AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA DA ÁREA DE
INSTALAÇÃO DO FUTURO REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO - RMB, COMO
UMA FERRAMENTA PARA A OBTENÇÃO DA LICENÇA DE INSTALAÇÃO**

Thamiris Brandino Stellato

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na Área
de Tecnologia Nuclear - Materiais**

Orientadora:

Profa. Dra. Marycel Elena Barboza Cotrim

São Paulo

2017

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA DA ÁREA DE
INSTALAÇÃO DO FUTURO REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO - RMB, COMO
UMA FERRAMENTA PARA A OBTENÇÃO DA LICENÇA DE INSTALAÇÃO**

Thamiris Brandino Stellato

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na Área
de Tecnologia Nuclear - Materiais**

Orientadora:

Profa. Dra. Marycel Elena Barboza Cotrim

Versão Corrigida
Versão Original disponível no IPEN

São Paulo
2017

Fonte de Financiamento: CAPES - PROEX0041041

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho,
para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte

Como citar:

STELLATO, T. B. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL SUBTERRÂNEA DA ÁREA DE INSTALAÇÃO DO FUTURO REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO - RMB, COMO UMA FERRAMENTA PARA A OBTENÇÃO DA LICENÇA DE INSTALAÇÃO**. 2018. 209 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo. Disponível em: <www.teses.usp.br> (data de consulta no formato: dd/mm/aaaa)

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de geração automática da Biblioteca IPEN/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Stellato, Thamiris Brandino

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA DA ÁREA DE INSTALAÇÃO DO FUTURO REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO - RMB, COMO UMA FERRAMENTA PARA A OBTENÇÃO DA LICENÇA DE INSTALAÇÃO / Thamiris Brandino Stellato; orientadora Marycel Elena Baboza Cotrim. -- São Paulo, 2018. 209 p.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Nuclear (Materiais) -- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2018.

1. Avaliação ambiental. 2. Recursos hídricos. 3. Classificação química. I. Cotrim, Marycel Elena Baboza, orient. II. Título.

DEDICATÓRIA

*Ao meu pai Paulo, minha mãe Luzia,
irmã Thainara e marido Wellington por
estarem sempre ao meu lado me
apoiando.*

AGRADECIMENTOS

A Dra. Marycel Elena Barboza Cotrim pela orientação, ensinamentos e confiança.

A Dra. Maria Aparecida Faustino Pires pela ajuda e confiança.

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP) e ao Centro de Química e Meio Ambiente (CQMA) pela disponibilização da infraestrutura para a realização deste trabalho.

A Dra. Sueli da Silva Peres do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) e toda sua equipe.

A CAPES – pelo apoio financeiro concedido, PROEX0041041 – USP – Tecnologia Nuclear.

A MSc. Lucilena Rebelo Monteiro pelo auxílio nas pesquisas, nos cálculos estatísticos, no sempre incentivo a pesquisa e pelo carinho, dedicação e amizade.

As minhas companheiras de laboratório e amigas da vida: Sabrina M.V.Souares, Tatiane B.S.C.Silva, Mainara G.Faustino, Joyce R. Marques, Sâmia Maracaipe, Camila F.R.T.T.Santos, Caio Miranda e Lucas Grosche pela ajuda e incentivo.

A Dra. Elâine Arantes Jardim Martins e Dr. Hélio Akira Furusawa por todo auxílio. Ao Elias Silveira e a Sabine Neusatz Guilhen que me ajudaram com as amostras de metais no laboratório.

Ao meu pai, minha mãe, minha irmã e meu marido por me ensinarem e ajudarem a ser quem sou hoje.

RESUMO

STELLATO, Thamiris B. ***Avaliação da qualidade da água superficial e subterrânea da área de instalação do futuro Reator Multipropósito Brasileiro – RMB, como uma ferramenta para a obtenção da licença de instalação.*** 2018. 209 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN - CNEN/SP. São Paulo.

O Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) é um reator nuclear de pesquisa, que mostra sua importância por trazer avanços nas áreas científica, tecnológica, econômica e social, viabilizando políticas públicas e objetivos estratégicos para o país. Qualquer empreendimento deve se submeter obrigatoriamente a uma licença ambiental junto ao órgão responsável, para que possa exercer sua atividade legalmente. A legislação ambiental disciplina o uso racional dos recursos ambientais e a preservação da qualidade ambiental. Sendo a água um recurso importante para a sustentação da vida no planeta, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água superficial e subterrânea da área de influência do futuro uso industrial do Reator Multipropósito Brasileiro RMB, estabelecendo valores de referência para futuros programas de monitoramento de operações, bem como para licenças e regulamentos ambientais. Foram realizadas quatro coletas ao longo do ano de 2015 em dez pontos localizados na área de influência do futuro Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), em Iperó/ SP, sendo seis pontos de água superficial e quatro de água subterrânea. Foram analisados 39 parâmetros sendo eles físico-químicos ânions e metais totais, realizados conforme os métodos de análises e técnicas analíticas da APHA AWWA WPCF, ABNT e EPA. As concentrações dos parâmetros analisados foram comparadas com os valores máximos estabelecidos pela Legislação Nacional - CONAMA 396/08 e Estadual - CETESB Nº 045/2014/E/C/I (2014) para água subterrânea e CONAMA 357/05 para água superficial. Os ânions e cátions majoritários foram empregados na classificação das águas por meio do diagrama de Piper para identificação das características naturais do corpo d'água e do aquífero. Considerando os parâmetros analisados, todos os pontos de coleta

apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/08 e 357/05. A classificação hidroquímica encontrada por meio do diagrama de Piper permitiu concluir que a dissolução de carbonato é o processo dominante que controla os ânions majoritários da maioria das águas amostradas e a dissolução do sódio, potássio e cálcio dos cátions majoritários, variando em relação aos períodos de coleta. O ambiente em estudo encontra-se em bom estado de conservação, no que se refere à qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

Palavras - chave: avaliação ambiental; recursos hídricos; classificação química.

ABSTRACT

STELLATO, Thamiris B.. **Surface and groundwater quality evaluation in the area of the future Brazilian Multipurpose Reactor - RMB facility as a tool to get the installation licenses.** 2018. 209 p. Dissertation (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN - CNEN/SP. São Paulo.

The Brazilian Multipurpose Reactor (RMB) is a nuclear research reactor, has fundamental importance in the scientific, technological, economic and social area, allowing public policies and strategic goals for the country. Any enterprises have to submit an environmental license to the competent governmental entity, in order to proceed with its activities legally. The environmental regulation imposes the reasonable use of the environmental resources and preserves the environmental quality. Being the water a resource important to support life on earth, the present work has the goal to evaluate the quality of surface and ground water from the influence area around the Brazilian Multipurpose Reactor facility, by establishing referential values to be used in the future monitoring programs, during the facility operation as well to maintain the environmental licenses. During 2015 four field campaigns were performed covering ten sampling points through the area of the future Brazilian Multipurpose Reactor facility, at Iperó/ SP, being six of the sampling points for surface water and four for groundwater. 39 parameters were analyzed, being physical and chemical, anions and total metals carried out according to APHA AWWA WPCF, ABNT e EPA, concerning the method and analytical technique. The amount resulted from the assays were compared against the maximum allowed values established by Resolution CONAMA 396/08 and CETESB N° 045/2014/E/C/I/2014 for groundwater and Resolution CONAMA 357/05 for surface water. The major anions and cations were applied to the water classification, using Piper diagram, in order to identify the natural features of the body of water and aquifer. Regarding the analyzed parameters, all the samples met the Resolution CONAMA 396/08 e 357/05 requirements. The hydrochemical classification performed by Piper diagram allowed concluding the carbonate dissolution is the main process that controls the major anions of the majority water

samples and the sodium dissolution, potassium and calcium of the major cations, varying according to the collection period. The studied environment is found to be in good conditions, regarding water quality both surface and groundwater.

Key Words: environmental evaluation; hydric resources; chemical classification.

LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

Área Diretamente Afetada	ADA
Avaliação de Impactos Ambientais.....	AIA
Área de Influência Direta	AID
Área de Influência Indireta.....	AII
Comitê de Bacia Hidrográfica.....	CBH
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear	CDTN
Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.....	CETESB
Comissão Nacional de Energia Nuclear.....	CNEN
Conselho Nacional de Recursos Hídricos	CNRH
Conselho Nacional do Meio Ambiente	CONAMA
Centro Experimental de Aramar do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo	CTMSP
Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento.....	DPD
Estudo de Impacto Ambiental.....	EIA
Floresta Nacional de Ipanema.....	FLONA
Índice de Qualidade das Águas Brutas para fins de Abastecimento Público ..	IAP
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis	IBAMA
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	IPEN
Índice de Qualidade das Águas.....	IQA
Instituto de Radioproteção e Dosimetria	IRD
Política Nacional de Meio Ambiente	PNMA
Relatório de Impacto Ambiental	RIMA
Reator Multipropósito Brasileiro	RMB
Secretaria Especial do Meio Ambiente.....	SEMA
Sistema Nacional do Meio Ambiente.....	SISNAMA
Sorocaba e Médio Tietê	SMT
Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos	UGRHI
Valores Máximos Permitidos	VMP

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores Máximos Permitidos (VMP) dos parâmetros analisados que podem ser encontrados na Classe 1 de águas doces para consumo humano pelo CONAMA 396/08 e Valores Orientadores da CETESB 2014.....	41
Tabela 2 – Valores Máximos Permitidos (VMP) dos parâmetros analisados que podem ser encontrados na Classe 2 de águas doces pelo CONAMA 357/05	44
Tabela 3 - Informações Municipais de 2015	67
Tabela 4 – Uso e ocupação do solo dos municípios ao entorno do RMB	68
Tabela 5 – Identificação e localização dos pontos de coleta das amostras	93
Tabela 6 – Método de análise e técnica analítica utilizada nas amostras	106
Tabela 7 - Concentrações de ânions definidos nos 6 pontos da curva analítica.	111
Tabela 8 - Limite de detecção e faixa de trabalho do método utilizado na detecção de ânions	111
Tabela 9 - Limite de quantificação para os ensaios de metais.....	115
Tabela 10 – Erro teórico máximo permitido nas análises de íons maiores por meio da somatória dos ânions ou cátions.....	118
Tabela 11 - Erro teórico máximo permitido nas análises de íons maiores por meio das concentrações de condutividade elétrica.....	118
Tabela 12 – Concentração e média do fluoreto medido nas amostras de água superficiais e subterrâneas nos quatro meses de amostragem, assim como os limites estabelecidos pela legislação	140
Tabela 13 – Concentração e média do cloreto medido nas amostras de água superficiais e subterrâneas nos quatro meses de amostragem, assim como os limites estabelecidos pela legislação	142
Tabela 14 – Concentração e média do nitrato-N medido nas amostras de água superficiais e subterrâneas nos quatro meses de amostragem, assim como os limites estabelecidos pela legislação	144
Tabela 15 – Concentração e média do sulfato medido nas amostras de água superficiais e subterrâneas nos quatro meses de amostragem, assim como os limites estabelecidos pela legislação	145

Tabela 16 - Valores médios e faixa de distribuição dos elementos medidos nas amostras de água superficiais e subterrâneas, assim como os limites estabelecidos pela legislação.....	147
Tabela 17 – Cálculo do balanço iônico nas quatro coletas dos 10 pontos amostrados	167
Tabela 18- Porcentagem dos cátions e ânions para classificação química das amostras de água superficial	169
Tabela 19- Porcentagem dos cátions e ânions para classificação química das amostras de água subterrânea	170
Tabela 20- Classificação química das amostras de água superficial e subterrânea nas quatro campanhas de campo em 2015.	176

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Divisão das redes fluviais do Brasil em 12 bacias hidrográficas	32
Figura 2 - Divisão das UGRHIs no Estado de São Paulo e da sua Sub-bacia.....	33
Figura 3 – Mapa de divisão das sub-bacias da Bacia do Rio Tietê.....	34
Figura 4 - Percurso da água da Bacia do Médio Tietê passando pelo Rio Tietê, Reservatório de Pirapora até a Barragem de Barra Bonita	36
Figura 5 – Média de precipitação na UGRHI 10 em 2015 comparado com a média histórica de 1937 a 2014. Fonte: [41].....	38
Figura 6 – Fases para a realização de um processo de avaliação de impacto ambiental	48
Figura 7 - Localização da área de instalação do RMB	59
Figura 8 - Áreas de Influência do RMB	62
Figura 9 - Área de influência indireta do RMB em relação ao meio socioeconômico	63
Figura 10 - Mapa topográfico da região de estudo.....	64
Figura 11 - Classificação climática de Koeppen do Estado de São Paulo	65
Figura 12– Temperatura do ar e precipitação no município de Iperó - SP	66
Figura 13 – Principais atividades agropecuárias no entorno da região de interesse	68
Figura 14 – Localização da UGRHI 10 no Estado de São Paulo e da sua Sub-bacia	70
Figura 15 – Municípios com área na UGRHI 10.....	71
Figura 16 – Demanda de água e tipo de finalidade na UGRHI 10	73
Figura 17 – Localização do aquífero Tubarão no Estado de São Paulo	75
Figura 18 – Domínios Hidrogeológicos do Estado de São Paulo.....	76
Figura 19 – Mapa geológico do Estado de São Paulo	77
Figura 20 - Índice de Potabilidade da Água Subterrânea por Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos em 2015.....	79
Figura 21– Situação da qualidade das águas subterrâneas da UGRHI 10 no período de 2010 a 2015	79

Figura 22 - Direção do fluxo de águas subterrâneas na área de influência direta e indireta do RMB	81
Figura 23 – Fotografia do Rio Sorocaba em dezembro de 2015.....	82
Figura 24 – Curso d’água do rio Sorocaba e rio Ipanema na área de influência direta pelo RMB.	83
Figura 25 – Curso d’água do Ribeirão do Ferro na área diretamente afetada pelo RMB.	84
Figura 26 – Índice de Qualidade de Água do rio Sorocaba em 2015 monitorado por dois pontos da CETESB	85
Figura 27 – Índice de Qualidade de Água Superficial na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 10 - Tietê/Sorocaba do ano de 2014 para 2015.....	87
Figura 28 – Ocupações humanas encontradas na área da Floresta Nacional de Ipanema	88
Figura 29 – Área da Floresta Nacional de Ipanema em 3D	89
Figura 30 – Localização dos 10 pontos de amostragem na área de estudo	94
Figura 31 - Localização dos seis pontos amostrados de água superficial	95
Figura 32 - Fotos da área e do entorno do ponto RMB-001.....	96
Figura 33 - Fotos da área e do entorno do ponto RMB-002.....	96
Figura 34 - Fotos da área e do entorno do ponto RMB-003.....	97
Figura 35 - Fotos da área e do entorno do ponto RMB-004.....	98
Figura 36 - Fotos da área e do entorno do ponto RMB-010.....	99
Figura 37 - Localização dos pontos amostrados de água subterrânea.....	100
Figura 38 - Localização dos pontos amostrados de água subterrânea.....	100
Figura 39 - Localização dos pontos amostrados de água subterrânea.....	101
Figura 40 – Recipiente plástico utilizado para coleta das amostras de água superficial	102
Figura 41 – Transferência das amostras de água superficial para os frascos de polietileno por meio de um funil acoplado a uma rede filtrante	102
Figura 42 – Fluxograma de preparo das amostras conforme requisito dos ensaios	103
Figura 43 – Procedimento de digestão das amostras de água superficial e subterrânea.....	104

