribution of the elements (A fundamental law of geochemistry and its subsidiary). **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.5, p. 49-73, 1954.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Planejamento de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores:** NBR 9897. Rio de Janeiro, 1987. 23p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores:** NBR 9898. Rio de Janeiro, 1987. 23p.

BATES, R. L.; JACKSON, J. A. **Dictionary of geological terms.** Anchor books. A Division of Random House Inc., 1984, New York.

BEISIEGEL, V. R. **Distrito Ferrífero de Carajás: Simpósio de Geologia da Amazônia**, v.1, p. 21-46, 1982.

BEISIEGEL, V. R.; BERNARDELLI, A. L.; DRUMOND, N. F.; RUFF, A. W.; TREMAINE, J.W. Geologia e Recursos Minerais da Serra de Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**, v.03, p. 215-242, 1973.

CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos.** Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. -- São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington: American Public Health Association (APHA), 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Resolução Nº 357, de 17 de Março de 2005 e suas alterações.

COSTA, A.T. **Registro histórico de contaminação por metais pesados, associadas à exploração aurífera no alto e médio curso da bacia do Ribeirão do Carmo, QF: um estudo de sedimentos de planícies de inundação e terraços aluviais**. Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 2007. 257p. (Tese de Doutorado).

DOCEGEO. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás – Litoestratigrafia e principais depósitos minerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** [Belém]: [s.n.], 1988.

DREVER, J. I. **The Geochemistry of Natural Waters: Surface and Groundwater Environment**. 3rd. ed., New Jersey: Prentice Hall in Upper Saddle River, 1997.

EDMUNDS, W.M.; SHAND, P.; HART, P.; WARD R.S. **The Natural (Baseline) Quality Of Groundwater: A UK Pilot Study**. The Science of the Total Environment, v. 310, 2002. p. 25–35.

FAUST, S. D.; ALY, O. M. **Chemistry of natural waters**. Ann Arbor, Mich: Ann Arbor Science Publishers, 1981.

GALUSZKA, A. **A review of geochemical background concepts and an example using data from Poland**. Geochemistry and the Environment Division, Institute of Chemistry, Pedagogical University, Poland. Environ Geol. 2007a, 52:861–870 DOI 10.1007/s00254-006-0528-2.

GALUSZKA, A. **Different approaches in using and understanding the term "Geochemical Background"- practical implications for environmental studies.** Polish Journal of Environmental Studies, , v. 16, n. 3, 2007b, p. 389-395.

GAŁUSZKA, A.; MIGASZEWSKI, Z. M. Geochemical Background – An Environmental Perspective. Mineralogical Society Of Poland, **Mineralogia**, 42, No 1: 7-17 (2011) DOI: 10.2478/v10002-011-0002-y, 2012.

GIBBS, A.K; WIRTH, K.R; HIRATA, W.K. Age and composition of the Grão Pará Group volcanics. Serra dos Carajás. **Revista Brasileira de Geociências** 16, 201–211. 1986.

GOUGH, L.P. **Understanding Our Fragile Environment: Lessons from Geochemical Studies.** U.S. Geological Survey circular; 1105. Public issues in earth science. Supt. of Docs. no.: I 19.4/3:1105, 1993.

HAWKES, H.E.; WEBB, J.S. **Geochemistry in mineral exploration.** New York: Harper; 1962.

HEM, J. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water.** Washington, D.C., USGS Water-Supply Paper 2254, 1985.

HOAGLIN D.; MOSTELLER F.; TUKEY J. **Understanding robust and exploratory data analysis.** 2nd edition. New York7 Wiley & Sons; 2000.

INSTITUTO CHICO MENDES DA BIODIVERSIDADE. **Plano de Manejo para Uso Múltiplo da Floresta Nacional de Carajás.** Sumário Executivo. Regimento Interno - ICMBio, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Statistical Interpretation of Test Results – Estimation of the mean – Confidence interval: ISO 2602.** 2. ed. Suíça, 1980. 5p.

KELLEY, D.I.; HALL, G.E.M.; CLASS, G.; HAMILTON, I.C.; MCEWEN, R.M. **The use of partial extraction geochemistry for copper exploration in northern Chile.** Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, v. 3, p. 85-104, 2003.

KELLEY, K.D.; TAYLOR, C.D. **Environmental geochemistry of shale-hosted Ag-Pb-Zn massive sulfide deposits in northwest Alaska:** natural background
106

concentrations of metals in water from mineralized areas. *Applied Geochemistry*, v. 12, p. 397-409, 1997.

LANGMUIR, D. **Aqueous environmental geochemistry**. New Jersey Prentice-Hall. Upper Saddle River, , USA, 1997. 660 p.

LANGMUIR, D.; J. R. CHATHAM. Groundwater prospecting for sandstone-type uranium deposits: A preliminary comparison of the merits of mineral-solution equilibria, and single-element tracer method. *J. Geochem. Explor.* 13:201—19, 1980.

LEMOS, M.M.G. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2001. p. 2001. 73 p.

LEPELTIER, C. **A simplified treatment of geochemical data by graphical representation**. *Economic Geology*, v. 64, p. 538-550, 1969.

LINDENMAYER, Z.G.; LAUX, J.H.; TEIXEIRA, J.B.G. Considerações sobre a origem das formações ferríferas da formação Carajás, Serra dos Carajás: **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, p. 21–28, 2001.

MACAMBIRA J. B.; RAMOS J. F. F.; ASSIS J. F. P.; FIGUEIRAS A. J. M. **Projeto Serra Norte e Projeto Pojuca**: Convênio SEPLAN/DOCEGEO/UFPA/DNPM: Relatório final, 150 p., 1990.

MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z., KROGH, T.E.; LINDENMAYER D. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the carajás área, Amazon shield, Brazil. **Precambrian Research**, v. 49, p. 329–354, 1991.

MATSCHULLAT, J.; OTTENSTEIN R.; REIMANN C. Geochemical background – can we calculate it? **Environmental Geology**, v. 39, In. 9 , pp 990-1000, 2000.

MEIRELES, E.M.; HIRATA, W.K.; AMARAL, A.F.; MEDEIROS FILHO, C.A.; GATO, W.C. **Geologia das folhas Carajás e Rio Verde, Província Mineral de Carajás, Estado do Pará**: Congresso Brasileiro de Geologia, 33rd, Rio de Janeiro, Anais, v. 5, p. 2164–2174, 1984.

MEIRELLES, M. R. **Geoquímica e Petrologia dos Jaspilitos e Rochas Vulcânicas Associadas, Grupo Grão-Pará, Serra Dos Carajás, Pará:** Unpublished M.Sc. dissertation, Brasília, Brazil, Universidade de Brasília, 171 p., 1986.

MEIRELLES, M.R.; DARDENNE, M.A. **Vulcanismo Basáltico de Afinidade Shonshonítica em Ambiente de Arco Arqueano, Grupo Grão Pará, Serra Dos Carajás, Pará [ext. abs.]:** Congresso Brasileiro de Geoquímica, 4th, Proceedings, p. 131–132, 1991.

NOGUEIRA, A. C. R.; TRUCKENBRODT, W.; PINHEIRO, R. V. L. Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás: redescrição e redefinição litoestratigráfica. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi** 7, 177–277. 1995.

OLTAM; 1968. – extraído de HEM, J. D.; 1985. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water.** Washington, D.C., USGS Water-Supply Paper 2254.

REIMANN C.; CARITAT, P. **Distinguishing between natural and anthropogenic sources of element in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors.** Sci. Total Environ. 337, 91, 2005.

REIMANN, C.; GARRETT, R.G. Geochemical Background – Concept and Reality. **Sci. Total Environ.** 350, 12, 2005.

REIMANN, C.; FILZMOSER, P.; GARRETT R.G. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. **Science of the Total Environment**, v. 346, 2005, p. 1– 16.

RODRIGUES, A. S. L.; NALINI, J. H. A. **Valores de Background Geoquímico e suas Implicações em Estudos Ambientais.** Rem: Rev. Esc. Minas [online]. v. 62, n.2, pp. 155-165. ISSN 0370-4467, 2009.

RODRIGUES, A. S. L.; MALAFAIA, G.; COSTA, A.T.; NALINI J. H. A. Background values for chemical elements in sediments of the Gualaxo do norte river basin, MG, Brazil. **Revista de Ciências Ambientais**, vol. 7, n. 2. 15-32. 2013.

SECRETARIA ESTADO MEIO AMBIENTE. **Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Pará – Brasil**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. – SEMA, 2012.

SHAW, D.M. Element distribution laws of geochemistry. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 23, p. 116-134, 1961.

STUMM, W.; MORGAN, J. J. **Aquatic Chemistry, Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters**, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1022p, 1996.

TEIXEIRA, J. B. G.; EGGLE, D. H. **Petrology, geochemistry, and tectonic setting of Archean basaltic and dioritic rocks from the N4 iron ore deposit, Serra dos Carajás, Pará, Brazil**. Acta Geológica Leopoldensia, v. 40, p. 71–114, 1994.

TEIXEIRA, J.B.G.; OHMOTO, H.; EGGLE, D.H. **Elemental and oxygen isotope variations in Archean mafic rocks associated with the banded iron formation at the N4 iron ore deposit**. Contribuições à Geologia da Amazônia, FINEP/ SBG, Brazil, p. 161–203, 1997.

TUKEY, J.W. **Exploratory data analysis**. Reading7 Addison-Wesley; 1977.

US-EPA. **Statistical Software for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations. ProUCL Version 5.0.00 Technical Guide**. United States Environmental Protection Agency Office of Research and Development, Washington, DC 20460, 2013.

U. S. GEOLOGICAL SURVEY WATER – Supply Paper - 1964 – extraído de HEM, J. D.; 1985. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water**. Washington, D. C., USGS Water-Supply Paper 2254.