Figura 44 – Esquema do procedimento para a realização do ensaio de alcalinidade nas amostras de água superficial e subterrânea.....	107
Figura 45 – Esquema do procedimento para a realização do ensaio de serie de sólidos.....	109
Figura 46 – Cromatógrafo de íons modelo ICS-2100.....	110
Figura 47 – Esquema de funcionamento do sistema cromatográfico.....	110
Figura 48 – Espectrômetro de absorção atômica utilizado para determinação de cinco elementos (As, Cd, Pb, Se e Hg).....	112
Figura 49 – Sistema de funcionamento do espectrômetro de absorção atômica por meio do diagrama de blocos	112
Figura 50 – Espectrômetro de emissão ótica com fonte de plasma de argônio indutivamente acoplado utilizado para determinação de 24 elementos.	113
Figura 51 – Sistema de funcionamento do ICP-OES por meio do diagrama de blocos.....	114
Figura 52 – Estrutura básica do boxplot em orientação vertical.....	116
Figura 53 - Representação da classificação química pelo diagrama de Piper	120
Figura 54 – Comparação da chuva mensal acumulada por mês em 2015 com a média de chuva acumulada por mês de 1961 - 1990 na região de Sorocaba	124
Figura 55 - Valores de pH nos 6 pontos de água superficial da área de influência do RMB	125
Figura 56 - Valores de pH nos 4 pontos de água subterrânea da área de influência do RMB	125
Figura 57 – Distribuição de pH nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	127
Figura 58 - Valores de temperatura medidos nos 6 pontos de água superficial da área de influência do RMBFonte: autor da dissertação	128
Figura 59 - Valores de temperatura medidos nos 4 pontos de água subterrânea da área de influência do RMB.....	129
Figura 60 – Distribuição de temperatura nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	130
Figura 61 - Valores de alcalinidade medidos nos 6 pontos de água superficial da área de influência do RMB.....	131
Figura 62 - Valores de alcalinidade medidos nos 4 pontos de água subterrânea da área de influência do RMB.....	131

Figura 63 – Distribuição de alcalinidade nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	132
Figura 64 - Valores de condutividade medidos nos 6 pontos de água superficial da área de influência do RMB	133
Figura 65 - Valores de condutividade medidos nos 4 pontos de água subterrânea da área de influência do RMBFonte: autor da dissertação	134
Figura 66 – Distribuição de condutividade nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados Fonte: autor da dissertação	134
Figura 67 - Valores de sólidos dissolvidos totais nos 6 pontos de água superficial da área de influência do RMB	136
Figura 68 - Valores de sólidos totais dissolvidos nos 4 pontos de água subterrânea da área de influência do RMB	136
Figura 69 – Distribuição dos sólidos totais dissolvidos nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados	137
Figura 70 – Relação entre a concentração de sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica nos 10 pontos amostrados	138
Figura 71 – Distribuição do fluoreto nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	141
Figura 72 – Distribuição do cloreto nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	143
Figura 73 – Distribuição do nitrato-N nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	144
Figura 74 – Distribuição do sulfato nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	146
Figura 75 - Concentração de alumínio nos pontos de coleta de água superficial	148
Figura 76 – Distribuição do alumínio nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	149
Figura 77 - Concentração de fósforo nos pontos de coleta de água superficial..	150
Figura 78 – Distribuição do fósforo nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	151
Figura 79 - Concentração de manganês nos pontos de coleta do RMB	152
Figura 80 – Distribuição do manganês nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	153

Figura 81 - Concentração de zinco nos pontos de coleta do RMB	154
Figura 82 – Distribuição do zinco nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	155
Figura 83 - Concentração de ferro nos pontos de coleta do RMB	156
Figura 84 – Distribuição do ferro nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	157
Figura 85 – Distribuição do bário nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	158
Figura 86 – Distribuição do níquel nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	159
Figura 87 – Distribuição do sódio nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	160
Figura 88 – Distribuição do silício nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	161
Figura 89 – Distribuição do estrôncio nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	162
Figura 90 – Distribuição do cálcio nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	163
Figura 91 – Distribuição do potássio nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	164
Figura 92 – Distribuição do magnésio nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados.....	165
Figura 93- Representação da classificação química dos pontos RMB-001 a 010 pelo diagrama de Piper no mês de abril.....	171
Figura 94- Representação da classificação química dos pontos RMB-001 a 010 pelo diagrama de Piper no mês de junho.....	172
Figura 95 - Representação da classificação química dos pontos RMB-001 a 010 pelo diagrama de Piper no mês de setembro	173
Figura 96 - Representação da classificação química dos pontos RMB-001 a 010 pelo diagrama de Piper no mês de dezembro	174
Figura 97- Estatística descritiva dos pontos amostrais de água superficial do entorno do RMB em 2015	177
Figura 98 – Fatores que determinaram os componentes principais das amostras de água superficial do entorno do RMB	178

Figura 99 – Componentes principais das amostras de água superficial do entorno do RMB	178
Figura 100- Dendrograma de linkagem das amostras de água superficial nas quatro campanhas de campo em 2015.....	180
Figura 101- Estatística descritiva dos pontos amostrais de água subterrânea do entorno do RMB em 2015	182
Figura 102 – Fatores que determinaram os componentes principais das amostras de água subterrânea do entorno do RMB	183
Figura 103 – Componentes principais das amostras de água subterrânea do entorno do RMB	184
Figura 104- Dendrograma de linkagem das amostras de água subterrânea nas quatro campanhas de campo em 2015.....	185

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	OBJETIVO.....	26
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	27
3.1	Importância dos recursos hídricos	27
3.2	Legislações ambientais.....	29
3.2.1	Plano de Recursos Hídricos	31
3.2.1.1	Bacia do rio Tietê	34
3.2.2	Enquadramento dos corpos de água em classes	39
3.2.2.1	Águas Subterrâneas	40
3.2.2.2	Águas Superficiais	42
3.2.3	Licenciamento Ambiental.....	45
3.3	Parâmetros de qualidade de água.....	48
3.3.1	Potencial Hidrogeniônico (pH)	49
3.3.2	Temperatura	49
3.3.3	Alcalinidade	50
3.3.4	Condutividade.....	50
3.3.5	Sólidos Totais Dissolvidos	51
3.3.6	Ânions.....	52
3.3.6.1	Fluoreto.....	52
3.3.6.2	Cloreto	52
3.3.6.3	Nitrito-N e Nitrato-N	53
3.3.6.4	Fosfato-P	54
3.3.6.5	Sulfato.....	55
3.3.7	Metais	55
3.4	Indicadores de qualidade de água	57
4	ÁREA DE ESTUDO.....	59
4.1	Áreas influenciadas pelo Reator Multipropósito Brasileiro	60
4.2	Topografia da área do RMB	63
4.3	Clima	64
4.4	Ocupação e uso dos recursos naturais.....	66
4.5	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê/Sorocaba	69
4.6	Água subterrânea	73

4.7	Água Superficial.....	82
4.8	Área de unidade de conservação	88
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	91
5.1	Amostragem	91
5.2	Características dos pontos de coleta	95
5.2.1	Água Superficial.....	95
5.2.1.1	RMB-001.....	95
5.2.1.2	RMB-002.....	96
5.2.1.3	RMB-003.....	97
5.2.1.4	RMB-004.....	97
5.2.1.5	RMB-009.....	98
5.2.1.6	RMB-010.....	98
5.2.2	Água subterrânea	99
5.2.2.1	RMB-005.....	100
5.2.2.2	RMB-006.....	101
5.2.2.3	RMB-007.....	101
5.2.2.4	RMB-008.....	101
5.3	Coleta, preservação e preparo das amostras de água	101
5.3.1	Digestão ácida	104
5.4	Análise das Amostras	105
5.4.1	pH, temperatura e condutividade.....	107
5.4.2	Alcalinidade	107
5.4.3	Sólidos totais dissolvidos	108
5.4.4	Ânions.....	109
5.4.5	Metais e semi-metais.....	111
5.4.6	Validação e Controle de qualidade	115
5.4.7	Boxplot.....	116
5.4.8	Balanço Iônico	117
5.4.9	Classificação Química das Águas	118
5.4.10	Tratamento estatístico de dados.....	121
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	123
6.1	Análise física e química da água	123
6.1.1	pH.....	124
6.1.2	Temperatura	127

6.1.3	Alcalinidade	130
6.1.4	Condutividade	133
6.1.5	Sólidos dissolvidos totais	135
6.2	Ânions	139
6.2.1	Fluoreto	139
6.2.2	Cloreto	141
6.2.3	Nitrato-N	143
6.2.4	Sulfato	145
6.3	Metais e semi metais totais	147
6.3.1	Alumínio	148
6.3.2	Fósforo	149
6.3.3	Manganês	151
6.3.4	Zinco	153
6.3.5	Ferro	155
6.3.6	Bário	157
6.3.7	Niquel	158
6.3.8	Sódio	159
6.3.9	Silício	160
6.3.10	Estrôncio	162
6.3.11	Cálcio	162
6.3.12	Potássio	164
6.3.13	Magnésio	165
6.4	Balanço iônico	166
6.5	Classificação Química das Águas	167
6.6	Análise estatística	176
7	CONCLUSÃO	187
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	189
	APÊNDICES	206

1 INTRODUÇÃO

Nas décadas recentes, o crescimento populacional e o consequente incremento nas atividades industriais vêm contribuindo para a degradação das condições ambientais, afetando a preservação da água superficial e subterrânea [1].

A população têm vivenciado grandes consequências pelo uso inadequado dos recursos naturais, como por exemplo, a poluição dos recursos hídricos, ocasionando doenças, escassez de água, custos elevados para tratamentos de água e esgoto, entre outros. Esta situação vem promovendo a conscientização das pessoas, empresas e indústrias, de que cabe ao homem conservar e garantir a preservação dos mesmos [2].

As empresas e indústrias ganham um papel de destaque nesta garantia, por serem as responsáveis por utilizar grandes quantidades de água em seus processos de lavagens, transferências de calor e como matéria-prima em alguns tipos de produtos, como medicamentos, bebidas, etc. Por este motivo o licenciamento ambiental tornou-se imprescindível para o crescimento de muitas delas e para o controle da qualidade das águas [2].

Qualquer empreendimento ou atividade potencialmente poluidora ou degradadora do meio ambiente deve se submeter obrigatoriamente a uma licença ambiental junto ao órgão responsável em cada caso, para que possa exercer sua atividade legalmente [3].

Sendo assim, o licenciamento ambiental é um procedimento administrativo obrigatório, que antecede a instalação de qualquer empreendimento que cause significativo impacto ambiental ao meio ambiente. Pelo qual o órgão responsável autoriza esse empreendimento ou atividade a

funcionarem, com tanto que o meio ambiente seja utilizado da melhor forma possível [3].

O RMB é um reator nuclear de pesquisa que tem múltiplas finalidades, como contribuir com a aquisição de conhecimento, experiência e formação de recursos humanos, bem como produzir serviços em diversas áreas, como na fabricação de radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear (realização de exames que permitem diagnosticar tumores, doenças cardiovasculares, função renal, problemas pulmonares, neurológicos, entre outros), produção de fontes radioativas usadas em aplicações na agricultura, meio ambiente e indústria (traçadores, análises por Ativação Neutrônica e produção de fontes para Gamagrafia e Irradiadores), realização de testes de irradiação de combustíveis nucleares, entre outros [4].

O empreendimento classificado como instalação nuclear, é gerenciado pela Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento (DPD) da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). É importante para o Brasil porque irá auxiliar o País no fim da forte dependência do fornecimento dos radioisótopos (substâncias que podem ser usadas no diagnóstico e tratamento de doenças), utilizados nos radiofármacos, pelos países estrangeiros [4].

Sendo assim, a construção do RMB tem grande importância na área científica, tecnológica, econômica e social, viabilizando assim políticas públicas e objetivos estratégicos para o País [4].

Para instalação e operação do Empreendimento RMB, conforme prevê a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/1981) e a Resolução CONAMA 237/97, é necessário, além do licenciamento nuclear da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, o processo de licenciamento ambiental junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA [4].

A proposta de construção e operação do Reator Nuclear Multipropósito Brasileiro (RMB) foi estabelecida em 2007 como meta do Plano de Ação em Ciência Tecnologia e Inovação (PACTI) do Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação – MCTI (Linha de Ação 18 do PACTI 2007 – 2010) [4].

Em 2013 foi emitido o EIA-RIMA (Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental) do RMB e foram realizadas diversas audiências públicas até 2014, adequando assim o estudo as exigências do IBAMA. Em 04 de maio de 2015, o IBAMA emitiu a Licença Prévia nº 500/2015, permitindo ambientalmente a continuidade ao planejamento de execução do empreendimento. Sendo a próxima etapa do planejamento, a obtenção da Licença de Instalação [5]

O processo de licenciamento ambiental é constituído por três tipos de licenças, Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação, sendo cada uma exigida em uma etapa específica da obra [6].

A legislação ambiental disciplina o uso racional dos recursos ambientais e a preservação da qualidade ambiental. Um de seus instrumentos, o Decreto nº 88.351/83, posteriormente revogado pelo decreto nº 99.274/90, que regulamentou a Lei nº 6.938/81, posteriormente alterada pela Lei Complementar 140/2011, vincula a utilização da avaliação de impacto ambiental aos sistemas de licenciamento dos órgãos estaduais de controle ambiental para as atividades poluidoras ou mitigadoras do meio ambiente [3].

Os impactos ambientais são definidos pela Resolução do CONAMA nº 001 como:

“qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas no meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem estar da população;

II - às atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais” [7, p. art.1º].

Sendo assim, a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) assegura uma análise sistemática dos impactos ambientais, tendo por objetivo, garantir que responsáveis pela tomada de decisão identifiquem, avaliem e sintetizem os efeitos de um determinado projeto ou programa nas áreas de influência ambiental de um determinado empreendimento. Apresentam soluções adequadas à

população e ao meio ambiente, bem como, geram medidas de controle e proteção, e medidas mitigadoras e compensatórias, conforme o impacto [6].

A alteração da qualidade das águas, superficiais e subterrâneas, poderá ocorrer por meio do lançamento de efluentes sanitários, águas servidas contaminadas, derrames ou vazamentos de óleos, graxas ou produtos químicos, deposição de compostos da atmosfera e excesso de fertilizantes agrícolas nos solos e corpos d'água receptores na região de Iperó. Logo, para avaliar a alteração da qualidade destas águas é necessária a utilização de uma das etapas da avaliação de impactos ambientais, denominada de monitoramento [6].

Para estabelecer o monitoramento da qualidade da água (cursos de águas e fontes subterrâneas), devem-se realizar análises de parâmetros, estabelecidos pelas legislações ambientais vigentes, de forma a disponibilizar estas informações. As mesmas permitirão propor medidas de manejo para manter os ambientes aquáticos disponíveis ao uso proposto. Assim, para assegurar o gerenciamento sustentado dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica e seus múltiplos usos, é importante a avaliação periódica e sistemática da qualidade da água [8].

As legislações ambientais determinam Valores Máximos Permitidos (VMP) para os parâmetros analisados, de acordo com seus usos preponderantes, para as substâncias químicas que podem ser encontradas nos corpos d'água [2].

Dessa forma, a realização de um plano de monitoramento periódico no sentido de garantir a manutenção da qualidade ambiental dos recursos hídricos, em função da complexidade inerente à avaliação da qualidade da água e considerando a água como um dos mais importantes recursos para a sustentação da vida no planeta, o presente trabalho teve como motivação avaliar as características das águas superficiais e subterrâneas por meio de parâmetros físicos e químicos, a fim de obter um panorama da qualidade destas águas, comparando-a com a legislação ambiental e servindo de ferramenta para a licença de instalação, na área de influência do Reator Nuclear Multipropósito Brasileiro (RMB) a ser instalado na área contígua ao Centro Experimental de

Aramar do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP) localizado no município de Iperó, São Paulo.

Assim, o trabalho proposto dará subsídios ao controle do possível impacto que as atividades do RMB possam causar no entorno ambiental, fornecendo um panorama da situação atual dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do campus do RMB.

2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade da água superficial e subterrânea da área de influência do futuro Reator Multipropósito Brasileiro RMB, estabelecendo valores de referência para futuros programas de monitoramento de operações, bem como para licenças e regulamentos ambientais.

Como objetivos específicos esperam-se realizar:

1. Comparação das concentrações dos parâmetros de qualidade da água (pH, temperatura, alcalinidade, condutividade, sólidos dissolvidos totais, ânions e metais totais) com os valores máximos permitidos estabelecidos pela Resolução 357 de 17 de março 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para água superficial e pela Resolução CONAMA 396 de 03 de abril de 2008 para água subterrânea;
2. Classificação química das águas a fim de definir os cátions e ânions majoritários e suas variações sazonais para identificação das características naturais do corpo d'água e aquífero, definindo futuramente quais mudanças podem ser consideradas naturais ou resultantes de fontes antrópicas,
3. Diagnóstico ambiental das águas superficiais e subterrâneas da área em estudo de modo a fornecer um panorama da situação atual da área, que servirá de base para a Implantação dos Programas de Monitoração Ambiental do empreendimento.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura descreve: a importância dos recursos hídricos, as legislações ambientais, os parâmetros físico-químicos avaliados, o balanço iônico, a classificação química das águas, o tratamento estatístico de dados e os indicadores de qualidade de água.

3.1 Importância dos recursos hídricos

O Ciclo Hidrológico responsável por movimentar a água através de rios, mares, lagos, geleiras, água subterrânea e atmosfera, gera condições essenciais para a vida humana [9]. Sua importância está vinculada também ao desenvolvimento de atividades produtivas de usos múltiplos, como a produção industrial, agropecuária, turismo, transporte fluvial, mineração, geração de energia, manutenção das condições ambientais entre outras [10].

Considerada como um recurso de valor econômico e limitado, a água sofre permanentes ameaças de escassez, tanto por condições climáticas/hidrológicas e hidrogeológicas, como por excessiva demanda. Estas ameaças de escassez podem ser mensuradas através da qualidade (isto é, água sem contaminantes e outros organismos que causem problemas de saúde para a população biológica e humana) e quantidade das mesmas [10].

A qualidade das águas varia muito, pois é influenciada pelo clima, litologia, vegetação, ecossistema aquático e ação do homem na região. A variação por influência do homem ocorre devido aos grandes impactos gerados pelos usos múltiplos da água. Os impactos mais frequentes ocorrem por contaminação por metais pesados ou substâncias orgânicas, aumento do material em suspensão, acidificação e aumento da incidência e dispersão de doenças de veiculação hídrica [10].

Já a quantidade total de água no Planeta Terra é fixa, mas sua distribuição não é uniforme. Assim os maiores volumes de água encontrados são salgados (oceanos) (97,5%) e uma pequena quantidade é de água doce (2,5%), sendo que a maior parcela desta se encontra nas calotas polares em forma de geleiras (68,9%). Desta pequena quantidade de água doce (2,5%), apenas uma parte ainda menor está em condições de ser explorada física e economicamente pelo homem, sendo elas, as águas superficiais (rios e lagos) ($\cong 0,3\%$) e as águas subterrâneas ($\cong 30\%$), que se encontram armazenadas no subsolo, em rochas denominadas de aquíferos [9].

Segundo o Governo do Estado de São Paulo [9, p. 13], “o Estado de São Paulo possui uma disponibilidade hídrica média de 2.209 m³/habitante/ano, que poderia ser considerada muito boa”, se os centros de consumo não fossem tão concentrados. Devido ao desequilíbrio entre a demanda, a oferta e os elevados níveis de poluição, a Região Metropolitana de São Paulo tem sofrido com o aumento da vulnerabilidade dos mananciais superficiais, acarretando assim problemas de escassez e elevados custos de tratamento para fins de abastecimento público.

Sendo assim, uma boa alternativa para o atendimento das demandas de todos os segmentos usuários é a exploração das águas subterrâneas. A água subterrânea é um recurso considerado abundante, com qualidade, tem uma maior capacidade de autoproteção quanto à contaminação em relação às águas superficiais por conta de sua natureza, o custo de captação é relativamente baixo, entre outras vantagens. No entanto, por não serem tão visíveis, chamam menos atenção da sociedade e dos órgãos responsáveis, logo a proteção dos mesmos contra qualquer tipo de poluição mostra-se de extrema importância [9].

Diante da importância dos recursos hídricos, os processos destinados à preservação das águas superficiais e subterrâneas são de grande diversidade, desde ferramentas para o monitoramento da qualidade da água até ações de gerenciamento ambiental, todos estabelecidos pelas legislações ambientais [11].

3.2 Legislações ambientais

Devido a grande importância dos recursos hídricos, foram criadas legislações federais, estaduais e nacionais visando proteger e gerenciar os mesmos para a viabilização e planejamento de seus diversos usos [11].

Em 1923 com o Decreto 16.300 [12], publicou-se a primeira legislação no Brasil que demonstra preocupação com o meio ambiente, tratando da saúde pública e serviços de higiene para com a população.

Considerando que o uso das águas no Brasil não era administrado por uma legislação que visasse às necessidades e interesses nacionais, em 10 de Julho de 1934, por meio do Decreto 24.643 [13], (posteriormente modificado pelo Decreto-Lei 852/38 [14]), foi declarado o Código das Águas. Este estabeleceu a criação de uma legislação que permitiu ao poder público incentivar e controlar o aproveitamento industrial das águas, criar mecanismos que proporcionassem o acesso público e a utilização sustentável dos recursos hídricos e regulamentasse sua utilização como fonte geradora de energia elétrica.

Em 1972, em Estocolmo, por meio da Assembleia Geral das Nações Unidas sobre Meio Ambiente, a questão ambiental começou a ser discutida em vários países, iniciando-se assim discussões sobre um modelo de gestão da água [11].

A partir desta visão global consolidada, o Brasil iniciou a adequação do modelo de gestão das águas por meio da criação de diversos documentos. Em 1973 com o Decreto 73.030 [15], estabeleceu a criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA), introduzindo o conceito de proteção à natureza, equilíbrio ecológico e preservação de espécies. Em 1981 foi criada a Lei Federal nº 6.938 [16], que dispõem sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e seus fins, bem como, os mecanismos de formulação e aplicação. E em 1983 com o Decreto 88.351 [17] (modificado pelo Decreto 91.305/85 [18]), que definiu a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), a criação do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Com a publicação da Constituição Federal de 1988 [19] (Capítulo VI – Do meio ambiente - artigo 225) e da Constituição Estadual de 1989 [20], posteriormente alterada pelas Emendas Constitucionais nº 1/1990 a 28/2009 [21] (secção II – Dos recursos hídricos – art.205), foram abordadas diversas questões sobre os recursos hídricos. Definindo assim diretrizes para a preservação e gestão dos mesmos: a instituição do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, veto ao lançamento de efluentes sem tratamento em corpos d'água, a participação social na gestão da água e dos recursos naturais como um dever fundamental e a criação de programas de proteção das águas subterrâneas, entre outros.

A gestão de recursos hídricos no Brasil foi implantada com base nos aspectos ligados às águas superficiais, sendo a legislação federal mais antiga correlacionada às águas subterrâneas, com exceção do Código de Águas de 1934, as legislações sobre a proteção do meio ambiente (Constituição Federal de 1988 – Art.20 [19]), qualidade da água para consumo humano (Resolução 309/99 revogada e substituída pela Resolução ANVISA RDC nº 274/05 [22]) e legislação de águas minerais (Decreto nº 7.841, de 1945 [23]) [24].

A percepção da importância de estabelecer normas gerais, em âmbito nacional para as questões das águas subterrâneas iniciou-se em 1999 por meio de discussões sobre o Projeto Aquífero Guarani, com a criação da Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH em 2000 e a aprovação da resolução CNRH nº 15, em 2001 [25]. Depois destas outros decretos e leis foram criados como o decreto n. 4.297, de 10 de julho de 2002 [26], que estabelece critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil – ZEE, as Resoluções do CONAMA n ° 303, de 2002 [27], que dispõe sobre parâmetros, definições e limites de áreas de preservação permanente e o CONAMA n ° 335, de 2003 [28], que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios [24]

O Estado de São Paulo, por meio da Lei Estadual nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991 [29], foi o primeiro a adotar uma política de recursos hídricos. Esta Lei estabeleceu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos e ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos

(PERH). Estabeleceu também no artigo 3º - parágrafo II, a “bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento” [30, p. 12].

Entretanto, o marco na gestão dos recursos hídricos do Estado de São Paulo ocorreu em 1994 com a Lei nº 9.034 [31]. A partir desta Lei foram definidas diretrizes gerais do Plano Estadual de Recursos Hídricos e critérios gerais para o gerenciamento dos mesmos [30].

Em 1997 é promulgada a Lei Federal 9.433 [32], que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Estabelecendo como instrumentos de gestão de recursos hídricos, a outorga de direito de uso da água, cobrança pelo uso do recurso hídrico, sistema de informações sobre Recursos Hídricos, o plano de recursos hídricos e o enquadramento dos corpos d'água.

3.2.1 Plano de Recursos Hídricos

O plano de recursos hídricos visa orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos em concordância com a Lei Estadual 7.663/91 [29] e Lei Federal 9.433/97 [32] e busca gerenciar os recursos hídricos sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável e da inclusão social, estabelecendo diretrizes e políticas públicas direcionadas para a melhoria da quantidade e qualidade das águas superficiais e subterrâneas, diminuição de conflitos existentes e potenciais do uso da água e diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos da região [11].

Segundo o Art. 8º da Lei 9.433/97 [32] os “Planos de Recursos Hídricos serão elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o País”.

Bacia hidrográfica é um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formadas sempre das áreas mais altas para as mais baixas por divisores de água, onde as precipitações escoam superficialmente formando os rios ou infiltram no solo para formação do lençol freático e nascentes [33].

O Brasil possui uma das mais diversificadas e extensas redes fluviais do mundo e foi dividida em 12 bacias hidrográficas pela Resolução Nº 32 [34] do Conselho Nacional de Recursos Hídricos em 15 de outubro de 2003 [35](Figura 1)

Figura 1 - Divisão das redes fluviais do Brasil em 12 bacias hidrográficas

Fonte: [36]

Segundo a Lei 9.433/97 [32] no Art.1º “a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades”, para esta finalidade foram criados os Comitês de Bacias Hidrográficas.

Os Comitês de Bacias Hidrográficas segundo a Lei 7.663/91, no artigo 22, parágrafo II [29] foram criados como órgãos colegiados, consultivos e deliberativos, composto por grupos de pessoas, provavelmente com diferentes visões e atuações (sociedade civil, órgãos estaduais e federais, municípios), que se reúnem para discutir sobre o uso d’água (abastecimento urbano, irrigação agrícola, uso industrial, seja para geração de energia elétrica ou outros) em cada bacia hidrográfica [33].

Os comitês têm muitas atribuições, como aprovar o Plano de Recursos Hídricos da Bacia, arbitrar conflitos para uso da água, estabelecer mecanismos e sugerir valores de cobrança pelo uso da água, entre outros. Anualmente elaboram Relatórios de Situação de suas regiões de gestão, onde apresentam um panorama dos recursos hídricos em todo o Estado por meio de monitoramento e

avaliação da situação das águas, reconhecendo problemas e estabelecendo ações de melhorias, além de informar a população sobre a qualidade das águas [30].

Em 1994, por meio da Lei nº-9.034 [31], o estado de São Paulo foi dividido em vinte e duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) ou vinte e duas sub-bacias (áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal) (Figura 2), com base nas bacias hidrográficas e diversos aspectos físicos (hidrogeológicos, climáticos, ambientais), sociais (desenvolvimento socioeconômico) e políticos (acordo político) [11].

Esta divisão foi realizada para que cada comitê de bacia hidrográfica fosse responsável por gerenciar uma região específica delimitada e também por facilitar a apresentação dos dados e discussão com a sociedade da região hidrográfica [11].

Figura 2 - Divisão das UGRHIs no Estado de São Paulo e da sua Sub-bacia

Fonte: [30, p. 13]

Tietê compreende o trecho do Rio Tietê desde a saída do Reservatório de Pirapora até a Barragem de Barra Bonita e seus principais afluentes são os rios Jundiaí, Capivari e Piracicaba na margem direita e o rio Sorocaba na margem esquerda (Figura 4) [39].

Figura 4 - Percurso da água da Bacia do Médio Tietê passando pelo Rio Tietê, Reservatório de Pirapora até a Barragem de Barra Bonita

Fonte: [39, p. 12]

O Rio Sorocaba é formado pelos rios Sorocabuçu e Sorocamirim, cujas cabeceiras se encontram nos municípios de Ibiúna, Cotia, Vargem Grande Paulista e São Roque, com seu trecho superior no Planalto Atlântico e o restante na Depressão Periférica e nos afloramentos de terrenos do Grupo Tubarão [39]

“A geologia da UGRHI 10 é constituída por rochas de idades variadas, desde o Pré-Cambriano até o Cenozóico. Sendo composta pelas unidades estratigráficas do Embasamento Cristalino, Grupo Tubarão (Formações Itararé e Tatuí), Grupo Passa Dois (Formações Irati e Corumbataí), Grupo São Bento (Formações Piramboia, Botucatu e Serra Geral), Grupo Bauru (Formação Marília) e Sedimentos Cenozoicos” [40, p. 13]

Sendo a área em estudo inserida no Grupo Tubarão, subdividido em dois ciclos: o inferior glacial representado pelo Subgrupo Itararé e o superior pós glacial conhecido como Formação Tatuí [39]

O Subgrupo Itararé

“é constituído predominantemente de arenitos finos a grosseiros, lamitos e diamictitos nas partes superior e inferior, enquanto a parte média é constituída por arenitos finos, siltitos e lamitos. Os arenitos são em geral feldspáticos ou arcossianos e formam corpos psamíticos com estruturas sedimentares” [40, p. 14].

Formação Tatuí é

“assentada em discordância sobre o Itararé, marca o início do ciclo Pós-Glacial no Permiano Superior. Essa formação corresponde a uma transgressão marinha, sendo representada no membro inferior por siltitos e arenitos muito finos de cor marrom avermelhada e no membro superior por siltitos de cores claras, amarelas e esverdeadas, intercalando corpos acanalados de arenitos” [40, p. 14].

Os aquíferos que ocorrem na região são: Sistema aquífero Cristalino, Tubarão, Botucatu, Basalto, Aquítarde Passa Dois e Aquífero Marília. Em cada um dos sistemas, a circulação de água e o armazenamento ocorrem de uma maneira, logo são classificados em três grupos de acordo com suas características litológicas, sendo eles: Meios de porosidade predominante granular (Tubarão,

Botucatu e Marília), meios de porosidade de fissuras (Cristalino e Basalto) e porosidade mista, granular e por fissuras (Passa Dois) [40].

Aquíferos são reservatórios subterrâneos de água, formados por camadas geológicas permeáveis que armazenam e transmitem água, sendo no ciclo hidrológico sua função natural o de alimentar o fluxo de base dos rios [35].

Podem ser classificados quanto ao tipo de porosidade da rocha armazenadora e forma de circulação da água em sedimentares ou granulares e fraturados. Os Aquíferos Sedimentares ou Granulares são constituídos por sedimentos depositados pela ação dos rios, vento e mar, onde a água circula entre os poros, como se fosse uma esponja e permanece temporariamente armazenada nos vazios entre os grãos minerais. Já os Aquíferos Fraturados são formados por rochas ígneas (resfriamento do magma, por exemplo, granito) e metamórficas (xistos, quartzitos, metacalcários etc), que são geralmente rochas duras e compactadas e que não apresentam espaços vazios entre os minerais, logo a água circula por fissuras [35].

A média do volume anual de precipitação na UGRHI 10 aumentou no ano de 2015 quando comparado à média histórica de 1937 a 2014, com maior intensidade nos meses de fevereiro, setembro e novembro e menor nos meses de abril, junho e agosto (Figura 5).

Figura 5 – Média de precipitação na UGRHI 10 em 2015 comparado com a média histórica de 1937 a 2014.

Fonte: [41]

3.2.2 Enquadramento dos corpos de água em classes

O enquadramento dos cursos d'água é um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos que foi implementado segundo os usos preponderantes da água, com o intuito de “assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas” e a “diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes” (Art. 9º, Lei nº 9.433, de 1997 [32]).