VALE/AMPLO. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA**: Projeto Ferro Serra Norte – Mina N4 e N5 / Estudo Global das Ampliações. Volumes 1 a 5, 2010.

VALE/AMPLO. **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA**: Projeto Ferro Serra Norte – Mina N4 e N5 / Estudo Global das Ampliações, 2010.

WANG, H.K. Research methodology for determining background levels of trace elements in Chinese soils. **Environmental Geochemistry and Health**, special issue, p.397-413, 1994.

WANTY, R. B.; CHATHAM, J. R.; LANGMUIR, D. **The solubilities of some major and minor element minerals in ground waters associated with a sandstone-hosted uranium deposit.** *Bull. de Mineralogie (France)* 10(2-3):209-26, 1987.

WIRTH, K.R., GIBBS, A.K.; OLSZEWSKI, W.J. U-Pb Ages of Zircons From the Grão-Pará Group and Serra dos Carajás Granite, Pará, Brazil: **Revista Brasileira De Geociências**, v. 16, p. 195–200, 1986.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Resultados Analíticos Relativos ao Monitoramento para a Avaliação das Condições de *Background* da Qualidade das Águas Superficiais nas Áreas de Inserção dos Corpos Minerais de N3 e N4WSul

Tabela A1 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-01

Parâmetros	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação chuvosa				Estação seca					Estação chuvosa		
			10/12/13	05/02/14	12/03/14	04/04/14	12/05/14	05/06/14	11/07/14	20/09/14	23/10/14	17/11/14	16/12/14	28/01/15
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		2,55	5,55	2,53	< 2	< 2	2,93	4,02	< 2	2,02	1,96	31,0	3,07
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	0,140	< 0,005	0,040	< 0,005	0,090	< 0,005	0,010	0,030	< 0,05	0,06	< 0,05	0,08
Bário total	mg Ba/L	0,7	0,010	< 0,006	0,036	< 0,006	0,055	< 0,006	0,017	0,007	< 0,01	< 0,01	0,13	< 0,01
Boro total	mg B/L	0,5	0,04	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01
Cloreto	mg Cl-/L	250	2,30	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2	< 2	< 2	< 2	< 1	< 1	< 1	< 1
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,12	< 0,53	< 0,53	< 0,53
Cobalto total	mg Co/L	0,05	0,010	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	0,038	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,011	< 0,009	< 0,009	< 0,009	0,04
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	16	260	85	< 1	38	176	11	< 1	42	415	37	8
Condutividade elétrica	µS/cm		12,60	15,10	13,30	19,10	40,8	15,3	11,2	20,2	16,7	12,3	109	152
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	22	< 5	27	36	25	8	6	< 5	8	21	< 5	< 5
Cromo total	mg Cr/L	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	0,20	< 0,05	0,34	0,19	0,16	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1	0,19	< 0,1	0,23
Ferro total	mg Fe/L		0,20	< 0,05	0,38	0,26	0,17	0,09	0,07	0,06	0,25	0,40	0,23	0,25
Fluoreto	mg F-/L	1,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fósforo total	mg P/L	0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	0,14	< 0,02	0,03	0,03	0,03
Hora amostragem	H		11:48	11:15	10:49	10:30	11:38	12:37	11:38	09:57	11:45	10:41	12:00	09:00
Manganês dissolvido	mg Mn/L		0,03	< 0,03	0,04	0,04	0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,03	< 0,025	0,50	0,07
Manganês total	mg Mn/L	0,1	0,03	< 0,03	0,05	0,04	0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,04	< 0,025	0,59	0,07
Níquel total	mg Ni/L	0,025	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	< 0,2	0,35	< 0,2	0,41	1,36	0,20	0,31	8,38	1,69	1,50	< 0,1	1,13
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrogênio amoniacal total	mg N_NH3/L	†	0,07	< 0,02	0,18	0,03	0,07	< 0,02	0,09	0,10	< 0,06	0,07	< 0,06	0,17
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	7,77	7,67	8,12	8,28	7,72	8,97	8,18	8,75	7,44	7,86	8,17	7,90
pH	NOUNIT	6 a 9	5,57	8,22	4,89	6,1	6,10	4,12	5,95	6,77	5,76	6,49	6,25	6,77
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	< 20	< 20	< 20	< 20	32,0	< 20	< 20	22,0	13,0	9,00	72,0	9,00
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	7,50	10,0	8,00	4,00
Sulfato	mg SO4/L	250	< 1	1,7	< 1	< 1	< 1	2,92	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	< 0,002	0,002	0,002	0,003	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,11	< 0,1	< 0,1	< 0,3	0,30	< 0,3	< 0,3
Temperatura ambiente	°C		27,0	23,0	24,0	30,0	30,0	29,9	29,9	30,0	5,76	24,7	28,4	27,0
Temperatura da água	°C		24,1	22,8	23	28,9	26,1	26,0	26,1	26,0	26,7	25,7	26,1	26,0
Tempo	NOUNIT		Bom	Nublado	Chuvoso	Bom	Bom	Bom	Nublado	Bom	Bom	Chuvoso	Bom	Bom
Turbidez	NTU	100	3,00	1,45	3,31	2,66	1,90	2,21	1,43	1,81	1,90	1,95	3,37	11,7
Última chuva	NOUNIT		12H Antes	12H Antes	Na hora da coleta	12H Antes	12H Antes	Últimos 5 dias	Mais de 5 dias	Últimos 5 dias	24H Antes	Na hora da coleta	24H Antes	24H Antes
Zinco total	mg Zn/L	0,18	0,007	0,017	0,01	0,023	0,010	< 0,005	0,009	0,041	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH > 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH > 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente

Tabela A2 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-02

Parâmetros	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação chuvosa				Estação seca					Estação chuvosa		
			10/12/13	05/02/14	12/03/14	04/04/14	12/05/14	05/06/14	11/07/14	20/09/14	23/10/14	17/11/14	16/12/14	28/01/15
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		4,07	3,03	3,54	5,06	2,93	2,93	4,02	4,53	4,04	2,95	2,14	4,09
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	0,170	0,012	< 0,005	< 0,005	0,040	< 0,005	0,010	0,110	< 0,05	0,05	< 0,05	< 0,05
Bário total	mg Ba/L	0,7	< 0,006	< 0,006	< 0,006	0,059	< 0,006	< 0,006	0,006	0,007	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01
Boro total	mg B/L	0,5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto	mg Cl-/L	250	6,30	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2	< 2	< 2	< 2	< 1	< 1	< 1	< 1
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	0,17	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,12	0,89	< 0,76	< 0,53
Cobalto total	mg Co/L	0,05	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	< 0,003	< 0,003	0,003	< 0,003	0,004	< 0,003	0,004	0,015	< 0,009	< 0,009	< 0,009	0,03
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	142	370	135	5	50	176	19	< 1	12	53	120	32
Condutividade elétrica	µS/cm		10,40	14,00	12,00	11,40	12,3	15,3	9,51	13,9	10,9	10,6	61,4	151
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	23	19	7	5	11	8	5	6	5	11	< 5	< 5
Cromo total	mg Cr/L	0,05	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	0,11	< 0,05	0,08	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,25	< 0,1	0,16	< 0,1	0,12
Ferro total	mg Fe/L		0,11	< 0,05	0,43	< 0,05	0,27	< 0,05	< 0,05	0,07	< 0,1	0,33	< 0,1	0,13
Fluoreto	mg F-/L	1,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fósforo total	mg P/L	0,1	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,02	0,06	< 0,02
Hora amostragem	H		10:45	10:33	11:30	11:10	10:51	12:37	9:59	10:47	11:11	10:00	11:30	09:00
Manganês dissolvido	mg Mn/L		< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,025	< 0,025	0,03	0,32
Manganês total	mg Mn/L	0,1	< 0,03	< 0,03	0,05	< 0,03	0,04	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,025	< 0,025	0,06	0,32
Níquel total	mg Ni/L	0,025	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	< 0,2	0,2	0,62	0,49	1,14	0,20	0,41	1,81	1,20	0,59	< 0,1	0,59
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	< 0,02	0,05	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrogênio amoniacal total	mg N_NH3/L	†	< 0,02	< 0,02	0,05	< 0,02	0,06	< 0,02	0,08	0,07	0,07	< 0,06	< 0,06	0,15
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	7,83	8,26	7,8	8,11	7,06	8,97	7,79	8,25	7,76	7,34	7,56	7,73
pH	NO UNIT	6 a 9	6,85	8,03	5,94	6,57	6,50	4,12	5,66	6,80	6,33	6,23	5,68	6,82
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	126	8,00	9,00	19,0	8,00
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	3,00	2,00	7,00	5,00
Sulfato	mg SO4/L	250	14,6	1,79	< 1	< 1	< 1	2,92	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	< 0,002	< 0,002	0,002	0,005	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	< 0,1	< 0,1	0,13	< 0,1	< 0,1	0,11	< 0,1	< 0,1	0,57	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Temperatura ambiente	°C		27,0	22,9	NA	31,0	29,9	29,9	29,8	30,0	25,3	24,0	27,7	27,0
Temperatura da água	°C		23,5	22,7	NA	29,7	25,1	26,0	26,1	26,1	26,6	27,7	26,0	26,0
Tempo	NO UNIT		Nublado	Nublado	Chuvoso	Bom	Bom	Bom	Nublado	Bom	Bom	Chuvoso	Bom	Bom
Turbidez	NTU	100	1,85	4,10	4,19	2,24	4,72	2,21	0,91	1,78	1,20	1,29	0,52	9,12
Última chuva	NOUNIT		12H Antes	12H Antes	Na hora da coleta	24H Antes	12H Antes	Últimos 5 dias	Mais de 5 dias	Últimos 5 dias	24H Antes	Na hora da coleta	24H Antes	24H Antes
Zinco total	mg Zn/L	0,18	< 0,005	0,01	0,01	0,011	0,025	< 0,005	< 0,005	0,033	0,13	< 0,1	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH > 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH > 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente

Tabela A3 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-03

Parâmetros	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação chuvosa				Estação seca					Estação chuvosa		
			17/12/13	04/02/14	11/03/14	03/04/14	13/05/14	05/06/14	10/07/14	06/09/14	23/10/14	17/11/14	18/12/14	29/01/15
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		12,70	11,60	9,08	11,1	4,89	6,84	8,04	< 2	6,06	5,89	6,41	7,15
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	0,031	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,06	0,175	0,010	0,037	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Bário total	mg Ba/L	0,7	0,011	0,045	0,031	0,045	< 0,006	< 0,006	0,011	< 0,006	0,01	0,02	0,01	< 0,01
Boro total	mg B/L	0,5	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	< 0,001	0,004	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto	mg Cl-/L	250	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	7,57	< 1	< 1	73,6	< 1
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	0,29	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	6,49	< 0,12	< 0,53	< 0,89	< 0,89
Cobalto total	mg Co/L	0,05	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,005	< 0,003	0,003	< 0,003	< 0,009	0,01	< 0,009	< 0,009
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	40	535	130	10	84	8	44	23	22	205	87	37
Condutividade elétrica	µS/cm		34,60	31,00	18,3	30,7	22,2	19,0	15,4	156	17,4	17,2	72,4	15,7
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	< 5	< 5	10	8	< 5	8	< 5	< 5	< 5	6	< 5	< 5
Cromo total	mg Cr/L	0,05	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	0,05	0,06	0,12	0,1	< 0,05	0,08	< 0,05	< 0,05	< 0,1	0,18	< 0,1	< 0,1
Ferro total	mg Fe/L		0,34	0,06	0,2	0,48	0,14	0,08	0,10	< 0,05	< 0,1	0,28	< 0,1	< 0,1
Fluoreto	mg F-/L	1,4	< 0,1	0,38	0,13	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fósforo total	mg P/L	0,1	< 0,01	< 0,01	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	< 0,02	< 0,02	0,03	< 0,02
Hora amostragem	H		13:24	10:53	12:20	11:50	12:00	15:21	11:19	09:30	10:50	09:00	10:47	09:20
Manganês dissolvido	mg Mn/L		0,04	< 0,03	0,1	0,12	0,06	0,06	0,05	0,79	0,05	0,12	0,04	0,09
Manganês total	mg Mn/L	0,1	0,09	< 0,03	0,12	0,18	0,10	5,27	0,06	0,79	0,08	0,16	0,10	0,09
Níquel total	mg Ni/L	0,025	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	0,57	0,72	0,7	1,44	1,98	< 0,2	0,61	0,93	5,43	0,70	3,78	0,59
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	0,07	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrogênio amoniacal total	mg N_NH3/L	†	< 0,02	0,04	0,06	0,08	0,04	< 0,02	0,04	0,02	< 0,06	< 0,06	< 0,06	0,09
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	7,49	7,89	7,69	8,08		8,57	7,71	6,32	7,85	7,74	8,18	7,62
pH	NO UNIT	6 a 9	7,76	6,89	5,75	7,7	7,01	4,45	6,20	6,10	6,43	5,81	6,99	5,47
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	28,5	28,5	< 20	24	< 20	< 20	< 20	96,0	15,0	17,0	13,0	14,0
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	5,00	4,00	5,50	4,00
Sulfato	mg SO4/L	250	< 1	1,82	< 1	< 1	< 1	3,78	< 1	7,16	< 1	< 1	< 1	< 1
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	< 0,002	< 0,002	0,002	0,008	< 0,002	< 0,002		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Temperatura ambiente	°C		30,2	30,1	NA	27,2	28,9	32,0	29,8	27,0	25,1	24,7	29,0	28,1
Temperatura da água	°C		23	25,8	NA	25	26,1	30,0	27,7	26,0	26,0	27,7	26,0	26,1
Tempo	NOUNIT		Nublado	Bom	Nublado	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Chuvoso	Bom	Bom
Turbidez	NTU	100	5,21	3,96	3,23	8,49	2,38	2,61	3,38	1,24	2,30	2,62	1,52	3,48
Última chuva	NOUNIT		12H Antes	Últimos 5 dias	NA	12H Antes	12H Antes	Mais de 5 dias	Mais de 5 dias	Últimos 5 dias	24H Antes	12H Antes	24H Antes	24H Antes
Zinco total	mg Zn/L	0,18	0,045	0,06	0,02	0,015	0,021	< 0,005	< 0,005	0,029	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH > 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH > 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente

Tabela A2– Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-04

Parâmetros	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação chuvosa				Estação seca					Estação chuvosa		
			17/12/13	04/02/14	11/03/14	03/04/14	13/05/14	04/06/14	10/07/14	25/08/14	23/10/14	18/11/14	18/12/14	29/01/15
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		13,80	7,06	12,1	11,1	9,77	98,7	14,1	13,6	14,1	14,7	7,47	15,3
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	0,117	< 0,005	0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,062	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Bário total	mg Ba/L	0,7	0,020	< 0,006	0,054	0,045	< 0,006	< 0,006	0,026	0,027	0,03	0,03	0,01	0,02
Boro total	mg B/L	0,5	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto	mg Cl-/L	250	2,49	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2,00	1,86	1,51	< 1	1,46
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	0,2	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,12	< 0,01	< 0,01	< 0,12	< 0,12		< 0,89
Cobalto total	mg Co/L	0,05	< 0,009	< 0,009	0,01	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	< 0,003	0,010	< 0,003	< 0,003	0,009	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,009	0,01	< 0,009	0,01
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	12	635	435	10	110	2	12	16	33	21	69	50
Condutividade elétrica	µS/cm		34,60	36,60	30,9	30,7	30,1	31,6	30,1	35,0	37,4	38,2	18,4	34,8
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	< 5	< 5	6	8	< 5	22	5	< 5	< 5	5	5	< 5
Cromo total	mg Cr/L	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	0,17	0,08	0,13	0,1	0,08	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,1	0,11	< 0,1	0,2
Ferro total	mg Fe/L		0,22	0,10	0,33	0,48	0,24	1,48	0,19	0,18	0,21	0,19	0,11	0,2
Fluoreto	mg F-/L	1,4	< 0,1	0,37	0,13	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fósforo total	mg P/L	0,1	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	< 0,01	< 0,02	0,04	< 0,02	< 0,02
Hora amostragem	H		12:41	11:40	11:50	11:50	12:46	11:30	10:40	11:20	10:27	10:18	10:10	10:10
Manganês dissolvido	mg Mn/L		0,07	< 0,03	0,14	0,12	0,11	0,08	0,05	0,04	0,05	0,07	0,04	0,1
Manganês total	mg Mn/L	0,1	0,07	< 0,03	0,16	0,18	0,12	0,27	0,06	0,07	0,07	0,10	0,12	0,1
Níquel total	mg Ni/L	0,025	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	0,49	0,70	1,3	1,44	1,94	< 0,2	0,31	0,56	0,98	0,59	< 0,1	0,82
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	0,07	< 0,02	< 0,02	0,13	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrogênio amoniacal total	mg N_NH3/L	†	< 0,02	0,03	0,15	0,08	< 0,02	< 0,02	0,15	0,10	0,09	< 0,06	< 0,06	0,12
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	7,70	7,57	8,12	8,08		8,04	8,02	8,16	8,17	7,83	8,22	7,89
pH	NOUNIT	6 a 9	7,47	7,08	7,1	7,7	6,25	6,87	5,71	5,90	6,79	6,81	7,11	5,74
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	< 20	27,5	< 20	24	26,0	21,0	23,0	33,0	26,0	27,0	13,0	28,0
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	7,00	4,50	7,00	< 2,00
Sulfato	mg SO4/L	250	< 1	1,74	< 1	< 1	< 1	4,10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	< 0,002	< 0,002	0,002	0,008	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,0	< 0,002	0,002	< 0,002	< 0,002
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,19	0,49	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Temperatura ambiente	°C		23,1	28,9	NA	27,2	28,8	31,8	29,9	26,0	24,8	24,8	27,7	27,7
Temperatura da água	°C		26,0	25,6	NA	25	26,1	24,1	26,1	26,0	25,0	23,9	26,0	26,0
Tempo	NOUNIT		Nublado	Bom	Nublado	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Turbidez	NTU	100	1,37	3,04	4,46	8,49	4,63	5,25	5,71	2,04	4,10	2,97	2,17	2,44
Última chuva	NOUNIT		12H Antes	Últimos 5 dias	12H Antes	12H Antes	12H Antes	Últimos 5 dias	Mais de 5 dias	Últimos 5 dias	24H Antes	24H Antes	24H Antes	24H Antes
Zinco total	mg Zn/L	0,18	0,046	< 0,005	0,02	0,015	0,007	< 0,005	0,008	0,016	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH > 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH > 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente

Tabela A3 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-05

Parâmetros	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação chuvosa				Estação seca					Estação chuvosa		
			13/12/13	14/02/14	13/03/14	02/04/14	13/05/14	04/06/14	04/07/14	09/08/14	23/10/14	18/11/14	19/12/14	29/01/15
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		12,70	< 2	3,04	2,03	< 2	2,93	< 2	2,04	3,03	1,96	3,20	3,07
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	3,52	< 0,005	< 0,005	0,04	0,010	< 0,005	0,048	< 0,005	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Bário total	mg Ba/L	0,7	0,007	0,031	0,046	< 0,006	0,079	0,015	< 0,006	0,011	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Boro total	mg B/L	0,5	< 0,02	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	0,04	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto	mg Cl-/L	250	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	2,48	< 1	< 1	< 1	< 1
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,15	< 0,01	< 0,01	< 0,12	< 0,12		
Cobalto total	mg Co/L	0,05	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	< 0,003	0,013	0,004	< 0,003	0,010	< 0,003	0,004	0,007	< 0,009	< 0,009	< 0,009	0,02
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	< 1	10	50	106	80	< 1	35	3	4	600	74	40
Condutividade elétrica	µS/cm		10,90	9,79	9,41	11,8	13,4	11,5	16,6	27,5	10,5	11,3	24,2	9,79
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	< 5	< 5,00	< 5	36	< 5	< 5	19	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Cromo total	mg Cr/L	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	0,08	< 0,05	< 0,05	0,45	< 0,05	< 0,05	0,07	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,11
Ferro total	mg Fe/L		0,09	< 0,05	< 0,05	0,48	0,05	1,53	0,10	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,11
Fluoreto	mg F-/L	1,4	< 0,1	0,38	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fósforo total	mg P/L	0,1	0,02	< 0,01	< 0,01	0,03	< 0,01	0,03	< 0,01	0,03	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Hora amostragem	H		11:23	11:08	10:47	NA	13:40	10:33	10:30	10:00	10:00	09:19	14:30	10:50
Manganês dissolvido	mg Mn/L		< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,05	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,025	< 0,025	0,05	< 0,025
Manganês total	mg Mn/L	0,1	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,05	< 0,03	5,37	< 0,03	< 0,03	< 0,025	< 0,025	0,06	< 0,025
Níquel total	mg Ni/L	0,025	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	0,57	0,48	0,9	< 0,2	1,60	0,20	0,36	0,49	0,71	0,82	< 0,1	0,95
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrogênio amoniacal total	mg N_NH3/L	†	0,06	0,02	0,13	0,09	0,02	< 0,02	< 0,02	0,09	0,08	< 0,06	< 0,06	0,12
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	7,84	7,8	7,43	8,09		7,19	7,25	5,65	7,58	7,21	7,72	7,18
pH	NOUNIT	6 a 9	5,40	7,50	5,42	6,9	5,24	4,29	6,60	5,70	6,12	5,55	6,05	5,66
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	8,00	7,00	17,0	7,00
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		< 10	13	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	3,50	4,00	8,50	3,00
Sulfato	mg SO4/L	250	< 1	1,67	1,69	< 1	< 1	3,88	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	0,009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Temperatura ambiente	°C		27,0	26,9	NA	31,0	29,9	30,1	27,7	28,6	26,1	25,3	29,9	28,0
Temperatura da água	°C		23,8	25,1	NA	25,1	26,1	25,1	26,6	26,0	23,2	24,8	26,8	25,9
Tempo	NOUNIT		Nublado	Chuvoso	Nublado	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Nublado	Bom
Turbidez	NTU	100	0,87	6,26	1,47	6,75	2,11	0,71	0,39	28,6	0,60	0,70	0,52	1,19
Última chuva	NOUNIT		12H Antes	Na hora da coleta	12H Antes	12H Antes	12H Antes	Últimos 5 dias	Últimos 5 dias	Últimos 5 dias	24H Antes	24H Antes	12H Antes	24H Antes
Zinco total	mg Zn/L	0,18	0,010	0,009	0,03	0,053	0,018	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH > 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH > 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente

Tabela A4 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-06

Parâmetros	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação chuvosa				Estação seca					Estação chuvosa		
			18/12/13	07/02/14	14/03/14	10/04/14	15/05/14	10/06/14	02/07/14	19/09/14	30/10/14	08/12/14	13/12/14	02/02/15
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		5,60	4,03	< 2	18,7	2,93	18,6	2,01	3,62	3,93	1,96	4,27	4,09
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	0,045	< 0,005	< 0,005	0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,010	< 0,05	0,08	< 0,05	< 0,05
Bário total	mg Ba/L	0,7	0,006	< 0,006	0,016	< 0,006	< 0,006	0,023	0,014	0,008	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01
Boro total	mg B/L	0,5	0,06	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	0,004	< 0,001	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto	mg Cl-/L	250	2,98	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	3,00	< 2	< 1	1,02	< 1	3,13
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	0,2	< 0,01	1,77	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,53	< 0,53	< 0,89	< 0,67
Cobalto total	mg Co/L	0,05	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	0,01	< 0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	0,010	< 0,003	0,008	0,022	0,010	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	58	400	90	4	72	50	< 1	< 1	59	108	17	33
Condutividade elétrica	µS/cm		9,79	9,87	12,3	83	12,3	79,9	28,2	12,4	9,72	56,0	10,9	123
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	< 5	7	6	< 5	< 5	43	< 5	12	10	< 5	< 5	< 5
Cromo total	mg Cr/L	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	0,06	< 0,05	0,06	0,07	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ferro total	mg Fe/L		0,09	< 0,05	0,07	0,11	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,09	< 0,1	< 0,1	0,13	< 0,1
Fluoreto	mg F-/L	1,4	< 0,1	0,37	0,12	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fósforo total	mg P/L	0,1	< 0,01	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Hora amostragem	H		13:00	12:03	12:00	12:40	12:07	12:48	10:40	12:50	10:51	13:00	12:20	14:30
Manganês dissolvido	mg Mn/L		< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,84	0,08	0,83	0,06	< 0,03	< 0,025	0,05	< 0,025	0,05
Manganês total	mg Mn/L	0,1	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,85	0,08	0,91	0,07	< 0,03	< 0,025	0,05	< 0,025	0,05
Níquel total	mg Ni/L	0,025	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	0,97	0,77	1,1	0,55	1,20	0,45	0,74	0,90	0,34	1,05	0,49	0,64
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,12	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrogênio amoniacal total	mg N_NH3/L	†	0,03	< 0,02	0,19	0,08	0,04	0,23	0,05	0,05	< 0,06	< 0,06	< 0,06	0,09
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1	< 1	< 1	2,71	< 1	< 1	< 1	< 1	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	7,77	8,01	8,24	7,43	8,12	4,26	5,84	9,41	7,99	5,51	8,58	5,06
pH	NOUNIT	6 a 9	7,25	8,10	6,13	7,4	5,83	6,97	6,00	7,47	5,10	5,85	7,85	5,54
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	< 20	< 20	< 20	57	< 20	56,0	25,0	< 20	7,00	21,0	8,00	17,0
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	3,00	3,00	3,50	4,50
Sulfato	mg SO4/L	250	< 1	1,75	1,56	4,49	< 1	5,52	1,64	< 1	2,00	< 1	< 1	< 1
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	0,006	< 0,002	0,002	0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,002	< 0,002	< 0,002
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Temperatura ambiente	°C		30,1	26,3	NA	27,7	29,8	30,0	27,7	30,0	29,0	30,0	27,9	30,0
Temperatura da água	°C		24,6	25,1	NA	28	25,1	26,1	26,7	28,7	25,3	26,0	26,0	26,7
Tempo	NOUNIT		Nublado	Bom	Nublado	Chuvoso	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Nublado
Turbidez	NTU	100	1,58	4,16	6,15	2,02	3,38	0,71	0,34	3,21	2,20	0,55	2,10	1,18
Última chuva	NOUNIT		12H Antes	24H Antes	12H Antes	Na hora da coleta	24H Antes	Mais de 5 dias	12H Antes	Últimos 5 dias	Mais de 5 dias	24H Antes	24H Antes	24H Antes
Zinco total	mg Zn/L	0,18	0,009	0,014	0,018	0,023	0,040	< 0,005	1,28	0,455	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH > 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH > 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente

Tabela A5 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-07

Parâmetros	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação chuvosa				Estação seca					Estação chuvosa		
			16/12/13	07/02/14	14/03/14	10/04/14	14/05/14	10/06/14	02/07/14	19/09/14	29/10/14	04/12/14	13/12/14	02/02/15
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		3,06	2,02	< 2	< 2	< 2	6,84	3,02	4,53	4,04	< 1,5	2,14	4,09
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	< 0,005	< 0,005	0,080	0,140	0,110	< 0,005	0,018	0,010	0,09	0,09	< 0,05	0,05
Bário total	mg Ba/L	0,7	0,008	< 0,006	0,037	< 0,006	< 0,006	0,008	0,006	0,013	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01
Boro total	mg B/L	0,5	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	0,004	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto	mg Cl-/L	250	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	6,17	2,48	1,09	< 1	< 1	3,30
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	0,41	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,12	< 1,78		< 0,67
Cobalto total	mg Co/L	0,05	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	< 0,003	< 0,003	0,007	0,005	0,009	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,009	0,02	< 0,009	< 0,009
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	170	55	190	350	34	50	36	1	76	26	52	17
Condutividade elétrica	µS/cm		12,90	63,10	5,86	5,7	9,62	7,99	7,17	20,4	11,7	15,3	10,1	102
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	< 5	17	9	19	45	< 5	26	13	10	206	43	< 5
Cromo total	mg Cr/L	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	3,38	1,23	2,6	0,63	0,73	2,33	0,66	0,62	0,37	1,86	0,43	< 0,1
Ferro total	mg Fe/L		13,7	2,83	2,69	2,83	0,99	7,58	3,92	0,81	0,42	8,58	5,89	< 0,1
Fluoreto	mg F-/L	1,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fósforo total	mg P/L	0,1	0,02	0,02	< 0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Hora amostragem	H		11:46	10:52	10:20	11:35	12:00	11:30	12:30	12:15	10:51	11:40	11:30	14:40
Manganês dissolvido	mg Mn/L		0,16	< 0,03	< 0,03	0,07	0,03	0,10	0,04	0,03	< 0,025	0,15	0,05	0,06
Manganês total	mg Mn/L	0,1	0,16	< 0,03	0,03	0,07	0,04	0,10	0,12	0,03	< 0,025	0,15	0,07	0,06
Níquel total	mg Ni/L	0,025	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	0,44	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,63	< 0,2	11,3	1,28	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,84
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrogênio amoniacal total	mg N_NH3/L	†	0,03	0,32	0,06	0,04	< 0,02	0,08	0,03	0,10	< 0,06	0,15	< 0,06	0,12
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	7,64	8,27	8,34	8,11	7,91	8,10	7,98	8,96	7,77	7,27	8,68	4,67
pH	NOUNIT	6 a 9	4,80	8,00	7,01	6,7	5,73	7,02	5,70	7,01	6,95	6,62	5,18	5,58
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	< 20	40	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	28,0	9,00	12,0	8,00	30,0
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		41	15,5	<10	23,5	< 10	38,0	10,0	< 10	< 2	50,8	18,0	2,50
Sulfato	mg SO4/L	250	< 1	1,66	1,52	< 1	< 1	4,18	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	0,003	< 0,002	0,003	0,004	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,12	4,87	< 0,3	< 0,3	0,34
Temperatura ambiente	°C		30,1	24,5	NA	29,1	29,9	30,0	28,6	32,0	28,7	30,0	27,8	30,0
Temperatura da água	°C		23,2	23,2	NA	26,7	26,1	26,1	26,7	29,0	25,4	26,0	26,0	26,5
Tempo	NOUNIT		Nublado	Nublado	Nublado	Chuvoso		Bom	Bom	Bom	--	Bom	Bom	Nublado
Turbidez	NTU	100	12,60	5,08	6,44	5,95	4,08	15,1	6,09	2,13	1,80	8,33	9,90	0,88
Última chuva	NOUNIT		12H Antes	24H Antes	12H Antes	Na hora da coleta	Na hora da coleta	Mais de 5 dias	12H Antes	Últimos 5 dias		24H Antes	24H Antes	24H Antes
Zinco total	mg Zn/L	0,18	0,012	0,041	0,018	0,006	0,010	< 0,005	0,682	0,080	< 0,1	0,10	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH > 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH > 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente

Tabela A6 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-09

Parâmetros	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação chuvosa				Estação seca				Estação chuvosa			
			09/12/13	08/02/14	17/03/14	07/04/14	07/05/14	09/06/14	01/07/14	05/08/14	24/10/14	19/11/14	22/12/14	27/01/15
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		4,58	5,55	4,56	2,03	2,93	2,93	2,01	< 2	3,03	1,96	2,14	2,04
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	0,060	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,150	0,131	0,031	< 0,005	< 0,05	0,13	1,38	< 0,05
Bário total	mg Ba/L	0,7	0,006	0,018	0,051	0,019	0,066	0,010	0,014	< 0,006	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01
Boro total	mg B/L	0,5	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,03	< 0,02	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto	mg Cl-/L	250	< 2	2,53	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	1,41	1,15	2,01	< 1
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,20	< 0,01	< 0,12	< 0,12	< 0,89	< 0,89
Cobalto total	mg Co/L	0,05	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	< 0,003	< 0,003	0,051	< 0,003	0,008	0,027	0,087	< 0,003	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	84	150	260	78	86	128	21	< 1	30	63	4	22
Condutividade elétrica	µS/cm		14,70	14,7	17,5	13,8	42,1	14,0	7,19	5,99	17,8	19,7	30,9	120
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	< 5	11	6	< 5	< 5	7	< 5	< 5	12	< 5	< 5	< 5
Cromo total	mg Cr/L	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	0,07	< 0,05	0,05	< 0,05	< 0,05	0,07	< 0,05	< 0,05	< 0,1	0,10	< 0,1	< 0,1
Ferro total	mg Fe/L		0,07	0,05	0,05	< 0,05	< 0,05	0,07	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Fluoreto	mg F-/L	1,4	< 0,1	0,53	0,12	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fósforo total	mg P/L	0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,02	0,04	< 0,02
Hora amostragem	H		12:24	14:12	11:10	10:27	10:45	10:57	13:40	11:45	10:30	10:57	14:30	12:00
Manganês dissolvido	mg Mn/L		< 0,03	< 0,03	0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,025	0,09	0,05	0,05
Manganês total	mg Mn/L	0,1	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,025	0,09	0,05	0,05
Níquel total	mg Ni/L	0,025	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	< 0,2	< 0,2	0,83	0,38	1,21	< 0,2	0,89	0,33	4,55	2,05	0,46	0,62
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	0,27	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrogênio amoniacal total	mg N_NH3/L	†	0,09	0,07	0,1	< 0,02	0,05	< 0,02	< 0,02	0,04	0,06	< 0,06	< 0,06	0,14
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	7,77	8,48	7,69	7,89	7,83	8,39	7,97	7,56	8,13	7,26	6,86	8,14
pH	NOUNIT	6 a 9	6,67	8,56	7,63	6,7	6,72	6,77	5,70	5,95	5,91	6,11	5,50	6,60
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	< 20	< 20	< 20	< 20	31,8	< 20	< 20	< 20	13,0	15,0	21,0	5,00
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	3,00	3,00	16,5	4,00
Sulfato	mg SO4/L	250	3,61	3,52	1,72	< 1	< 1	4,11	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	< 0,002	0,009	< 0,002	< 0,002	0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	< 0,1	0,11	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,3	< 0,3	0,35	< 0,3
Temperatura ambiente	°C		26,5	30	24	26,1	27,7	27,7	29,9	--	5,91	26,4	29,2	28,0
Temperatura da água	°C		23	24,8	24	27,1	26,2	26,6	25,0	26,1	26,0	24,9	26,1	26,0
Tempo	NOUNIT		Nublado	Chuvoso	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Turbidez	NTU	100	1,32	9,46	4,75	3,98	5,48	1,69	5,41	4,63	4,60	2,36	0,40	5,53
Última chuva	NOUNIT		12H Antes	Na hora da coleta	12H Antes	12H Antes	24H Antes	Mais de 5 dias	12H Antes	Mais de 5 dias	Últimos 5 dias	24H Antes	24H Antes	24H Antes
Zinco total	mg Zn/L	0,18	0,074	0,017	0,03	0,02	0,052	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH > 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH > 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente

Tabela A7 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-25

Parâmetros	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação chuvosa				Estação seca					Estação chuvosa		
			11/12/13	15/02/14	15/03/14	01/04/14	19/05/14	03/06/14	08/07/14	25/08/14	22/10/14	03/12/14	20/12/14	26/01/15
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		15,30	14,1	4,6	13,2	45,0	11,7	61,3	< 2	16,2	16,7	4,27	45,0
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	0,160	< 0,005	0,010	0,070	0,020	< 0,005	< 0,005	0,034	0,06	0,06	< 0,05	< 0,05
Bário total	mg Ba/L	0,7	0,088	0,073	0,07	0,023	0,028	0,038	0,121	0,008	0,03	0,03	< 0,01	0,08
Boro total	mg B/L	0,5	0,10	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	0,011	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	0,04	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02
Cloreto	mg Cl-/L	250	3,40	< 2	< 2	< 2	3	6,69	< 2	< 2	1,59	2,30	1,85	< 1
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,12	< 0,53	< 0,53	< 0,53
Cobalto total	mg Co/L	0,05	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	< 0,003	0,010	0,005	< 0,003	0,003	0,013	< 0,003	0,005	< 0,009	< 0,009	0,01	< 0,009
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	88	150	5650	700	4	34	52	< 1	150	12	150	6
Condutividade elétrica	µS/cm		37,70	36,0	29,6	36,6	123,0	32,5	174	12,5	39,5	43,6	22,6	99,6
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	< 5	< 5	12	< 5	< 5	7	< 5	< 5	7	< 5	14	< 5
Cromo total	mg Cr/L	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,00	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	0,23	0,17	0,12	0,1	0,09	0,07	< 0,05	< 0,05	0,12	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ferro total	mg Fe/L		0,30	0,54	0,28	0,29	0,13	0,22	< 0,05	< 0,05	0,28	0,27	0,26	0,15
Fluoreto	mg F-/L	1,4	< 0,1	< 0,1	0,13	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	0,08	< 0,05	< 0,05
Fósforo total	mg P/L	0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,03	< 0,01	0,02	0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Hora amostragem	H		10:53	11:01	10:30	NA	10:00	11:05	10:25	10:30:00	9:45	10:40	10:02	11:00
Manganês dissolvido	mg Mn/L		0,09	< 0,03	0,1	0,11	0,03	0,06	0,37	< 0,03	0,08	0,11	< 0,025	< 0,025
Manganês total	mg Mn/L	0,1	0,25	< 0,03	0,13	0,13	0,07	0,09	0,39	< 0,03	0,11	0,12	< 0,025	< 0,025
Níquel total	mg Ni/L	0,025	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	1,03	0,32	1,85	1,01	2,73	0,89	0,38	0,35	0,80	0,59	0,40	< 0,1
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	0,18	0,04	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrogênio amoniacal total	mg N_NH3/L	†	0,04	0,08	0,37	0,03	0,07	0,04	0,08	0,03	0,08	< 0,06	< 0,06	0,27
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	7,80	8,41	8,05	8,01	6,25	9,27	9,32	7,05	8,28	7,46	8,53	5,36
pH	NUNIT	6 a 9	7,50	7,60	7,11	7,01	6,05	5,91	7,00	5,78	7,01	6,41	7,05	5,70
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	29,0	< 20	21	21	111	28,0	122	< 20	29,0	31,0	16,0	71,0
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	9,00	3,00	7,50	3,00
Sulfato	mg SO4/L	250	2,69	2,50	1,65	< 1	< 1	2,84	2,36	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	< 0,002	< 0,002	0,002	0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,0	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Temperatura ambiente	°C		26,0	24,8	24,8	26,1	29,8	29,9		--	25,5	30,0	29,8	27,0
Temperatura da água	°C		22,7	23,6	24,8	26,1	26,1	23,9	26,6	25,0	24,6	26,4	26,1	25,5
Tempo	NUNIT		Nublado	Chuvoso	Nublado	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Nublado	Nublado	Nublado	Bom
Turbidez	NTU	100	4,17	10,3	15,4	7,1	3,0	11,0	2,08	1,12	6,30	2,32	1,11	2,23
Última chuva	NUNIT		12H Antes	Na hora da coleta	12H Antes	12H Antes	24H Antes	Últimos 5 dias	Últimos 5 dias	Mais de 5 dias	24H Antes	--	12H Antes	24H Antes
Zinco total	mg Zn/L	0,18	0,110	0,010	0,018	0,044	0,120	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH > 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH > 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente

Tabela A8 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N4-26

Parâmetro	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação chuvosa				Estação seca					Estação chuvosa		
			11/12/13	06/02/14	18/03/14	08/04/14	14/05/14	11/06/14	03/07/14	19/09/14	29/10/14	04/12/14	13/12/14	02/02/15
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		3,06	8,07	6,08	5,06	51,8	2,93	17,1	9,05	5,89	7,86	11,7	24,5
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	0,060	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,009	< 0,005	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,12
Bário total	mg Ba/L	0,7	0,019	< 0,006	0,052	< 0,006	< 0,006	< 0,006	0,006	0,017	0,01	0,01	0,02	0,04
Boro total	mg B/L	0,5	0,07	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	0,10	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto	mg Cl-/L	250	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	2,20	< 2	< 2	1,51	1,33	1,56	3,02
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,12	< 0,67	< 0,76	< 0,67
Cobalto total	mg Co/L	0,05	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	0,010	< 0,003	0,014	0,014	0,009	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,009	0,01	< 0,009	0,01
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	16	220	215	325	118	< 1	6	< 1	128	6	135	20
Condutividade elétrica	µS/cm		20,70	18,70	22,40	20,0	26,0	25,6	78,3	27,2	25,4	24,1	30,9	22,3
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	46	19	36	5	8	< 5	< 5	15	19	13	9	< 5
Cromo total	mg Cr/L	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	0,34	< 0,05	0,2	0,18	0,11	< 0,05	< 0,05	0,11	0,18	< 0,1	0,21	0,23
Ferro total	mg Fe/L		2,44	0,32	0,42	0,61	0,29	< 0,05	< 0,05	0,50	0,39	0,33	1,30	0,23
Fluoreto	mg F-/L	1,4	0,1	0,38	0,13	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fósforo total	mg P/L	0,1	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,02	0,03	< 0,02	< 0,02
Hora amostragem	H		12:23	11:40	11:57	12:45	13:01	10:51	12:00	10:40	11:49	10:00	10:55	15:02
Manganês dissolvido	mg Mn/L		0,06	< 0,03	0,04	0,03	< 0,03	0,06	0,76	< 0,03	0,10	0,03	< 0,025	0,46
Manganês total	mg Mn/L	0,1	0,20	< 0,03	0,04	0,06	0,07	0,06	0,80	0,03	0,10	0,05	0,06	0,47
Níquel total	mg Ni/L	0,025	0,03	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	0,53	0,49	1,05	0,41	1,09	0,25	< 0,2	0,62	< 0,1	1,03	0,36	0,95
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	< 0,02	0,05	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,17	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrogênio amoniacal total	mg N_NH3/L	†	0,04	0,03	0,14	0,06	< 0,02	0,05	0,04	0,11	< 0,06	< 0,06	< 0,06	0,10
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,04	< 1	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	8,12	8,24	7,96	7,70	7,88	6,70	4,73	8,98	7,56	7,51	7,66	7,99
pH	NOUNIT	6 a 9	6,88	6,08	7,81	7,01	6,39	6,41	6,70	7,70	6,90	5,90	5,65	7,45
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	20	< 20	< 20	< 20	21,0	23,0	62,0	31,0	22,0	23,0	25,0	77,0
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		17	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	10,5	7,00	21,0	2,00
Sulfato	mg SO4/L	250	< 1	1,73	1,6	< 1	< 1	3,82	1,40	< 1	< 1	< 1	< 1	9,86
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	0,007	< 0,002	0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,002	< 0,002	< 0,002
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Temperatura ambiente	°C		27,0	23,8	NA	30,0	30,1	27,7	27,7	30,0	29,8	30,0		30,0
Temperatura da água	°C		23,0	24,5	NA	28,7	28,7	26,1	26,0	28,0	26,9	25,7		26,3
Tempo	NOUNIT		Nublado	Nublado	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Nublado
Turbidez	NTU	100	33,40	4,83	5,44	8,96	2,81	0,99	1,46	3,61	25,0	5,19	10,4	3,26
Última chuva	NOUNIT		12H Antes	12H Antes	12H Antes	12H Antes	12H Antes	Mais de 5 dias	Últimos 5 dias	--	Mais de 5 dias	24H Antes	12H Antes	24H Antes
Zinco total	mg Zn/L	0,18	0,011	0,012	0,020	0,024	0,017	< 0,005	< 0,005	0,013	< 0,1	0,10	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH > 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH > 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente

Tabela A9 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral de N4WSUL no ponto N6-01

Parâmetro	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação chuvosa				Estação seca					Estação chuvosa		
			07/12/13	08/02/14	10/03/14	11/04/14	06/05/14	02/06/14	01/07/14	05/08/14	22/10/14	19/11/14	20/12/14	27/01/15
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		4,07	3,53	< 2	< 2	< 2	< 2	2,01	< 2	2,02	< 1,5	21,4	2,04
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	0,040	< 0,005	0,080	0,23	0,210	< 0,005	0,055	< 0,005	< 0,05	0,10	< 0,05	< 0,05
Bário total	mg Ba/L	0,7	0,008	0,032	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Boro total	mg B/L	0,5	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto	mg Cl-/L	250	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 1	< 1	1,60	< 1
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,24	< 0,01	< 0,12	< 0,12	< 0,89	< 0,89
Cobalto total	mg Co/L	0,05	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	0,006	< 0,003	0,018	0,017	0,009	< 0,003	0,009	< 0,003	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	32	165	160	80	94	10	63	13	69	26	330	16
Condutividade elétrica	µS/cm		10,10	6,14	6,36	7,76	7,92	8,86	7,08	5,77	7,92	30,4	90,2	137
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	< 5	< 5	< 5	11	< 5	< 5	14	< 5	5	5	< 5	< 5
Cromo total	mg Cr/L	0,05	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	0,09	< 0,05	0,06	0,10	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ferro total	mg Fe/L		0,2	< 0,05	0,09	0,13	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Fluoreto	mg F-/L	1,4	< 0,1	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fósforo total	mg P/L	0,1	< 0,01	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,02	0,04	0,03
Hora amostragem	H		12:03	09:50	12:58	10:10	10:57	10:30	10:24	10:20:00	12:00	09:20	10:30	09:00
Manganês dissolvido	mg Mn/L		< 0,03	< 0,03	0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,025	< 0,025	0,77	< 0,025
Manganês total	mg Mn/L	0,1	0,04	< 0,03	0,04	0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,025	< 0,025	1,02	< 0,025
Níquel total	mg Ni/L	0,025	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	< 0,2	< 0,2	0,24	< 0,2	1,26	2,41	< 0,2	0,27	1,36	1,29	0,36	0,50
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	< 0,02	0,07	0,04	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrogênio amoniacal total	mg N_ NH3/L	†	0,07	0,03	0,14	0,07	0,03	< 0,02	< 0,02	0,02	0,07	< 0,06	< 0,06	0,14
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	8,10	8,17	7,84	7,57	7,75	7,95	7,69	7,66	8,09	7,43	7,43	7,96
pH	NOUNIT	6 a 9	8,30	7,81	9,72	7,01	7,12	6,75	5,30	6,22	5,19	6,33	6,14	6,40
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	< 20,0	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	5,00	24,0	70,0	5,00
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	4,50	7,00	10,5	3,00
Sulfato	mg SO4/L	250	2,89	3,07	1,69	< 1	< 1	2,85	1,71	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	< 0,002	0,007	0,004	0,004	0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,002	< 0,002
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	< 0,1	0,16	0,14	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Temperatura ambiente	°C		26,0	29,9	26,0	29,9	26,1	29,8	27,7	--	24,2	27,3	30,8	27,7
Temperatura da água	°C		23,5	26,4	24	29,1	25,0	N,A,	26,6	26	25,7	24,0	26,5	26,0
Tempo	NOUNIT		Nublado	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Nublado	Bom	Nublado	Bom
Turbidez	NTU	100	14,70	6,77	8,75	3,21	3,15	7,66	4,70	7,53	8,80	6,05	0,37	6,60
Última chuva	NOUNIT		12H Antes	12H Antes	12H Antes	12H Antes	12H Antes	Últimos 5 dias	12H Antes	Mais de 5 dias	24H Antes	24H Antes	24H Antes	24H Antes
Zinco total	mg Zn/L	0,18	0,005	< 0,005	< 0,005	0,009	0,015	0,015	< 0,005	< 0,005	< 0,1	0,45	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH > 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH > 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente

Tabela A10 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral N3 no ponto N3-3