Para o enquadramento dos cursos d'água é necessário planejamento e não somente classificação, logo é importante uma visão global da bacia para a definição dos usos prioritários de cada trecho de rio da bacia, definição de metas de qualidade de água e estratégias em longo prazo e garantia de qualidade e quantidade do uso da água, por meio do plano de bacia [11].

O enquadramento dos corpos d'água passa por três fases, primeiro pela definição dos objetivos de qualidade da água, não se baseando somente no estado atual de qualidade desta água, mas também na qualidade necessária para atender as necessidades definidas pela sociedade. Segundo pela avaliação atual da qualidade dos corpos d'água e terceiro pela efetivação do enquadramento, levando em consideração as duas primeiras fases [11].

Para o enquadramento classificatório dos corpos d'água de dominialidade estadual utiliza-se o Decreto Estadual nº 10.755/77 [42] e o Decreto nº 8.468/76 [43] para a obediência às classes associadas aos usos preponderantes planejados.

Já para o enquadramento dos corpos d'água de dominialidade federal foram consideradas diversas Leis e Resoluções como: a Lei nº 6.939 [44] de agosto de 1981, que assegura a melhoria e preservação da qualidade da água através do estabelecimento de padrões de qualidade ambiental, a Resolução CONAMA 20/86 [45] que trata da classificação das águas em nove classes e estabelece limites para a emissão de efluentes, a Lei nº 9.433 [32] de 8 de janeiro de 1997 em seus artigos 9º e 10º, que trata do enquadramento dos corpos d'água em classes, a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos CNRH nº 12/00 [46] (revogada pela Resolução CNRH nº 91/08 [47]) até chegar à

legislação federal vigente para água subterrânea que é a CONAMA 396/08 [48] e a CETESB N° 045/2014/E/C/I [49].

O CONAMA 396/08 “define classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e da outras providências” e a CETESB N° 045/2014/E/C/I [49] “dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo - 2014, em substituição aos Valores Orientadores de 2005 e dá outras providências”.

Para os corpos d água a Resolução CONAMA 357/05 [50] (substituiu a Resolução CONAMA 20 e foi alterada pelas Resoluções CONAMA 397/08 [51] e 430/11 [52]), e “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”.

3.2.2.1 Águas Subterrâneas

Segundo o CONAMA 396/08 [48] no Art.3º, as águas subterrâneas são classificadas em: Classe Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3, Classe 4 e Classe 5 devido a sua qualidade e uso preponderante.

As águas subterrâneas da área em estudo tem seu uso preponderante para consumo humano [4] logo devem ser enquadradas como águas de classe 1 , que segundo o CONAMA 396/08 art. 3º - parágrafo II [48]:

“Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeológicas naturais”

Os Valores Máximos Permitidos- VMP estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/08 [48] e Valores Orientadores da CETESB [49] para o uso preponderante (consumo humano) da água subterrânea na área de estudo para os 35 parâmetros estudados neste trabalho estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores Máximos Permitidos (VMP) dos parâmetros analisados que podem ser encontrados na Classe 1 de águas doces para consumo humano pelo CONAMA 396/08 e Valores Orientadores da CETESB 2014.

Água Subterrânea	Valores Orientadores da CONAMA 396/2008 CETESB	
	CETESB, 2014 (mg L ⁻¹)	Consumo Humano (mg L ⁻¹)
Alumínio (Al) total **	-	0,2
Arsênio (As) total	0,01	0,01
Bário (Ba) total	0,7	0,7
Berílio (Be) total **	-	0,004
Boro (B) total	2,4	0,5
Cádmio (Cd) total	0,005	0,005
Chumbo (Pb) total	0,01	0,01
Cobalto (Co) total	0,07	-
Cobre (Cu) total	2	2
Cromo ou Crômio (Cr) total	0,05	0,05
Ferro (Fe) total **	-	0,3
Manganês (Mn) total **	-	0,1
Mercurio (Hg) total	0,001	0,001
Molibdenio (Mo) total	0,03	0,07
Níquel (Ni) total	0,07	0,02
Prata (Ag) total	0,05	0,1
Selênio (Se) total	0,01	0,01
Sódio (Na) total **	-	200
Vanádio (V) total **	-	0,05
Zinco (Zn) total	1,8	5
Fluoreto (F) **	-	1,5
Cloreto (Cl) **	-	250
Nitrito expresso em N (NO ₂ ⁻) **	-	1
Nitrato expresso em N (NO ₃ ⁻) **	-	10
Sulfato (SO ₄ ²⁻) **	-	250
Sólidos dissolvidos totais **	-	1000
Cálcio (Ca) total * **	-	-
Estanho (Sn) total * **	-	-
Estrôncio (Sr) total * **	-	-
Fósforo (P) total * **	-	-
Lítio (Li) total * **	-	-
Magnésio (Mg) total * **	-	-
Potássio (K) total * **	-	-
Silício (Si) total * **	-	-
Titânio (Ti) total * **	-	-

* Não possuem VMP na Resolução CONAMA 396/08;

** Não possuem VMP nos Valores Orientadores da CETESB (2014);

Total: amostra coletada, digerida com ácido e analisada;

Fonte: [48]; [49].

3.2.2.2 Águas Superficiais

Segundo o CONAMA 357/05 [50] as águas em todo o Território Nacional são classificadas em salobras (salinidade superior a 0,5 % e inferior a 30 %), salinas (salinidade igual ou superior a 30 %) e doces (salinidade igual ou inferior a 0,5 %) (Art.2º) e segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade: Águas Doces (Classe especial, 1,2,3 e 4); Águas Salinas (Classe especial, 1,2 e 3); Águas Salobras (Classe especial, 1,2 e 3) (Art.3º).

Além disso, estabelece limites individuais para cada substância em cada classe, denominados de Valores Máximos Permitidos (VMP) dos parâmetros de qualidade estabelecidos em legislação. Dessa forma, os resultados obtidos no monitoramento das águas doce, salobra e salina são comparados com os respectivos padrões de qualidade das classes de enquadramento, de cada corpo d'água.

“Os corpos d'água de água doce já foram enquadrados pelo decreto Estadual 10.755 de 1977. No entanto, as águas salinas e salobras ainda não foram enquadradas, devendo, portanto, atender aos padrões de classe 1, conforme artigo 42 da Resolução CONAMA 357/2005. Este artigo estabelece que, para os estados que não possuem aprovados os enquadramentos específicos, as águas doces serão consideradas Classe 2 e as águas salinas e salobras Classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, determinando a aplicação da correspondente Classe mais rigorosa” [53, p. 23]

As águas superficiais são enquadradas como águas doces de classe 2, devido o principal curso d'água da região, Rio Sorocaba, ser classe 2 [54].

Segundo CONAMA nº 357/05, art. 4- parágrafo III [50], as águas doces classificadas como 2, podem ser destinadas:

- “a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;

- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) à aquicultura e à atividade de pesca” [50, p. 4].

Os valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA 357/05 para água superficial para os 35 parâmetros analisados neste trabalho estão apresentados na Tabela 2 [50].

Tabela 2 – Valores Máximos Permitidos (VMP) dos parâmetros analisados que podem ser encontrados na Classe 2 de águas doces pelo CONAMA 357/05

Água Superficial	CONAMA 357/2005 Corpos d'água (mg L ⁻¹)
Elemento	CLASSE 2
Alumínio (Al) dissolvido	0,1
Arsênio (As) total	0,01
Bário (Ba) total	0,7
Berílio (Be) total	0,04
Boro (B) total	0,5
Cádmio (Cd) total	0,001
Chumbo (Pb) total	0,01
Cobalto (Co) total	0,05
Cobre (Cu) dissolvido	0,009
Cromo ou Crômio (Cr) total	0,05
Ferro (Fe) dissolvido	0,3
Manganês (Mn) total	0,1
Mercurio (Hg) total	0,0002
Níquel (Ni) total	0,025
Prata (Ag) total	0,01
Selênio (Se) total	0,01
Vanádio (V) total	0,1
Zinco (Zn) total	0,18
Lítio (Li) total	2,5
Fósforo (P) total	0,030 em ambientes lênticos 0,050 em ambientes intermediários
Fluoreto (F) total	1,4
Cloreto (Cl) total	250
Nitrito expresso em N (NO ₂ ⁻)	1
Nitrato expresso em N (NO ₃ ⁻)	10
Sulfato (SO ₄ ²⁻) total	250
Sólidos dissolvidos totais	500
Cálcio (Ca) total *	-
Estanho (Sn) total *	-
Estrôncio (Sr) total *	-
Magnésio (Mg) total *	-
Molibdenio (Mo) total *	-
Potássio (K) total *	-
Silício (Si) total *	-
Sódio (Na) total *	-
Titânio (Ti) total *	-

* Não possuem VMP na Resolução CONAMA 357/05;
 Total: amostra coletada, digerida com ácido e analisada e
 Dissolvida: amostra coletada, filtrada e analisada.
 Fonte: [50]

Os Valores Máximos Permitidos para cada classe estabelecida na Resolução CONAMA 357/05 são determinados por meio de estudos científicos que analisam os possíveis micro-organismos e substâncias que podem ser encontradas na água, limitando assim as quantidades que cada contaminante pode ser ingerido sem que prejudiquem a vida aquática ou os seres humanos [55].

Como ferramenta de controle para as legislações e resoluções apresentadas até o momento, destaca-se o processo de licenciamento ambiental.

3.2.3 Licenciamento Ambiental

O Licenciamento ambiental surgiu em meados da década de 1970 no Brasil, sendo incorporado à legislação federal como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente no Art.9, Inciso IV [16] como “licenciamento e revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras”, exigindo no Art.10 que não somente qualquer atividade causadora de poluição, mas também qualquer forma de degradação da qualidade ambiental na construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos ou atividades utilizadoras de recursos naturais, dependiam do licenciamento prévio do órgão competente [6].

Em 1983 com o Decreto nº 88.351 [17], revogado e substituído posteriormente em 1990 pelo Decreto nº 99.274 [56], o licenciamento na legislação federal foi mais detalhado estabelecendo ao poder público, três tipos de licenças: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO), sendo possível somente em 2002 encontrar na legislação ambiental brasileira obrigações relativas ao encerramento de atividades [6].

A Licença Prévia (LP) é solicitada na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade. É nesta etapa que são realizados todos os estudos ambientais preliminares necessários para avaliação dos impactos ambientais que o projeto poderá ocasionar para o meio ambiente, contendo os requisitos básicos de aprovar a viabilidade ambiental e localização do projeto estabelecendo requisitos básicos para as demais fases. Desta forma, esta etapa é vista como a mais importante das três licenças. A Licença de Instalação (LI) autoriza o início da implantação do projeto, de acordo com as especificações

aprovadas na LP. Já a Licença de Operação (LO) aprova o funcionamento do empreendimento ou atividades, após verificação de que todos os requisitos das demais licenças estão sendo atendidas [6].

É também no Decreto 99.274/90 no art.17 que fica determinado o vínculo entre o licenciamento ambiental e os estudos de impacto ambiental (EIA), estabelecendo que “caberá ao CONAMA fixar os critérios básicos, segundo os quais serão exigidos estudos de impacto ambiental para fins de licenciamento” [56].

O EIA é um relatório técnico elaborado por uma equipe multidisciplinar que analisa em todos os aspectos (físico, biológico e socioeconômico) a área que sofrerá modificações, além de atender aos princípios da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente. É o documento mais importante do processo de avaliação de impacto ambiental, pois é com base nele que as principais decisões em relação a viabilidade ambiental de um projeto são tomadas [6].

Tornando-se hoje um dos principais instrumentos de gestão ambiental, o Licenciamento Ambiental é um procedimento administrativo onde o órgão competente, no caso do Estado de São Paulo é a CETESB, pode ser disciplinado pelos três níveis de governo [57]. Em 1981 com a Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) [16] foi estabelecido que coubesse ao governo federal, representado pelo Ibama, licenciar em caráter supletivo. Já em 1989 com a Lei nº 7.084 que alterou a PNMA, o Ibama passou a licenciar em um campo específico e com a Resolução CONAMA nº 237/97 as competências foram ainda mais delimitadas, inclusive dos municípios [6]. Logo, o Ibama é responsável pelo licenciamento de “empreendimentos e atividades com significativo impacto ambiental de âmbito nacional ou regional” ([16] Art.10, §4):

“I - localizadas ou desenvolvidas conjuntamente no Brasil e em país limítrofe; no mar territorial; na plataforma continental; na zona econômica exclusiva; em terras indígenas ou em unidades de conservação do domínio da União.

II - localizadas ou desenvolvidas em dois ou mais Estados;

III - cujos impactos ambientais diretos ultrapassem os limites territoriais do País ou de um ou mais Estados;

IV - destinados a pesquisar, lavrar, produzir, beneficiar, transportar, armazenar e dispor material radioativo, em qualquer estágio, ou que utilizem energia nuclear em qualquer de suas formas e aplicações, mediante parecer da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN;
V- bases ou empreendimentos militares, quando couber, observada a legislação específica “([57] Art.4^o)

A Resolução CONAMA 1/86 é a primeira norma de referência para avaliação de impacto ambiental (AIA) no Brasil, estabelecendo orientações básicas para a preparação de um estudo de impacto ambiental, mantendo até hoje os princípios essenciais do processo inalterados [6].

A lei mais atual que responde ao Licenciamento ambiental é a Lei Complementar 140 de 8 de dezembro de 2011 [58], que regulamenta os incisos III, VI e VII do art. 23 da Constituição Federal de 1988, fixando normas para a comum competência administrativa entre os Municípios, Estados, União e o Distrito Federal, em relação à proteção, conservação e ao licenciamento [3].

A avaliação de impacto ambiental é um instrumento de política pública ambiental, que tem como finalidade analisar os impactos ambientais de qualquer atividade antrópica que possa acarretar significativas degradações na qualidade do meio ambiente, ajudando na decisão, concepção e planejamento de projetos e servindo de instrumento para a negociação social e a gestão ambiental [6].

Para a realização da AIA são necessárias 8 etapas (Figura 6), sendo elas: apresentação de uma proposta, triagem para selecionar dentre as ações humanas aquelas que tenham um potencial de causar alterações ambientais significativas, determinação do escopo do estudo de impacto ambiental (para casos que seja necessário a realização do EIA), elaboração do estudo de impacto ambiental, análise técnica do estudo de impacto ambiental, consulta pública, decisão (aprovação ou reprovação), monitoramento e gestão ambiental e acompanhamento dos cumprimentos de todos os compromissos assumidos [6].

Figura 6 – Fases para a realização de um processo de avaliação de impacto ambiental

Fonte: [6, p. 96]

A etapa de monitoramento e gestão ambiental é muito importante, pois permite confirmar que todas as previsões feitas no estudo de impacto ambiental estão atendendo os requisitos aplicáveis e também a obtenção de informações quantitativas e qualitativas, sendo possível assim, se necessário, alertar sobre correções e ajustes [6].

Segundo Sargaonkar e Deshpande [59], a qualidade da água pode ser definida por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos. Portanto, o presente estudo avaliou a qualidade no corpo da água da área de estudo por meio dos parâmetros de qualidade de água (parâmetros físico-químicos) e suas conformidades estabelecidas na legislação.

3.3 Parâmetros de qualidade de água

Os parâmetros de qualidade de água analisados nas águas superficiais e subterrâneas foram: pH, temperatura, condutividade, alcalinidade, sólidos dissolvidos totais, ânions e metais totais.

3.3.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH (potencial hidrogeniônico), característica química da água, é utilizado para representar a “atividade do íon hidrogênio na água de forma logaritmizada, resultante inicialmente da dissociação da própria molécula da água e posteriormente acrescida pelo hidrogênio proveniente de outras fontes” [60, p. 136]. Representa o equilíbrio entre íons H^+ e OH^- o pH igual a sete, podendo variar de 7 a 14, indicando se a água é ácida (pH inferior a 7), neutra (pH igual a 7) ou alcalina (pH maior que 7) [35].

A mudança do pH nos corpos d'água pode ocorrer tanto por descarga de efluentes industriais ácidos (predomínio de H^+) ou alcalinos (predomínio de OH^-) por exemplo, como por processos bioquímicos que ocorrem naturalmente na água [35].

A influência do pH ocorre diretamente sobre a fisiologia das diversas espécies dos ecossistemas aquáticos e indiretamente por contribuir com reações como a precipitação química de metais tóxicos, a quebra de emulsões oleosas mediante acidificação, o arraste de amônia convertida à forma gasosa, efeitos sobre a solubilidade de nutrientes entre outros. Portanto estabelece-se que na legislação federal (Resolução CONAMA nº 357/05) e na legislação do Estado de São Paulo (Decreto 8468/76) o intervalo de pH aceito para as classes de águas naturais deve estar entre 6 e 9 para que a água mantenha sua condição de qualidade [60].

3.3.2 Temperatura

A temperatura, característica física da água, é uma condição ambiental muito importante, pois “a temperatura influencia processos biológicos, reações químicas e bioquímicas que ocorrem na água e também outros processos como a solubilidade dos gases dissolvidos” [61, p. 498] e aumento total de sólidos dissolvidos. Sob o aspecto referente à biota aquática, a maior parte dos organismos possui faixas de temperatura “ótimas” para a sua reprodução [60].

A temperatura das águas superficiais e subterrâneas (poços pouco profundos) varia de acordo com o regime climático normal, correspondendo ao

valor médio da temperatura do meio ambiente, acompanhando variações sazonais e diurnas [62].

Diversos fatores podem influenciar a temperatura da água, tanto fontes naturais como a latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade, como fatores antropogênicos como despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas [63]

Cabe ressaltar, que a resolução 357/05 e 396/08 do CONAMA não recomendam limites aceitáveis de temperatura.

3.3.3 Alcalinidade

A alcalinidade de uma amostra de água é causada primeiramente por sais do ácido carbônico, ou seja, bicarbonatos e carbonatos, e os hidróxidos, quase sempre metais alcalinos ou alcalino-terrosos (sódio, potássio, cálcio, magnésio etc) e secundariamente por sais de ácidos fracos como fosfatos, sulfetos, amônia etc, sendo definida pela capacidade quantitativa de reagir com um ácido forte até um determinado pH [60]. A alcalinidade “se refere à quantidade de ânions ou espécies moleculares de ácidos fracos que podem ser determinados por titulação com ácido” [62].

Algumas substâncias em solução, por outro lado, contribuem para a diminuição da alcalinidade, produzindo H^+ como na hidrólise dos cátions alumínio, ferro e zinco [62].

A alcalinidade da água não apresenta risco potencial à saúde pública. É um parâmetro que não faz parte do padrão de potabilidade, da classificação das águas naturais e nem de emissão de esgoto, mas é de grande importância na indicação de atividades biológicas e antrópicas, uma vez que o corpo de água com alta alcalinidade indica maior produção de gás carbônico e maior bioatividade. [60].

3.3.4 Condutividade

“A condutividade elétrica é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica” [35, p. 243].

Segundo Macêdo [61, p. 500] “a condutividade elétrica da água é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se associam em ânions e cátions”. De acordo com Paganini [11, p. 171] “a condutividade está relacionada com a presença dessas partículas dissolvidas na água, carregadas eletricamente, sendo diretamente proporcional à quantidade desses íons dissolvidos” e da temperatura. Os principais íons responsáveis pelos valores de condutividade, em águas continentais, são o cálcio, potássio, sódio, magnésio, sulfatos, cloretos, carbonatos e carbonetos, sendo um bom indicador de impactos ambientais (geralmente níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$) decorrentes de lançamentos industriais, dentre outros, porém sem determinar quais são os íons presentes na água [11] [64].

Cabe ressaltar, que a resolução 357/05 e 396/08 do CONAMA não recomendam limites aceitáveis de condutividade.

3.3.5 Sólidos Totais Dissolvidos

Segundo Macêdo [61, p. 498], “todas as impurezas da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos presentes nos corpos d’água”, sendo estes determinados por meio da distribuição das partículas com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos) e com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) [35].

Sólidos Totais Dissolvidos é a soma dos teores de todos os constituintes minerais presentes na água, sendo uma das principais aplicações para a determinação dos mesmos, a qualidade estética da água potável e como indicador agregado da presença de produtos químicos contaminantes [65].

“A presença de sólidos nas águas naturais pode ser caracterizada tanto pela presença de matéria em suspensão como dissolvida na massa líquida, interferindo na passagem de luz e, conseqüentemente, no ciclo biodinâmico” [35, p. 219].

Para as águas doces classe 1, 2 e 3 segundo a Resolução CONAMA 357, o valor máximo estabelecido para sólidos totais dissolvidos para abastecimento público de água é de 500 mg L^{-1} , valendo também para águas de

irrigação, pois o excesso de sólidos dissolvidos pode causar graves problemas de salinização do solo e na vida aquática, constituindo preocupação para uso industrial e agrônômico [60].

O parâmetro sólidos totais dissolvidos está diretamente relacionado com a condutividade, sendo que quanto mais sólidos dissolvidos estiverem presentes na água, maior será a condutividade [60].

3.3.6 Ânions

A detecção dos componentes iônicos é importante para fornecer uma indicação da força iônica e do potencial relativo de oxidação/ redução de uma amostra [66].

3.3.6.1 Fluoreto

Desde 1974, conforme a Lei Federal Nº 6.050 [67], é obrigatório no Brasil a fluoretação das águas na estação de tratamento, devido os fluoretos terem ação benéfica na sociedade, quando encontrado em níveis estabelecidos pela legislação, na prevenção da cárie dentária e maléfica, quando encontrado acima do limite estabelecido pela legislação, por poder provocar alterações na estrutura óssea e frutose dentária (manchas escuras nos dentes) [35].

Esta concentração limite para o íon flúor (F^-) foi estabelecida em 1975 pela Portaria 635 [68], sendo estabelecidos dois anos depois por meio da Portaria 56/1977, normas e critérios de padrão de potabilidade da água, determinando como o Valor Máximo Permitido (VPM) para o fluoreto em águas para consumo humano $1,7 \text{ mg F.L}^{-1}$. Este valor foi alterado para $1,5 \text{ mg F.L}^{-1}$ em 2000, com a publicação da Portaria 1.469, sendo mantido até hoje pela Portaria 2.914/11 [69] [70].

3.3.6.2 Cloreto

“Os cloretos de origem natural presentes na água são originados pela dissolução de minerais e do solo com os quais a água esteve em contato ou pela intrusão de águas salinas” [11, p. 168]. Apresentam-se nas águas principalmente como cloreto de sódio, por ser um elemento muito presente na dieta humana,

podendo ser provenientes de lançamentos industriais (refino de petróleo, curtumes, dentre outras), domésticos e águas utilizadas na irrigação de culturas [11].

O cloreto é um ânion (Cl^-), que pode causar efeitos laxativos ao homem e provocar alterações na pressão osmótica em células de microrganismos nos ecossistemas aquáticos naturais quando encontrado acima do valor limite (250 mg L^{-1}) estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 e 396/08 [60].

O Cloreto é considerado um dos íons principais que ocorrem em águas subterrâneas, ou seja, normalmente encontrado em maiores concentrações, quando comparado aos demais ânions. Esse ânion é bastante solúvel, com uma alta tendência a absorver águas e se liquefazer e extremamente estável em solução [71].

3.3.6.3 Nitrito-N e Nitrato-N

O nitrogênio apresenta-se na água sobre várias formas, como molecular, amônia, nitrito e nitrato, por meio do ciclo do nitrogênio. É um elemento limitante no crescimento dos vegetais, por ser utilizado pelas plantas em suas estruturas celulares e nos seres vivos por desempenhar um papel importante na constituição das moléculas de proteínas, vitaminas e hormônios [2].

As principais causas de aumento do nitrogênio na água são esgotos domésticos e industriais, fertilizantes e excrementos de animais, podendo causar eutrofização em valores muito elevados [35].

O ciclo do nitrogênio é composto pela 1) fixação do nitrogênio atmosférico, tornando-se disponível para as plantas na forma de nitrato; 2) Transformação dos nitratos em moléculas de nitrogênio e outras moléculas orgânicas nitrogenadas por meio das plantas, iniciando-se o processo de amonificação; 3) Nitrificação, onde o nitrogênio orgânico entra na cadeia alimentar e passa a constituir moléculas orgânicas de consumidores, atuando sobre os produtos de eliminação desses, por onde as bactérias mineralizam o nitrogênio produzindo gás amônia e sais de amônio; 4) Desnitrificação, onde o amônio e amônia são convertidos em nitritos e posteriormente em nitratos por um grupo de

bactérias quimiossintetizantes. Nas zonas de autodepuração natural em rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas [2].

O nitrito é encontrado em quantidades menores nas águas devido sua instabilidade na presença de oxigênio, uma vez que é rapidamente oxidado a nitrato, podendo indicar se a poluição das águas é recente ou antiga e se esta próxima ou distante. Se for coletada uma amostra de água de um rio poluído e as análises demonstrar predominância de nitrogênio orgânico e amoniacal, significa que o foco de poluição se encontra próximo. Se prevalecer nitrito e nitrato, significa que as descargas de esgotos se encontram distantes, logo são estabelecidos VPM nas águas para nitrito-N de $1 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$ e para nitrato-N de $10 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$ por meio das Resoluções CONAMA 357/05 e 396/08 [11].

3.3.6.4 Fosfato-P

O fósforo encontra-se na água nas formas de ortofosfato (ânion PO_4^{-3}), polifosfato e fósforo orgânico [35]. Esse é um ânion essencial para a vida aquática por ser utilizado pelas plantas em suas estruturas celulares por meio da ação fotossintética, sendo assim um fator limitante. Em excesso pode vir a causar a eutrofização das águas, acumulação de sedimentos entre outros [11].

As principais fontes do fósforo em água naturais são: decomposição da matéria orgânica, dissolução de compostos do solo como a aplicação de fertilizantes e excrementos de animais, descargas de esgotos sanitários contendo detergente e matéria fecal e descargas de efluentes industriais como de indústrias químicas, abatedouros entre outros [11].

A presença do fosforo pode ser um indicativo de contaminação por fertilizantes e indústrias, servindo como um fator de controle de poluição ambiental. Logo, a Resolução CONAMA N^o 357/05 estabeleceu diferentes Valores Máximos Permitidos (VMP) para concentração de fosforo em ambientes lênticos, lóticos e intermediários [11].

3.3.6.5 Sulfato

O sulfato, ânion SO_4^{-2} , é um íon solúvel em água e um dos mais abundantes na natureza, presente nas águas subterrâneas por meio da dissolução de rochas e solos e pela oxidação de sulfatos e nas águas superficiais por meio de lançamentos de esgotos domésticos (degradação de proteínas, por exemplo) e efluentes industriais (indústrias farmacêuticas, por exemplo) [60].

As concentrações de sulfato em águas naturais “variam, em geral, na faixa de 2 a 80 mg L^{-1} , embora possam exceder a 100 mg L^{-1} em áreas próximas a descargas industriais ou em regiões áridas onde sulfato minerais, tal como o gesso, estão presentes” [35, p. 221].

Segundo a Resolução CONAMA 357/05 [50], Resolução CONAMA 396/08 [48] e Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde [69], o valor máximo estabelecido para sulfato na água superficial e subterrânea é de 250 mg L^{-1} .

3.3.7 Metais

Os metais são definidos como elemento puro ou liga de elementos metálicos, conhecidos como bons condutores de eletricidade e calor, que podem ser classificados como essenciais, micro-contaminantes ambientais e essenciais e micro-contaminantes ambientais simultaneamente. Estão presentes na atmosfera, solo, água, organismos vivos e sedimentos, controlados por processos físicos, químicos e biológicos [72].

Os metais essenciais são aqueles que os organismos vivos necessitam, em doses pequenas para viver, tais como sódio, potássio, cálcio, ferro, zinco, cobre, níquel e magnésio. Os metais micro-contaminantes ambientais, também conhecido como metais tóxicos são aqueles que contaminam o meio ambiente, tais como chumbo, cádmio, arsênio, mercúrio, titânio, alumínio, estranho e tungstênio. Já os metais que são simultaneamente essenciais e micro-contaminantes ambientais são o crômio, ferro, cobalto, zinco, mangânes e níquel, dependendo das concentrações encontradas [72].

Os metais tóxicos são elementos químicos que apresentam o número atômico superior a 22. Podem apresentar efeitos adversos à saúde, podendo ocasionar até mesmo efeitos carcinogênicos [60].

Nas águas naturais podem se apresentar na forma de íons hidratados de complexos estáveis, podem ser absorvidos em partículas em suspensão que se mantêm na massa líquida ou se misturam nos sedimentos do fundo, de partículas inorgânicas formando precipitados que se mantêm em suspensão e ser incorporados por organismos vivos [60].

Os metais tóxicos podem ser encontrados no meio aquático em pequenas quantidades em função de fenômenos naturais como a geologia local, mas normalmente surgem em corpos d'água por meio do lançamento de efluentes industriais, como indústrias de tintas, galvanoplastias e outras e se espalham até atingirem comunidades. Alguns metais tóxicos [arsênio (As), chumbo (Pb), prata (Ag), cádmio (Cd), níquel (Ni) e do zinco (Zn)] se bioacumulam, ou seja, podem ser absorvidos pelas raízes das plantas e se acumularem nas folhas ou serem ingeridos pela biota aquática e ao longo da cadeia alimentar se acumularem em maiores concentrações até atingirem o homem [60].

Desta forma, os metais tóxicos são padrão de potabilidade estabelecidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, padrão de classificação das águas naturais e de emissão de esgotos, tanto na legislação federal Decreto 8468/76, quanto na do Estado de São Paulo CONAMA 430/11 [60].

Para uma representação menos complexa da qualidade das águas, facilitando assim a interpretação das informações de qualidade de água para o planejamento e acompanhamento das bacias hidrográficas e para o melhor entendimento da população leiga, existem um conjunto de indicadores de qualidade de água.

3.4 Indicadores de qualidade de água

O uso de indicadores de qualidade de água consiste no emprego de variáveis que se correlacionam com as alterações ocorridas na microbacia, sejam estas de origens antrópicas ou naturais [60].

Cada sistema possui características próprias, o que torna difícil estabelecer uma única variável como um indicador padrão para qualquer sistema hídrico. Logo, a obtenção de índices de qualidade de água que reflitam resumidamente e objetivamente as alterações, com ênfase para as intervenções humanas, como o uso agrícola, urbano e industrial ao longo da bacia hidrográfica ou ao longo do tempo, mostra-se muito importante [73].

Os parâmetros considerados para avaliação da qualidade das águas podem ser divididos em categorias:

1. Características Químicas: Atribuídas à presença de substâncias químicas (parâmetros Orgânicos: Benzeno, Glifosato, Tricloroetano, etc e parâmetros Inorgânicos: Fósforo, Mercúrio, Nitrato, Cianeto, etc).
2. Características Biológicas: Atribuídas à presença ou teste com seres vivos (Microbiológicas: Coliformes totais, Coliformes termotolerantes, etc; Hidrobiológicas: Clorofila a, fitoplâncton, zooplâncton, bentos, etc e Toxicológicas: Microcistinas e ensaios de toxicidade)
3. Características Físicas: Atribuídas à presença de sólidos e gases. Os parâmetros sólidos totais, sólidos dissolvidos, temperatura, turbidez e outros, fazem parte da listagem de parâmetros avaliados nesta categoria [30].

A CETESB utiliza índices específicos que refletem a qualidade das águas de acordo com seus usos pretendidos, sendo eles: Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público (IAP), Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática (IVA), Índice do Estado Trófico (IET), Índice da Comunidade Fitoplanctônica, Índice da Comunidade Zooplanctônica e Índice da Comunidade Bentônica (ICF, ICZ e ICB), Índice de Balneabilidade (IB) e o Índice de Qualidade das Águas (IQA) [30].