Parâmetro	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação seca		Estação chuvosa	Estação seca		Estação chuvosa		Estação seca
			22/05/2014	10/10/2014	07/04/2015	19/06/2015	04/09/2015	12/11/2015	29/02/2016	04/05/2016
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		3,91	4,6	-	5,44	< 6	< 6	< 6	38,7
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	< 0,05	0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,07
Bário total	mg Ba/L	0,7	0,008	0,008	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Boro total	mg B/L	0,5	< 0,02	< 0,02	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto	mg Cl-/L	250	< 2	< 2	< 1	< 1	< 1	< 1	2,94	3,46
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	< 0,01		< 1,78	< 1,78	< 1,07	< 1,07	< 1,07
Cobalto total	mg Co/L	0,05	< 0,009	< 0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	< 0,003	< 0,003	< 0,009	< 0,009	< 0,02	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	8	145	40	< 1	< 1	780	320	< 1
Condutividade elétrica	µS/cm		12,30	14,00	184,00	11,50	11,80	11,40	15,20	27,70
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	< 5	5	< <5	9	< 10	13	< 10	< 10
Cromo total	mg Cr/L	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 2	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,12	< 0,1	< 0,1
Ferro total	mg Fe/L		< 0,05	< 0,05	< 0,10	0,27	0,20	0,17	< 0,10	< 0,10
Fluoreto	mg F-/L	1,4	< 0,1	< 0,1	< 0,05	0,95	< 0,05	0,08	< 0,05	0,16
Fósforo total	mg P/L	0,1	< 0,01	0,01	< 0,02	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Hora amostragem	H		11:20	10:28	11:10	11:00	10:47	11:50	11:42	11:13
Manganês dissolvido	mg Mn/L		< 0,03	< 0,03	0,7	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	0,05
Manganês total	mg Mn/L	0,1	< 0,03	< 0,03	0,71	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	0,05
Níquel total	mg Ni/L	0,025	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	0,66	0,79	0,1	0,57	0,1	0,1	0,48	0,79
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,065	< 0,06	0,06
Nitrogênio amoniacal total	mg N_NH3/L	†	0,04	0,05	0,22	< 0,06	< 0,06	< 0,06	0,11	0,17
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1,0	1,1	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	8,19	8,43	6,06	8,48	8,48	7,95	8,59	6,12
pH	NOUNIT	6 a 9	7,8	5,54	7	6,26	7,15	6,54	7,32	5,58
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	< 20	< 20	117	10	< 11	< 11	< 11	17,5
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		< 10	< 10		3,5	< 11	21,5	< 11	< 11
Sulfato	mg SO4/L	250	< 1	< 1	5,62	< 1	< 1	< 1	< 1	1,45
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	< 0,002	< 0,002		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	< 0,1	0,13		< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Temperatura ambiente	°C		32,7	27,8	28,1	31,0	32,0	31,0	29,8	30,1
Temperatura da água	°C		26,2	26,1	24	26,1	25,3	25	24,3	24,8
Tempo	NOUNIT		Bom	Bom	Chuvoso	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Turbidez	NTU	100	2,4	4,42	0,65	2,37	1,85	5,53	2,08	< 0,3
Última chuva	NOUNIT		Antes 24H	Últimos 5 dias	Na hora da coleta	Mais de 5 dias	Mais de 5 dias	Mais de 5 dias	Últimos 5 dias	24 hs antes
Zinco total	mg Zn/L	0,18	0,01	< 0,005	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH > 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH > 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente

Tabela A13 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral N3 no ponto N3-4

Parâmetro	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação seca		Estação chuvosa	Estação seca		Estação chuvosa		Estação seca
			22/05/2014	10/10/2014	07/04/2015	19/06/2015	04/09/2015	12/11/2015	29/02/2016	04/05/2016
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		7,82	7,07		12,7	< 6	< 6	13,2	< 6
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	< 0,005	< 0,05	0,84	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,06	0,06
Bário total	mg Ba/L	0,7	0,012	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01
Boro total	mg B/L	0,5	< 0,02	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto	mg Cl-/L	250	< 2	1,1	< 1	< 1	2,59	1,44	1,37	4,18
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	< 0,12		< 1,78	< 1,78	< 1,07	< 1,07	< 1,07
Cobalto total	mg Co/L	0,05	< 0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	< 0,003	< 0,009		< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	52	24	66	49	250	31	14	< 1
Condutividade elétrica	µS/cm		22,20	24,20	12,00	21,70	6,38	22,40	24,10	30,20
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	< 5	10	42	< 5	< 10	< 10	33	< 10
Cromo total	mg Cr/L	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,002		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	< 0,05	< 0,1	0,54	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ferro total	mg Fe/L		0,06	0,19	0,26	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Fluoreto	mg F-/L	1,4	< 0,1	< 0,05	< 0,05	1,27	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,17
Fósforo total	mg P/L	0,1	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Hora amostragem	H		10:50	10:30	11:30	11:40	11:50	11:10	10:40	13:10
Manganês dissolvido	mg Mn/L		0,04	< 0,025	< 0,025	< 0,025	0,05	< 0,025	< 0,025	0,05
Manganês total	mg Mn/L	0,1	0,05	< 0,025	0,025	< 0,025	0,05	< 0,025	< 0,025	0,05
Níquel total	mg Ni/L	0,025	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	1,15	0,38	< 0,1	< 0,1	0,55	< 0,1	0,39	0,84
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,12	< 0,065714	< 0,06	0,06
Nitrogênio amoniacal total	mg N_NH3/L	†	0,1	0,09	0,07	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	0,07
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1,0	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	7,49	8,24	7,6	9,02	5,75	8,07	7,73	5,49
pH	NOUNIT	6 a 9	6,02	7,27	7,3	5,71	6,38	7,53	7,18	5,77
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	< 20	20	9	23,5	16	18	14	20
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		< 10	4		< 2	< 11	< 11	< 11	< 11
Sulfato	mg SO4/L	250	< 1	< 1	4,12	< 1	< 1	< 1	< 1	1,52
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	0,002	< 0,002		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,006
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	< 0,1	< 0,3		< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Temperatura ambiente	°C		29,9	29,7	28,0	30,0	26,0	28,0	28,5	30,0
Temperatura da água	°C		28,8	27,2	25	26,7	32,3	26,1	24,1	26,1
Tempo	NOUNIT		Nublado	Nublado	Chuvoso	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Turbidez	NTU	100	3,26	3,3	2,86	3,21	0,67	5,03	2,98	< 0,3
Última chuva	NOUNIT		Antes 24H	12H antes	12H antes	Mais de 5 dias	Mais de 5 dias	Mais de 5 dias	24H antes	Últimos 5 dias
Zinco total	mg Zn/L	0,18	0,06	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH > 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH > 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente

Tabela A14 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral N3 no ponto N3-5

Parâmetro	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação seca		Estação chuvosa	Estação seca		Estação chuvosa		Estação seca
			22/05/2014	10/10/2014	07/04/2015	19/06/2015	04/09/2015	12/11/2015	29/02/2016	04/05/2016
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		2,93	3,45		5,3	10,1	< 6	< 6	< 6
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	< 0,005	0,01	< 0,05	0,05	0,05	0,08	< 0,05	< 0,05
Bário total	mg Ba/L	0,7	< 0,006	< 0,006	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Boro total	mg B/L	0,5	< 0,02	0,04	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto	mg Cl-/L	250	3,89	< 2	< 1	< 1	< 1	< 1	2,91	< 1
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	< 0,01		< 1,78	< 1,78	< 1,07	< 1,07	< 1,07
Cobalto total	mg Co/L	0,05	< 0,009	< 0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	< 0,003	< 0,003		< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	20	165	25	123	30	530	47	43
Condutividade elétrica	µS/cm		10,40	9,58	8,43	11,80	11,20	11,40	11,70	12,80
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	6	8	15	15	25	14	16	< 10
Cromo total	mg Cr/L	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 2	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	< 0,05	0,05	< 0,1	< 0,1	0,24	0,29	0,17	0,14
Ferro total	mg Fe/L		0,13	0,13	0,12	< 0,23	0,48	0,34	0,26	0,23
Fluoreto	mg F-/L	1,4	< 0,1	< 0,1	< 0,05	1,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fósforo total	mg P/L	0,1	0,02	0,02	< 0,02	< 0,04	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Hora amostragem	H		11:01	12:28	11:50	11:40	12:23	10:03	10:43	10:30
Manganês dissolvido	mg Mn/L		0,09	0,03	0,03	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	0,03
Manganês total	mg Mn/L	0,1	0,09	< 0,03	0,03	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	0,03
Níquel total	mg Ni/L	0,025	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	< 0,2	4	0,74	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,53	0,66
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrogênio amoniacal total	mg N_ NH3/L	†	0,03	0,05	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	0,07
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1,0	< 1,0	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	7,95	7,43	7,95	8,61	7,26	8,87	8,44	5,92
pH	NOUNIT	6 a 9	6,94	5,01	7,07	6,97	6,47	6,82	7,48	6,74
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	< 20	< 20	5	9	< 11	< 11	< 11	< 11
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		< 10	< 10		3,5	14	< 11	< 11	< 11
Sulfato	mg SO4/L	250	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	< 0,002	< 0,002		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	0,12	0,12		< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Temperatura ambiente	°C		29,9	30,0	29,0	30,0	34,3	28,0	28,8	28,9
Temperatura da água	°C		24,5	24,3	26	26,7	24	25,7	24	26,1
Tempo	NOUNIT		Nublado	Bom	Chuvoso	Bom	Nublado	Bom	Bom	Bom
Turbidez	NTU	100	2,16	2,51	1,81	1,37	1,2	1,88	1,73	0,35
Última chuva	NOUNIT		Últimos 5 dias	Últimos 5 dias	12H antes	Mais de 5 dias	Mais de 5 dias	Mais de 5 dias	12H antes	Últimos 5 dias
Zinco total	mg Zn/L	0,18	< 0,005	< 0,005	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH > 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH > 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente

Tabela A115 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral N3 no ponto N3-6