Um dos índices mais utilizados no Estado de São Paulo é o Índice de Qualidade da Água (IQA), adaptado da versão original do National Sanitation Foundation pelo órgão ambiental paulista (CETESB), desde 1975. O IQA é um número adimensional que exprime a qualidade da água para diversos fins de forma sintetizada. Esse número é obtido por meio de metodologias e formulações específicas, considerando no cálculo nove parâmetros, com seus respectivos pesos fixados em função de sua importância: oxigênio dissolvido, pH, coliformes fecais, nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxigênio, turbidez, sólidos totais e temperatura da água, gerando um índice com valores que variam de 0 a 100, correspondendo aos níveis de qualidade: excelente ($90 < \text{IQA} \leq 100$), bom ($70 < \text{IQA} \leq 90$), médio ($50 < \text{IQA} \leq 70$), ruim ($25 < \text{IQA} \leq 50$) e muito ruim ($0 < \text{IQA} \leq 25$) [35].

4 ÁREA DE ESTUDO

O empreendimento RMB e toda a infraestrutura e instalações associadas serão locadas no município de Iperó, estado de São Paulo. Situado nas coordenadas 23° 23' 33,5" Sul e 47° 37' 12,4" Oeste, ocupando uma área total de aproximadamente 2 milhões de m², localizado na altura do quilômetro 10 da Rodovia Municipal Bacaetava – Sorocaba, distante em aproximadamente 125 km do centro da cidade de São Paulo (Figura 7). O município de Iperó faz fronteira, iniciando ao norte e seguindo no sentido horário, com os seguintes municípios: Boituva, Porto Feliz, Sorocaba, Araçoiaba da Serra, Capela do Alto e Tatuí [4].

Figura 7 - Localização da área de instalação do RMB

Fonte: [74]– Modificado.

Esta área foi escolhida dentre outras para a construção do RMB, em função de exigências estabelecidas no termo de referência do IBAMA. Esse termo estabelece diretrizes para procedimentos e critérios mínimos para a elaboração de estudos ambientais que embasarão as análises de viabilidade ambiental de grandes empreendimentos, por meio do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), instrumentos que contribuirão para o licenciamento ambiental do RMB [75].

De acordo com a empresa MRS Estudos Ambientais Ltda [4] que foi responsável por elaborar o RIMA do RMB, a área escolhida para construção do empreendimento foi baseada em condições favoráveis e imprescindíveis, tais como: apresentar ótimas condições de acesso permitindo a utilização do RMB de modo intenso, por estar próximo a centros de tecnologia e indústrias avançadas, de boas rodovias de acesso, dos laboratórios do IPEN e de aeroportos, facilitando assim o suprimento de insumos ao reator e visitas técnicas, envio de material radioativo a outras localidades e otimização do processo de produção dos radiofármacos; ter área suficiente para que a Zona de Planejamento de Emergência (área externa ao reator onde deve ser implantado um planejamento de emergência caso ocorra algum acidente) fique dentro dos limites do sítio escolhido e ter uma extensão de 1600 metros em cada dimensão do sítio, ficando fora de grandes centros populacionais.

4.1 Áreas influenciadas pelo Reator Multipropósito Brasileiro

Como todo empreendimento interfere não somente na área de instalação do mesmo, como nas áreas ao entorno, a área de influência é delimitada em três âmbitos: Área Diretamente Afetada (ADA), Área de Influência Direta (AID) e Área de Influência Indireta (AII).

A ADA é a área necessária para a implantação do empreendimento, sendo diretamente afetada pelos impactos decorrentes da implantação e operação do empreendimento, tais como a criação de infraestrutura (construção, ampliação ou reforma de vias de acesso privadas) e demanda de mão de obra. A AID corresponde ao espaço territorial contíguo e ampliado da ADA, sofrendo diretamente, também, os impactos positivos e negativos, mas de uma forma mais

amena. Já a AIi sofrem impactos considerados menos significativos do que nas outras duas áreas de influência (ADA e AID), propiciando uma avaliação da inserção regional do empreendimento [76].

De acordo com os estudos da empresa MRS Estudos Ambientais Ltda [76], a área que o empreendimento RMB influencia varia para o meio físico, biótico e socioeconômico. Logo, como pode ser observado na Figura 8, a Área Diretamente Afetada (ADA) que o empreendimento atinge corresponde a propriedade do RMB acrescida de um raio de 800 m a partir do prédio do reator. Já a Área de Influência Direta (AID) em relação ao meio físico e biótico contempla a sub-bacia do Médio Sorocaba e a área da Flona Ipanema, enquanto que para o meio socioeconômico considera-se um raio de 4 km a partir do prédio do reator. E para a Área Indiretamente Influenciada (AIi) em relação ao meio físico e biótico, consiste na bacia hidrográfica Sorocaba Médio Tiête, enquanto que para o meio socioeconômico foi determinado um raio de 15 km a partir do prédio do reator (Figura 9).

Figura 8 - Áreas de Influência do RMB

Fonte: [4]

Figura 9 - Área de influencia indireta do RMB em relação ao meio socioeconômico

Fonte: [77, p. 42]

4.2 Topografia da área do RMB

A topografia da área de estudo é caracterizada por vales e montanhas, sendo que o local proposto para construção do RMB encontra-se em platô, a cerca de 580 metros acima do nível do mar, com os pontos de maior altitude identificados nos município de Iperó, Capela do Alto e Araçoiaba da Serra, enquanto que as menores elevações são encontradas nos vales dos rios Sorocaba e Ipanema (Figura 10) [77].

Figura 10 - Mapa topográfico da região de estudo

Fonte: [78]

Na área de instalação do RMB são encontradas rochas graníticas e metassedimentares e solos hidromórficos (permanente ou periodicamente saturados por água), argissolos (alta erodibilidade e baixa permeabilidade) e latossolos (baixa erodibilidade e alta permeabilidade) [4].

4.3 Clima

Existem vários esquemas de classificação climática desenvolvidos por estudiosos da atmosfera. Uma das classificações mais utilizadas até hoje, em sua forma original ou com modificações, é a classificação climática de Köppen-Geiger [79].

A classificação climática de Köppen é baseada em dados mensais termométricos e pluviométricos, dividindo os climas em cinco grandes grupos e diversos tipos e subtipos. Os cinco grandes grupos climáticos principais são representados pelas letras iniciais do alfabeto maiúsculas e indicam a característica geral do clima de uma região (A: Clima Tropicais chuvosos; B:

Clima seco; C: Clima temperado chuvoso e moderadamente quente; D: Clima continental ou climas temperados frios com neve-floresta; E: Clima glacial – clima das regiões circumpolares). Essas regiões são divididas em subgrupos, considerando a distribuição sazonal da precipitação acrescida das características da temperatura, portanto a segunda letra minúscula indica a quantidade e distribuição da precipitação e a terceira letra minúscula a temperatura média [79].

Segundo a classificação de Koeppen, o Estado de São Paulo abrange sete tipos climáticos, sendo a maioria correspondente a clima úmido (Figura 11).

Figura 11 - Classificação climática de Koeppen do Estado de São Paulo

Fonte: [80]

Em Iperó o clima é classificado como Cwa (Temperado úmido com inverno seco e verão quente) (Figura 12), com chuvas no verão e seca no inverno, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, ou seja, clima subtropical quente úmido [80].

Figura 12– Temperatura do ar e precipitação no município de Iperó - SP

Iperó				
Latitude: 23g 12m Longitude: 47g 24m Altitude: 580 metros				
Classificação Climática de Koeppen: Cwa				
MÊS	TEMPERATURA DO AR (C)			CHUVA (mm)
	mínima	média	máxima	
JAN	18.6		29.9	226.4
FEV	18.8		30.0	165.0
MAR	18.0		29.6	141.0
ABR	15.3		27.6	58.8
MAI	12.6		25.5	69.5
JUN	11.0		24.3	56.1
JUL	10.4		24.5	39.2
AGO	11.7		26.5	36.0
SET	13.7		27.3	74.0
OUT	15.4		28.1	116.0
NOV	16.4		28.9	116.3
DEZ	17.8		29.0	190.3
Ano	15.0		27.6	1288.6
Min	10.4		24.3	36.0
Max	18.8		30.0	226.4

Fonte: [80]

De acordo com a MRS Estudos Ambientais Ltda [4], especificamente na área do RMB, as temperaturas médias mais baixas foram verificadas nos meses de maio, junho e julho com mínima de 4,25 °C e no verão, a temperatura máxima observada foi de 32 °C. Sendo os meses de outubro a janeiro, o período mais chuvoso caracterizado por fortes chuvas e os meses de maio a setembro, o período mais seco, caracterizado por dias ensolarados com pancadas de chuvas.

4.4 Ocupação e uso dos recursos naturais

Os municípios que ficam ao entorno do empreendimento são caracterizados entre áreas de pastagens, uso agrícola e áreas de formação florestal. As áreas de pastagens são preponderantes sobre as outras na maioria dos municípios, já as áreas de uso agrícola são as segundas mais ocupadas na

maioria dos municípios, caracterizadas por propriedades rurais de pequeno e médio porte, que possuem características de plantio de subsistência e de mercado interno, utilizando mão de obra familiar e contratada. E a área ocupada com formação florestal é a terceira mais importante [78] [81].

A ocupação urbana mais próxima consiste no centro urbano de Iperó, localizada a noroeste do RMB, a uma distância de aproximadamente 7 km, em linha reta, do empreendimento. O município de Iperó conta com uma população de 61,7 % urbana e 38,3% rural (Tabela 3), mas na região do entorno do empreendimento a população é majoritariamente rural e a maior parte de suas áreas é ocupada com atividades agropecuárias [82].

Tabela 3 - Informações Municipais de 2015

Municípios	Total da população (2015)	Total População Urbana	Total População Rural
Araçoiaba da Serra	29.907	20.557	9.350
Boituva	53.228	50.071	3.157
Capela do Alto	19.006	16.135	2.871
Iperó	31.531	19.456	12.075
Porto Feliz	50.339	43.109	7.230
Sorocaba	623.739	617.391	6.348
Tatui	113.814	109.684	4.130

Fonte: [83]

As principais atividades pecuárias no entorno da região são de corte e leite, produção de carne suína, aves e ovos [84]. E as principais atividades agrícolas de lavoura temporária, são a cana-de-açúcar, o milho em grão, mandioca, feijão, laranja, uva e banana (Figura 13) [82].

Figura 13 – Principais atividades agropecuárias no entorno da região de interesse

Fonte: autor da dissertação.

A Tabela 4 indica a área territorial de cada município, o número de unidades de produção agropecuária (UPA), a área total ocupada pelas UPAS e o percentual de ocupação destas em relação à extensão de cada.

Tabela 4 – Uso e ocupação do solo dos municípios ao entorno do RMB

Município	Área da unidade territorial (km²) (IBGE)	Nº de UPAS [2]	Área total das UPAS [2]	Área UPAS/ área total (%)
Araçoiaba da Serra	255	288	132,6	52
Boituva	249	545	195,7	78,6
Capela do Alto	170	422	174,3	102,5 (1)
Iperó	170	332	115,5	67,9
Porto Feliz	557	1013	424,1	76,1
Sorocaba	449	453	134,3	29,9
Tatui	523	1016	381	72,8
Total	2373	4169	1558	65,6

Fonte: [77]

(1) Área territorial informada pelo IBGE é menor que a área da UPA informada pela CATI

(2) IEA, 2009

De acordo com a Tabela 4 somente Sorocaba não tem predominância em atividades agropecuárias, por ser o principal polo industrial regional [82].

Além das atividades agropecuárias, também existem na região de interesse práticas de pesca amadora e profissional na bacia do rio Sorocaba, sendo que a pesca amadora para consumo da população local ocorre no rio Ipanema, rio Sorocaba e lagoas naturais existentes em Iperó [85].

4.5 Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê/Sorocaba

A área total do empreendimento insere-se na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê/Sorocaba (UGRHI – 10), especificamente na Sub-bacia do Sorocaba e Médio Tietê [4].

A UGRHI 10 faz parte da Bacia do Rio Tietê, juntamente com outras 6 UGRHIS (Figura 14) e está localizada no centro-sudeste do Estado de São Paulo, com uma área de drenagem de 11.829 km² e 12.099,1 km² de área territorial, abrangendo 53 municípios (Figura 15). É composta pela Bacia do rio Sorocaba e de tributários de menor ordem, tanto da margem esquerda como da direita do rio Tietê [86].

Figura 14 – Localização da UGRHI 10 no Estado de São Paulo e da sua Sub-bacia

Fonte: Modificado de [87, p. 5]

Figura 15 – Municípios com área na UGRHI 10

Fonte: [87, p. 7]

A região do Médio Tietê é influenciada por outras bacias (Alto Tietê, Piracicaba, Capivari e Jundiaí) a montante dela, devido ao despejo de grandes quantidades de esgoto não tratados da Região Metropolitana de São Paulo, Região Metropolitana de Campinas e do Município de Jundiaí, que deságuam no trecho médio do Rio Tietê dentro da UGRHI10. Junto com a UGRHI-6 (Alto Tietê) e UGRHI-5 (Piracicaba, Capivari e Jundiaí), são as bacias mais industrializadas do Estado de São Paulo e concentram quase metade da população paulistana [86].

O território, quanto aos usos do solo, contém 89,5% de área urbana e 10,5% de área rural, densamente ocupado, inserido nos biomas de Mata Atlântica e Cerrado, distribuído em pastagens, vegetação natural, culturas de horta, milho, cana de açúcar e citrus, além da pecuária. Na questão hídrica superficial, encontram-se uma demanda bem maior do que de água subterrânea, sendo sua finalidade para o abastecimento público, industrial e rural como, por exemplo, para a recreação, irrigação, geração de energia elétrica e recepção de efluentes domésticos e industriais (Figura 16). Predominam as atividades industriais relacionadas às indústrias eletroeletrônica, alimentícias e têxteis, além de complexos industriais ligados a produção de alumínio e cimento [86].

Figura 16 – Demanda de água e tipo de finalidade na UGRHI 10

Fonte: [86].

4.6 Água subterrânea

Dois grandes grupos de aquíferos hidraulicamente conectados estão inseridos na UGRHI 10 - Sorocaba/Médio Tietê, sendo eles os aquíferos cristalinos e os aquíferos sedimentares ou porosos. A área diretamente afetada do RMB insere-se na região de ocorrência do sistema aquífero Tubarão (Figura 17) [76].

O sistema aquífero Tubarão é poroso e ocorre em rochas sedimentares (Figura 18), estende-se na sua maior parte pelo oeste do estado de São Paulo e

provêm da Bacia do Paraná, Subgrupo Itararé (Figura 19) e formação Tatuí [88]. Encontra-se cortado em diversos pontos por intrusões de diabásio (feldspato, piroxênio e magnetita), “que localmente interrompem sua continuidade, sendo ainda recoberto em áreas próximas aos lineamentos de drenagem por camadas de sedimentos Cenozóicos” [40, p. 19].

“O substrato do aquífero tubarão é constituído por rochas Pré-Cambriana do aquífero Cristalino” [40, p. 19], sendo nesta bacia um aquífero livre (freático) que à medida que avança para noroeste passa a ser confinado pela sequência do Grupo Passa Dois [40].

Figura 17 – Localização do aquífero Tubarão no Estado de São Paulo

Fonte: [89, p. 13]

Figura 18 – Domínios Hidrogeológicos do Estado de São Paulo

Fonte: [89, p. 12]

Figura 19 – Mapa geológico do Estado de São Paulo

Fonte: [89, p. 35]

É formado por rochas com características heterogêneas e com intercalações de camadas arenosas, siltosas e argilosas, tornando o comportamento do aquífero irregular e dificultando a definição dos parâmetros hidrogeológicos, águas fracamente salinas, bicarbonatadas, sódicas e secundariamente bicarbonatadas cálcicas ou mistas, com o pH variando de 4,8 a 8,9, apresentando grandes extensões (aproximadamente 20.000 km²) e espessuras (cerca de 1.000 metros). É um aquífero muito importante, pois suas reservas de água subterrânea são utilizadas tanto para abastecimento público, como para fins agrícolas e industriais [90].

Segundo Iritani e Ezaki [91], as águas do aquífero Tubarão comparado com os demais aquíferos apresentam boa qualidade para consumo humano e usos em geral e apresenta maior teor de sais, eventualmente com enriquecimento de sódio, fluoreto e sulfato.

De acordo com o Relatório do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Sorocaba e médio Tietê [86], ao analisar o indicador de potabilidade das águas subterrâneas (IPAS) da UGRHI 10 de 2010 a 2015 houve uma variação de boa a regular na potabilidade das águas subterrâneas (Figura 20). Como pode ser observado na Figura 21 alguns parâmetros como manganês, fluoreto e arsênio são encontrados em desconformidade quase todos os anos no período de 2010 a 2015 na UGRHI 10. As principais fontes de contaminação com arsênio provêm de agrotóxicos, mineração e combustão de carvão, já o fluoreto pode estar relacionado com o grau de interação da água subterrânea e da rocha, ocorrência do mineral flúor, do uso de fertilizantes e da presença de indústrias que utilizem o alumínio e o manganês por meio de resíduos de fertilizantes e fungicidas [30] [86].

Figura 20 - Índice de Potabilidade da Água Subterrânea por Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos em 2015

Fonte: [30, p. 36]

Figura 21– Situação da qualidade das águas subterrâneas da UGRHI 10 no período de 2010 a 2015

	IPAS (%)	Parâmetros Desconformes
2010	90,0	Fluoreto, sódio
2012	65,0	Arsênio, ferro, manganês, bactérias heterotróficas
2013	90,9	Arsênio, manganês
2014	80,8	Fluoreto, arsênio, sódio, manganês
2015	64,3	Fluoreto, arsênio, sódio, ferro, manganês, sulfato, bactérias heterotróficas

Fonte: [86].

De acordo com estudos realizados pela MRS Estudos Ambientais Ltda [76], a caracterização do fluxo hidrológico subterrâneo demonstrou que a movimentação da água subterrânea tem relação direta com a topografia e com as características geológicas dos aquíferos envolvidos. Definindo direções

preferenciais da região do embasamento para as rochas sedimentares no sentido SE-NW.

Na Figura 22 é apresentado um mapa da região com a direção do fluxo de águas subterrâneas.

Figura 22 - Direção do fluxo de águas subterrâneas na área de influência direta e indireta do RMB

Fonte: [78]

4.7 Água Superficial

O principal curso d'água da região é o rio Sorocaba (Figura 23), sendo seus afluentes o ribeirão do Ferro e rio Ipanema os mais próximos ao empreendimento. Os rios Sorocaba e Ipanema (Figura 24) são enquadrados como Classe 2 [86] e [54], sendo utilizados tanto para irrigação de hortaliças e árvores frutíferas, como para recreação e abastecimento público após tratamento adequado, já o ribeirão do Ferro não é utilizado para nenhum desses fins [92].

Na bacia do rio Sorocaba há predomínio de captação de água subterrânea [4].

Figura 23 – Fotografia do Rio Sorocaba em dezembro de 2015

Fonte: autor da dissertação

Figura 24 – Curso d'água do rio Sorocaba e rio Ipanema na área de influência direta pelo RMB.

Fonte: [76, p. 10] – modificado.

O ribeirão do ferro (Figura 25), que é um dos afluentes da margem esquerda do Rio Sorocaba, está inserido na área diretamente afetada (ADA) do RMB. É um rio que tem aproximadamente 8 km de extensão e nasce no interior da FLONA e percorre várias áreas agropecuárias até desaguar no Rio Sorocaba [93] [76].

Figura 25 – Curso d'água do Ribeirão do Ferro na área diretamente afetada pelo RMB.

Fonte: [76, p. 5]

Já o rio Sorocaba está inserido na área de influência direta (AID), que compreende a Sub-bacia do Médio Sorocaba, incluindo a Flona Ipanema. E a Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba, esta inserida na área de influência indireta (AI) [76].

Por ser um dos principais rios que passa pela área de construção do empreendimento, as águas do rio Sorocaba passarão a ser utilizadas pelo RMB, tanto para lançamento de efluentes tratados de acordo com a legislação vigente, como para abastecimento [4].

As águas do rio Sorocaba, foram classificadas como ruins no ano de 2015, por meio do Índice de Qualidade da Água (IQA) calculado pela CETESB nos pontos SORO02200 e JIBU02900 (Figura 26) [30].

Figura 26 – Índice de Qualidade de Água do rio Sorocaba em 2015 monitorado por dois pontos da CETESB

Fonte: [30, p. 74].

De acordo com o Relatório do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Sorocaba e médio Tietê [86], ao analisar o Índice de Qualidade das Águas Superficiais (IQA) de 2014 para 2015 da UGRHI 10 (Figura 27), notou-se uma

tendência de aumento dos pontos classificados como "Regular", "Ruim" e "Péssima". Provavelmente a degradação dos corpos d'água está relacionado com a intensificação das atividades agrícolas e industriais no entorno da bacia, crescimento populacional, expansão das manchas urbanas, supressão de fragmentos florestais e falta de saneamento.

Figura 27 – Índice de Qualidade de Água Superficial na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 10 - Tietê/Sorocaba do ano de 2014 para 2015

Fonte: [86]

parte dos municípios de Iperó, Araçoiaba da Serra e Capela do Alto (Figura 29). Foi criada em 1992, por meio do Decreto Federal nº 530, possuindo uma rica biodiversidade, grande diversidade mineral devido ao fenômeno geológico de formação vulcânica e altamente magnético, relevo acidentado, predominância de latossolo vermelho escuro e argissolo e presença de rios e dos ribeirões Iperó e do Ferro, que se formam em seu interior [94].

Figura 29 – Área da Floresta Nacional de Ipanema em 3D

Fonte: [4]- Modificado

O desenvolvimento da região de Iperó está profundamente ligada ao início do bandeirismo no território paulista, uma vez que foi um bandeirante que descobriu o minério de ferro no município, iniciando assim a produção metalúrgica local [95].

O município de Iperó é marcado pela descoberta de minério de ferro. Em 1589 com a chegada de Afonso Sardinha em busca de ouro, já em 1810, com

a construção da fábrica de ferro de Ipanema. No início do século XX foi construída a estrada de ferro Sorocabana (Estação Santo Antônio e George Oetterer), incentivando assim o desenvolvimento dos vilarejos. Mas com a extinção da FEPASA (Ferrovia Paulista S.A.) houve a desativação parcial da Estrada de Ferro Sorocabana. E em 1980, o município ganha grande importância na área de pesquisas de engenharia nuclear, com a construção do Centro Experimental de ARAMAR [95].

Ainda na década de 1980, novas indústrias passaram a ser a principal atividade econômica no município [95].

Logo, a Floresta de Ipanema apresenta locais de grande importância histórica como sítios arqueológicos e monumentos da primeira siderúrgica brasileira (Fábrica de Ferro Ipanema) [94].

5 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir estão descritos os materiais e métodos utilizados para a amostragem, coletas, preparação e análise das amostras de água subterrânea e superficial realizadas para este estudo.

5.1 Amostragem

Os pontos de amostragem da água superficial e subterrânea são os mesmos adotados pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) no Programa de Monitoração Radiológica Ambiental Pré-Operacional do RMB - PMRA [78] de forma a completar o estudo e fornecer subsídios para o licenciamento ambiental.

Para a seleção dos pontos de amostragem foram adotados os seguintes critérios ou informações:

- A) “Resultados do estudo de dispersão atmosférica dos radionuclídeos liberados pelo RMB em condições normais de operação;
- B) Características gerais dos corpos de água superficial local;
- C) Características do fluxo de água subterrânea na região de interesse;
- D) Ocupação e usos dos recursos naturais (solo e águas);
- E) Dados do local do RMB extraídos dos censos demográfico e agropecuário oficiais, estudo do local do Labgene do Centro Tecnológico da Marinha – São Paulo (CTMSP) e outras informações disponíveis na literatura;
- F) Entrevistas com donos ou funcionários de propriedades rurais da região e com os servidores da Prefeitura de Sarapuí - SP;
- G) Infraestrutura existente no local” [78, p. 6].

Logo, foram selecionados dez pontos de amostragem de água, sendo seis pontos de água superficial e quatro de água subterrânea, tanto na área de impacto futuro da instalação, como em outros locais, definidos como locais para

controle. A identificação dos pontos amostrados utilizado neste trabalho (denominados como identificação antiga dos pontos) e localização dos mesmos em coordenadas geográficas (UTM) está apresentada na Tabela 5.

Em 2017, por meio do Programa de Monitoração Radiológica Ambiental - Fase: Pre-Operacional - Reator Multipropósito Brasileiro – RMB, coordenado pela Dra. Sueli da Silva Peres do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), houve uma renomeação dos pontos de coleta, denominados na Tabela 5 como: identificação nova dos pontos.

Tabela 5 – Identificação e localização dos pontos de coleta das amostras

Amostra	Identificação antiga dos Pontos	Identificação nova dos pontos	Localização	Coordenadas Geográficas dos pontos (UTM)
Água de Superfície	001RMB	001RMB	Ribeirão do Ferro, a montante do empreendimento	23°24'17.49"S 47°37'30.19"W
	002RMB	002RMB	Ribeirão do Ferro, a jusante do empreendimento	23°23'18.71"S 47°37'0.93"W
	003RMB	003RMB	Rio Sorocaba, a jusante do ponto de descarga do Ribeirão do Ferro	23°21'55.76"S 47°36'54.27"W
	004RMB	004RMB	Rio Sorocaba, a montante do ponto de descarga do Ribeirão do Ferro	23°21'39.40"S 47°36'1.05"W
	009RMB	005RMB	Fazenda São Benedito (Lago)	23°22'00.03"S 47°37'24.43"W
	010RMB	006RMB	Nascente Corrego Ibama	23°23'25.00"S 47°37'30.59"W
Água Subterrânea	005RMB	007RMB	Ponto de controle da Fazenda Ipanema - Poço Lago	23°25'40.78"S 47°35'51.46"W
	006RMB	008RMB	Ponto de controle da Fazenda Ipanema - Poço Viveiros	23°25'36.55"S 47°35'59.03"W
	007RMB	009RMB	A jusante do empreendimento Fazenda São Benedito	23°22'8.56"S 47°37'22.05"W
	008RMB	010RMB	Entrada de água na SABESP/Sarapuí	23°38'35.76"S 47°49'40.47"W

Fonte: autor da dissertação

Os pontos de coleta foram denominados com uma sequência de números de 1 a 10, de acordo com sua localização (Figura 30). As amostras foram identificadas pelo número do ponto coletado, seguido da abreviação RMB, número de coletas realizadas, mês e ano, por exemplo: 001RMB07/0415 (ponto coletado 001; abreviação RMB; sétima coleta; mês: abril; ano: 2015).

Figura 30 – Localização dos 10 pontos de amostragem na área de estudo

Fonte: autor da dissertação

A caracterização das variáveis físicas e químicas foi realizada nos 10 pontos de amostragem em amostras de água superficial e subterrâneas coletadas no ano de 2015, em quatro campanhas de campo, nos meses de abril, junho, setembro e dezembro, sendo duas na estação chuvosa e duas na estação de seca, representando um total de 40 amostras, que foram utilizadas para a realização de 330 ensaios em abril (devido não terem sido realizados os ensaios de alcalinidade, ânions e metais totais nos pontos RMB-005 e 006 neste mês) e 400 ensaios nos demais meses por campanha, totalizando 1530 ensaios.

Estavam planejadas mais 4 coletas para o ano de 2016, para uma melhor análise estatística dos dados, mas por motivos institucionais não foi possível a realização.

5.2 Características dos pontos de coleta

São descritos a seguir as características dos seis pontos de água superficial e dos quatro pontos de água subterrânea.

5.2.1 Água Superficial

Todos os pontos de água superficial estão localizados próximo da área de instalação do futuro Reator Multipropósito Brasileiro (Figura 31).

Figura 31 - Localização dos seis pontos amostrados de água superficial

Fonte: autor da dissertação e [76].

5.2.1.1 RMB-001

O ponto RMB-001 fica localizado no Ribeirão do Ferro a montante do empreendimento, a 556 m do nível do mar. É uma área com bastante vegetação e mata ciliar e conta com a presença de algumas residências, plantação de cana no seu entorno e proximidade com a FLONA (Figura 32).

Figura 32 - Fotos da área e do entorno do ponto RMB-001

Fonte: autor da dissertação

5.2.1.2 RMB-002

O ponto RMB-002 fica localizado no Ribeirão do Ferro a jusante do empreendimento, a 545m do nível do mar. É um ponto com mata ciliar e localizado próximo ao Centro Experimental de Aramar, onde passa uma estrada bem movimentada (Figura 33).

Figura 33 - Fotos da área e do entorno do ponto RMB-002

Fonte: autor da dissertação

5.2.1.3 RMB-003

O ponto RMB-003 fica localizado no Rio Sorocaba, a jusante do ponto de descarga do Ribeirão do Ferro, a 516m do nível do mar. O seu entorno é caracterizado por pastos e residências (Figura 34).

Figura 34 - Fotos da área e do entorno do ponto RMB-003

Fonte: autor da dissertação

5.2.1.4 RMB-004

O ponto RMB-004 fica localizado no Rio Sorocaba, a montante do ponto de descarga do Ribeirão do Ferro e a jusante do ponto de descarga do rio Ipanema no Rio Sorocaba, a 537 m do nível do mar. Seu entorno é caracterizado por plantações de cana, laranja e milho, mata ciliar, presença de fezes de capivara, lixo como garrafas pets e papeis. Neste ponto, o Rio Sorocaba têm peixes e exala um odor forte de enxofre (Figura 35).

Figura 35 - Fotos da área e do entorno do ponto RMB-004

Fonte: autor da dissertação

5.2.1.5 RMB-009

O ponto RMB-009, fica localizado na Fazenda São Benedito (Lago) a jusante do RMB.

5.2.1.6 RMB-010

O ponto RMB-010 fica localizado na Nascente do Córrego Ibama, próximo a área de instalação do futuro RMB, a 553m do nível do mar. O seu entorno é caracterizado por estradas de terra, com vegetação e pastagem e nenhuma residência (Figura 36).

Figura 36 - Fotos da área e do entorno do ponto RMB-010

Fonte: autor da dissertação

5.2.2 Água subterrânea

Os pontos RMB-005, 006 e 007 de água subterrânea estão localizados próximo da área de instalação do futuro RMB, já o ponto RMB-008 encontra-se na cidade de Sarapuí há aproximadamente 46 Km de distância de Iperó (Figura 37).

Figura 37 - Localização dos pontos amostrados de água subterrânea

Fonte: autor da dissertação

5.2.2.1 RMB-005

O ponto RMB-005 fica localizado na Fazenda Ipanema, a montante do RMB, na beira do lago existente na FLONA, sendo um poço com profundidade de cerca de 120m (Figura 38).

Figura 38 - Localização dos pontos amostrados de água subterrânea

Fonte: autor da dissertação

5.2.2.2 RMB-006

O ponto RMB-006 fica localizado na Fazenda Ipanema, a montante do RMB, abastecendo a vila residencial, sendo um poço com profundidade de cerca de 100m. No ponto em estudo encontra-se o cultivo de hortaliças (Figura 39).

Figura 39 - Localização dos pontos amostrados de água subterrânea

Fonte: autor da dissertação

5.2.2.3 RMB-007

O ponto RMB-007 fica localizado na Fazenda São Benedito, a jusante do empreendimento.

5.2.2.4 RMB-008

O ponto RMB-008 fica localizado na entrada de água da SABESP na cidade de Sarapuí, a montante do empreendimento. É o ponto mais longe do empreendimento, sendo um ponto de controle.

Vale salientar que nos quatro pontos amostrados as águas subterrâneas são utilizadas para consumo humano.

5.3 Coleta, preservação e preparo das amostras de água

Os procedimentos de coleta e a determinação dos parâmetros de campo foram realizados com auxílio da equipe do IRD e do CDTN. Os parâmetros físico químicos medidos em campo são parte integrante do Programa de Monitoração Radiológica Ambiental - Fase: Pre-Operacional - Reator

Multipropósito Brasileiro – RMB, coordenado pela Dra. Sueli da Silva Peres do IRD.