Parâmetro	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação seca		Estação chuvosa	Estação seca		Estação chuvosa		Estação seca
			22/05/2014	10/10/2014	07/04/2015	19/06/2015	04/09/2015	12/11/2015	29/02/2016	04/05/2016
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		< 2	4,04		12,7	< 6	6,3	6,7	< 6
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	0,05	0,12	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,06	< 0,05
Bário total	mg Ba/L	0,7	< 0,006	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Boro total	mg B/L	0,5	< 0,02	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto	mg Cl-/L	250	< 2	1,13	< 1	< 1	1,2	1,63	< 1	< 1
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	< 0,12		< 1,78	< 1,78	< 1,07	< 1,07	< 1,07
Cobalto total	mg Co/L	0,05	< 0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	< 0,003	0,02	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	18	145	< 1	35	60	780	36	44
Condutividade elétrica	µS/cm		12,10	12,90	196,00	11,10	56,00	12,80	3,80	12,60
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	< 5	17	< 5	15	< 10	< 10	22	< 10
Cromo total	mg Cr/L	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,002		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ferro total	mg Fe/L		0,05	< 0,10	0,12	0,21	0,17	0,13	< 0,10	< 0,10
Fluoreto	mg F-/L	1,4	< 0,1	< 0,05	< 0,05	0,5	0,07	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fósforo total	mg P/L	0,1	0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,08	< 0,02
Hora amostragem	H		10:50	10:00	11:35	11:40	10:37	11:59	11:30	15:56
Manganês dissolvido	mg Mn/L		0,04	< 0,025	0,79	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025
Manganês total	mg Mn/L	0,1	0,05	< 0,025	0,79	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025
Níquel total	mg Ni/L	0,025	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	3,05	0,95	< 0,1	< 0,1	1,21	1,37299	0,75	0,88
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrogênio amoniacal total	mg N_NH3/L	†	< 0,02	0,07	0,06	< 0,06	0,27	< 0,06	0,08	0,1
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1,0	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	8,21	7,84	7,07	9,14	8,75	8,18	7,77	7,83
pH	NOUNIT	6 a 9	7,14	5,25	7	7,69	7,38	6,97	6,93	6,58
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	< 20	9	63	9,5	30,5	< 11	< 11	11
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		< 10	10,5		< 2	< 11	< 11	< 11	< 11
Sulfato	mg SO4/L	250	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,56	< 1	< 1
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	< 0,002	< 0,002		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	< 0,1	< 0,3		< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Temperatura ambiente	°C			23,8	30,0	30,0	27,0	31,0	29,8	30,8
Temperatura da água	°C		25	24,7	26	26,7	27	25,9	24,5	25
Tempo	NOUNIT		Nublado	Chuvoso	Chuvoso	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Turbidez	NTU	100	3,37	5,3	0,85	5,76	3,6	1,8	5,04	3,74
Última chuva	NOUNIT		Antes 12Hs	Na hora da coleta	12H antes	Mais de 5 dias	Mai de 5 dias	Mais de 5 dias	12H antes	Mais de 5 dias
Zinco total	mg Zn/L	0,18	0,08	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH < 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH < 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente

Tabela A16 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral N3 no ponto N3-7

Parâmetro	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação seca		Estação chuvosa	Estação seca		Estação chuvosa		Estação seca
			22/05/2014	10/10/2014	07/04/2015	19/06/2015	04/09/2015	12/11/2015	29/02/2016	04/05/2016
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		< 2	4,04		13,8	< 6	< 6	13,3	< 6
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	0,09	0,03	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,07	0,13
Bário total	mg Ba/L	0,7	0,04	0,009	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Boro total	mg B/L	0,5	< 0,02	< 0,02	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto	mg Cl-/L	250	< 2	< 2	1,03	1,02	1,12	< 1	1,01	1,27
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	< 0,01		< 1,78	< 1,78	< 1,07	< 1,07	< 1,07
Cobalto total	mg Co/L	0,05	< 0,009	< 0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	< 0,003	0,006		< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	52	34	20	105	188	165	47	14
Condutividade elétrica	µS/cm		11,70	14,20	11,40	13,60	14,80	12,80	96,70	11,10
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	8	17	10	< 5	< 10	< 10	< 10	< 10
Cromo total	mg Cr/L	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 2	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	0,08	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ferro total	mg Fe/L		0,10	0,05	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Fluoreto	mg F-/L	1,4	< 0,1	< 0,1	< 0,05	0,16	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fósforo total	mg P/L	0,1	0,01	< 0,01	0,02	< 0,02	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Hora amostragem	H		11:50	16:00	11:40	10:41	10:10	11:40	14:40	15:08
Manganês dissolvido	mg Mn/L		< 0,03	< 0,03	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025
Manganês total	mg Mn/L	0,1	< 0,03	< 0,03	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025
Níquel total	mg Ni/L	0,025	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	0,91	0,54	1,81	0,93	0,26	< 0,1	0,39	0,93
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	< 0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrogênio amoniacal total	mg N_NH3/L	†	0,05	0,05	< 0,06	0,13	< 0,06	< 0,06	0,1	0,12
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1,0	1,2	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	8,35	7,5	8,25	9,04	7,84	7,85	7,84	7,97
pH	NOUNIT	6 a 9	6,55	6,99	6,5	5,69	7,25	6,67	6,71	5,68
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	< 20	< 20	9	11	< 11	< 11	57	< 11
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		< 10	< 10		8,5	< 11	< 11	< 11	< 11
Sulfato	mg SO4/L	250	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	< 0,002	< 0,002		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	< 0,1	0,19		< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Temperatura ambiente	°C		25,9	27,8	28,0	30,0	32,2	30,0	29,9	30,3
Temperatura da água	°C		23,7	27,6	24	26,1	26,3	26	23,1	25,1
Tempo	NOUNIT		Chuvoso	Bom	Chuvoso	Bom	Chuvoso	Bom	Bom	Nublado
Turbidez	NTU	100	3,42	1,2	1,5	2,76	0,69	0,99	2,9	0,35
Última chuva	NOUNIT		Hora da Coleta	Últimos 5 dias	12H antes	Mais de 5 dias	Mais de 5 dias	Mais de 5 dias	Mais de 5 dias	12 hs antes
Zinco total	mg Zn/L	0,18	0,02	< 0,005	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH < 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH < 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente

Tabela A17 – Resultados do monitoramento das águas superficiais na área do Corpo Mineral N3 no ponto N3-8

Parâmetro	Unidade	CONAMA Nº 357/05 Classe 2	Estação seca			Estação seca		Estação chuvosa		Estação seca
			22/05/2014	10/10/2014		19/06/2015	04/09/2015	12/11/2015	29/02/2016	04/05/2016
Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO3/L		< 2	< 2		2,18	< 6	6,3	6,7	< 6
Alumínio dissolvido	mg Al/L	0,1	0,06	0,03		< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,08	0,08
Bário total	mg Ba/L	0,7	< 0,006	< 0,006		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Boro total	mg B/L	0,5	< 0,02	< 0,02		< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Cádmio total	mg Cd/L	0,001	< 0,001	< 0,001		< 0,001	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	mg Pb/L	0,01	< 0,01	< 0,01		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto	mg Cl-/L	250	< 2	< 2		3,42	85,5	< 1	< 1	< 1
Clorofila a	µg/L	30	< 0,01	< 0,01		< 1,78	< 1,78	< 1,07	< 1,07	< 1,07
Cobalto total	mg Co/L	0,05	< 0,009	< 0,009		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre dissolvido	mg Cu/L	0,009	< 0,003	0,005		< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	1000	4	2		28	1	11	15	17
Condutividade elétrica	µS/cm		11,10	5,80		6,87	5,65	5,32	6,79	6,58
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	< 5	< 5		15	11	< 10	< 10	70
Cromo total	mg Cr/L	0,05	< 0,01	< 0,01		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO	mg O2/L	5	< 2	< 2		< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Fenóis	mg/L	0,003	< 0,001	< 0,001		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ferro dissolvido	mg Fe/L	0,3	< 0,05	< 0,05		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ferro total	mg Fe/L		< 0,05	< 0,05		0,19	0,13	< 0,10	0,11	< 0,10
Fluoreto	mg F-/L	1,4	< 0,1	< 0,1		0,68	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fósforo total	mg P/L	0,1	0,02	0,02		< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Hora amostragem	H		11:48	10:10		11:40	12:03	09:40	10:45	10:00
Manganês dissolvido	mg Mn/L		0,06	< 0,03		< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025
Manganês total	mg Mn/L	0,1	0,06	< 0,03		< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025
Níquel total	mg Ni/L	0,025	< 0,01	< 0,01		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato	mg NO3/L	10,0	1,7	0,42		0,46	0,22	< 0,1	0,22	0,75
Nitrito	mg NO2/L	1,0	< 0,02	< 0,02		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrogênio amoniacal total	mg N_NH3/L	†	< 0,02	0,03		< 0,06	< 0,06	< 0,06	0,09	0,09
Óleos e Graxas totais	mg/L	V.A.*	< 1,0	< 1,0		< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	5	8,13	7,61		9,25	8,13	8,33	8,19	8,2
pH	NOUNIT	6 a 9	6,81	6,5		6,97	7,44	7	6,82	5,97
Sólidos dissolvidos totais	mg SDT/L	500	< 20	< 20		4	< 11	< 11	< 11	< 11
Sólidos em suspensão totais	mg SST/L		< 10	< 10		6,5	< 11	< 11	< 11	< 11
Sulfato	mg SO4/L	250	< 1	< 1		< 1	8,8	< 1	< 1	< 1
Sulfeto	mg S2-/L	0,002	< 0,002	< 0,002		< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Substâncias tensoativas	mg MBAS/L	0,5	< 0,1	0,11		< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Temperatura ambiente	°C		30,1	27,9		30,0	30,8	30,0	28,5	29,0
Temperatura da água	°C		24,8	27,9		26,1	26,7	26,7	23,5	24,8
Tempo	NOUNIT		Bom	Bom		Bom	Bom	Bom	Bom	Nublado
Turbidez	NTU	100	1,94	3,47		5,57	1,87	1,3	1,64	1,17
Última chuva	NOUNIT		Últimos 5 dias	Últimos 5 dias		Mais de 5 dias	Mais de 5 dias	Mais de 5 dias	Mais de 5 dias	12 hs antes
Zinco total	mg Zn/L	0,18	< 0,005	< 0,005		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

† 3,7mg/L N, para pH < 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH < 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH < 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5; em vermelho, parâmetros não conformes com a Resolução CONAMA 357/2005; valores com sinal (<) iguais ao limite de detecção do respectivo método analítico.

*V.A. – Virtualmente ausente