As coletas das amostras de água superficial foram realizadas utilizando um recipiente plástico com capacidade de 11 litros (Figura 40). Ainda em campo, foram transferidas para frascos de polietileno (Figura 41) por meio de um funil acoplado a uma rede filtrante (utilizada para filtrar folhas e pedras).

Figura 40 – Recipiente plástico utilizado para coleta das amostras de água superficial

Fonte: autor da dissertação

Figura 41 – Transferência das amostras de água superficial para os frascos de polietileno por meio de um funil acoplado a uma rede filtrante

Fonte: autor da dissertação

As amostras de água subterrânea foram coletadas em poços de captação de água instalados na região. Nesses poços a água é bombeada do lençol freático e coletada em uma torneira diretamente do poço. As amostras foram coletadas e armazenadas em frascos de polietileno previamente limpos, e transportados em recipientes termicamente isolados.

As amostras, tanto de água subterrânea como superficial, foram coletadas e armazenadas conforme recomendação do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras [96] e Standard Methods [97], considerando o tipo de frasco para cada parâmetro, volume necessário para análise, preservação de amostra e prazo para a realização da análise de cada parâmetro.

Para cada campanha de coleta foram amostrados 2 Litros de água, tanto superficial como subterrânea, por ponto em frascos de polietileno previamente descontaminados, e transportados em recipientes termicamente isolados. O procedimento utilizado para a preservação das amostras de água para a análise de ânions e cátions, alcalinidade, sólidos totais dissolvidos e metais foi a refrigeração de aproximadamente 4 °C e a acidificação das amostras de metais.

Foi realizada uma etapa de fracionamento das amostras para posterior realização dos ensaios, de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 42.

Figura 42 – Fluxograma de preparo das amostras conforme requisito dos ensaios

Fonte: autor da dissertação

5.3.1 Digestão ácida

Para essa etapa foi utilizado um forno de micro-ondas modelo MDS 200 da CEM. Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico e água Tipo I.

Para a obtenção da fração total dos analitos, foi realizada a digestão das amostras utilizando o método EPA 3015 [98]. Esta metodologia baseia-se na extração dos metais em soluções aquosas usando o calor emitido pelo forno micro-ondas, com controle de pressão e temperatura.

O procedimento consiste (Figura 43) na adição de 1 mL de HCl e 4 mL de HNO_3 a 45 mL de amostra nos frascos de digestão e encaminhadas ao micro-ondas utilizando 100% de potência (599 W), 85 atm de pressão, 20 minutos de análise, 10 minutos de pressurização e 165 °C de temperatura. Para posteriormente serem analisadas pela técnica de espectrometria de plasma acoplado.

Figura 43 – Procedimento de digestão das amostras de água superficial e subterrânea

Fonte: autor da dissertação

Cada lote de amostras digeridas foi acompanhado de amostras para controle, sendo um branco, uma duplicata e uma adição de padrão.

Foi utilizada a estrutura do Laboratório de Análises Química e Ambiental (LAQA) do Centro de Química e Meio Ambiente (CQMA) do Instituto de

Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP) para conservação, armazenamento, preparo e análise de todas as amostras.

5.4 Análise das Amostras

As análises realizadas foram definidas por meio dos padrões de qualidade, “valor limite adotado como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água, estabelecido com base nos valores de referência de qualidade e nos valores máximos permitidos para cada um dos usos preponderantes” [51]

Os parâmetros de água analisados foram: temperatura, potenciometria (pH), condutividade, alcalinidade, sólidos totais dissolvidos, ânions e metais totais, conforme o método de análise e técnica analítica descrita na Tabela 6.

Tabela 6 – Método de análise e técnica analítica utilizada nas amostras

Parâmetros	Método de análise	Técnica analítica
pH (*)	SM4500H+B [97]	Potenciômetro
Temperatura (*)	SM2550B [97]	Termômetro
Condutividade(*)	SM2510B [97]	Condutivímetro
Alcalinidade	ABNT NBR 13736 [99]	Titulometria
Sólidos Totais Dissolvidos	ABNT NBR 10664 [100]	Gravimetria
Metais totais (Ag, Al, Ba, Be, Co, Cr, Ca, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Sn, Sr, Ti, V e Zn e semi-metais (B e Si)	EPA3015A (preparação) [98] EPA6010C (análise) [101]	ICP OES
Cd (Cádmio)	EPA3015A (preparação) [98]	AAS - Forno de grafita (GF-AAS)
Pb (Chumbo)	EPA6010C (análise) [101]	
(Se) Selênio	EPA 7741A [102]	AAS - Forno de grafita (GF-AAS)
(As) Arsênio	EPA 7062 [103]	AAS - Forno de grafita (GF-AAS)
(Hg) Mercúrio	EPA 7470A [104]	AAS – Geração de Vapor Frio (CV-AAS)
Ânions (Fluoreto, cloreto, nitrito como N, nitrato como N e sulfato)	EPA 300 [105]	Cromatografia Iônica

(*) – Parâmetros determinados pela equipe do Programa de Monitoração Radiológica Ambiental - Fase: Pre-Operacional - Reator Multipropósito Brasileiro – RMB.

Fonte: [97]; [99]; [100]; [98]; [101]; [102]; [103]; [104] e [105]

5.4.1 pH, temperatura e condutividade

O procedimento para análise do pH, temperatura e condutividade adotaram o estabelecido na APHA AWWA WPCF [97] SM4500H+B, SM2550B e SM2510B respectivamente. As medidas foram realizadas após as amostras chegarem ao laboratório, localizado próximo aos pontos de coleta. Logo, as avaliações dos resultados levam em consideração que as medidas não foram realizadas in situ e podem ter variações significativas.

5.4.2 Alcalinidade

O procedimento para análise de alcalinidade adotou o estabelecido na ABNT NBR 13736:1996 [99] Água - Determinação de alcalinidade - Métodos potenciométrico e titulométrico. A determinação de alcalinidade foi realizada em uma titulação ácido-base com indicador de alaranjado de metila em que o titulante foi o ácido sulfúrico (H_2SO_4) com concentração de 0,02N (Figura 44). Uma alíquota de 10 mL da amostra foi titulada e o volume gasto de ácido foi registrado para efeito de cálculo da alcalinidade expressa como CaCO_3 (mg L^{-1}).

Figura 44 – Esquema do procedimento para a realização do ensaio de alcalinidade nas amostras de água superficial e subterrânea

Fonte: autor da dissertação

O Fator do H_2SO_4 foi determinado com a titulação de 4 mL de carbonato de sódio (Na_2CO_3) $2,5 \text{ g L}^{-1}$, adicionado 2 gotas de alaranjado de metila 0,1% (m/v) - solução alcoólica 60% (v/v), expressa pela Equação (1) A estequiometria da reação foi simplificada conforme as equações (1) e (2) para a expressão da alcalinidade na forma da concentração de CaCO_3 na amostra.

$$\text{Determinação do fator do H}_2\text{SO}_4 = \frac{\text{Volume gasto de H}_2\text{SO}_4}{10} \quad (1)$$

$$\text{Concentração CaCO}_3 (\text{mg. L}^{-1}) = \frac{\text{Volume gasto de H}_2\text{SO}_4}{\text{Volume da amostra}} \times \text{Fator} \quad (2)$$

Para o controle do ensaio, juntamente com as amostras, foi realizada uma medida de branco (água tipo I) e uma duplicata a cada 8 amostras.

5.4.3 Sólidos totais dissolvidos

O procedimento para análise de sólidos totais dissolvidos adotou o estabelecido na ABNT NBR 10664/1989 [100] - Águas - Determinação de resíduos (sólidos) - Método gravimétrico - Método de ensaio.

Foi adicionado por meio de uma proveta (Figura 45), após ambientação da mesma, 100 mL de amostra em uma cápsula de porcelana devidamente tarada (colocada duas vezes em mufla a 550°C e pesada = P_0 em g). As cápsulas com as amostras foram submetidas à evaporação em banho-maria (marca Nova Ética) por aproximadamente 4 horas e levadas a estufa de secagem e esterilização FANEM – modelo A-HT, por 1 hora, depois de atingir aproximadamente $100 - 105^\circ\text{C}$. Após as amostras resfriarem em dessecador e atingirem a temperatura ambiente, as capsulas com as amostras foram pesadas (P_1 em g) em balança, marca GEHAKA/modelo BG 400, devidamente calibrada segundo NBR ISO/IEC 17025, para determinação dos sólidos totais dissolvidos, conforme Equação (3) com as devidas transformações de unidade de medidas de grama para mg e mL para litro.

$$\text{STD} (\text{mg. L}^{-1}) = \frac{P_1 - P_0}{V_{\text{amostra}}} \times 1.000.000 \quad (3)$$

Para a análise de sólidos, juntamente com as amostras são realizados os ensaios de um branco (água tipo I) e uma adição, solução de Spike (10 mL da

solução de 2 g L^{-1} de cloreto de sódio (NaCl) e 2 g L^{-1} de hidrogenoftalato de potássio (KPH) + 90 mL de água tipo I) para controle da recuperação.

Figura 45 – Esquema do procedimento para a realização do ensaio de serie de sólidos

Fonte: autor da dissertação

5.4.4 Ânions

O procedimento para análise de ânions adotou o estabelecido na US EPA 300.0 [105] – Determination of inorganic anions by ion chromatography

As concentrações das espécies iônicas (Fluoreto, Cloreto, Nitrito em N, Nitrato em N e Sulfato), foram determinadas pela técnica analítica de cromatografia iônica, utilizando o Cromatógrafo de Íons (Figura 46) modelo ICS-2100 da marca DIONEX.

Figura 46 – Cromatógrafo de íons modelo ICS-2100

Fonte: autor da dissertação

O sistema cromatográfico é equipado (Figura 47) com um sistema supressor autorregenerante, detecção condutimétrica, pré-coluna analítica AG19 2X50mm, coluna analítica AS19 2X250mm, injetor loop de 20 μ L de amostras, sendo a amostra introduzida no sistema de injeção por meio de um amostrador automático modelo AS-DV. Para o método de detecção, a eluição ocorreu em 35 minutos modo gradiente de 5 a 50mM de KOH gerado eletroquimicamente com fluxo 0,3mL/min. As análises foram gerenciadas automaticamente por computador com o auxílio do software Chromeleon 6.8 e os resultados foram obtidos através de uma curva analítica preparada a partir de um padrão de 7 ânions rastreáveis ao SI empregando padrões ThermoFisher/DIONEX.

Figura 47 – Esquema de funcionamento do sistema cromatográfico

Fonte: autor da dissertação

O sistema é estabilizado por 60 minutos antes da utilização, as amostras são rodadas em duplicatas e todos os meses são feitas curvas analíticas.

As curvas analíticas foram obtidas correlacionando área do pico em função da concentração do analito, sendo que para o preparo da curva foram definidos seis pontos com concentrações finais conhecidas, como pode ser observada na Tabela 7.

Tabela 7 - Concentrações de ânions definidos nos 6 pontos da curva analítica

Ânions	PA1(mg L ⁻¹)	PA2(mg L ⁻¹)	PA3(mg L ⁻¹)	PA4(mg L ⁻¹)	PA5(mg L ⁻¹)	PA6(mg L ⁻¹)
Fluoreto	0,100	0,200	0,400	1,00	2,00	4,00
Cloreto	0,500	1,00	2,00	5,00	10,00	20,00
Nitrito-N	0,152	0,304	0,609	1,522	3,043	6,087
Nitrato-N	0,113	0,226	0,452	1,129	2,258	4,516
Sulfato	0,500	1,00	2,00	5,00	10,00	20,00

Fonte: autor da dissertação

O controle de qualidade da quantificação dos resultados foi feito por meio de controles internos como solução teste em branco (água ultrapura) e um padrão de verificação do ponto do meio da curva, denominado de PA3 e os controles externos com a participação em programas interlaboratoriais. Na Tabela 8 são apresentados os limites de detecção do método de determinação de ânions por cromatografia de íons, sendo que o limite de quantificação das metodologias estabelecidas foi adotado como o menor ponto da curva analítica.

Tabela 8 - Limite de detecção e faixa de trabalho do método utilizado na detecção de ânions

Componente	Faixa de trabalho (mg L ⁻¹)		Limite de detecção (mg L ⁻¹)	
	US EPA	Método IPEN	US EPA	Método IPEN
Fluoreto	0,26 – 8,49	0,1 – 4,0	0,01	0,02
Cloreto	0,78 – 26,0	0,5 – 20,0	0,02	0,10
Nitrito-N	0,36 – 12,0	0,152 – 6,087	0,004	0,10
Nitrato-N	0,42 – 14,0	0,113 – 4,516	0,002	0,10
Sulfato	2,85 – 95,0	0,5 – 20,0	0,02	0,10

Fonte: [105]

5.4.5 Metais e semi-metais

Para determinação quantitativa de metais e semi-metais recorreu-se a técnicas analíticas de alta detectabilidade ou elevada sensibilidade, de forma a quantificar os elementos investigados em µg.L⁻¹. O procedimento para análise de metais adotou o estabelecido na EPA 7741A [102] para Se, EPA 7062 [103] para As, EPA 7470A [104] para Hg e EPA3015A (preparação) [98] e EPA6010C (análise) [101] para os demais metais. Foram utilizadas duas técnicas:

- Espectrofotometria de absorção atômica com atomização por forno de grafita (GF AAS), para determinar os elementos As, Cd, Pb e Se . O equipamento utilizado foi um absorção atômica (Figura 48) AAnalyst 800, Perkin Elmer com forno de grafita
- Espectrofotometria de absorção atômica com atomização por geração de vapor frio (CV AAS), para determinar o elemento Hg. O equipamento utilizado foi um absorção atômica (Figura 48) AAnalyst 800, Perkin Elmer com sistema de geração de hidretos modelo FIAS-400 (*Flow Injection Analyses Sytem*), isto é o sistema de análise em fluxo.

Figura 48 – Espectrômetro de absorção atômica utilizado para determinação de cinco elementos (As, Cd, Pb, Se e Hg).

Fonte: autor da dissertação

O sistema de funcionamento do espectrômetro de absorção atômica é apresentado na Figura 49.

Figura 49 – Sistema de funcionamento do espectrômetro de absorção atômica por meio do diagrama de blocos

Fonte: [92]

- Espectrometria de emissão ótica com fonte de plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP-OES), para determinar os 24 elementos (Ag, Al, B, Ba, Be, Co, Cr, Ca, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Si, Sn, Sr, Ti, V e Zn). O equipamento utilizado foi ARCOS – Espectro Flame M120 (Figura 50), com tocha axial, que dispõe de recursos em seu programa que possibilitam uma escolha criteriosa das linhas de emissão a serem utilizadas para cada elemento, nebulizador concêntrico Meinhard e câmara de spray tipo Scott.

Figura 50 – Espectrômetro de emissão ótica com fonte de plasma de argônio indutivamente acoplado utilizado para determinação de 24 elementos.

Fonte: autor da dissertação

O sistema de funcionamento do espectrômetro de emissão ótica com fonte de plasma de argônio indutivamente acoplado é apresentado na Figura 51.

Figura 51 – Sistema de funcionamento do ICP-OES por meio do diagrama de blocos

Fonte: [72, p. 58]

Foram elaborados programas analíticos para a determinação de todos os elementos de interesse. Utilizou-se o método da curva analítica na determinação dos elementos, por meio do uso de soluções-padrão multielementares com os limites de quantificação apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Limite de quantificação para os ensaios de metais

Elemento	Limite de Quantificação (mg L⁻¹)
Al	0,01
Ba	0,01
Be	0,02
B	0,2
Cd	0,0015
Co	0,01
Cu	0,02
Cr	0,04
Fe	0,05
Mn	0,02
Mo	0,02
Ni	0,01
Ag	0,02
V	0,02
Zn	0,01
Ca	0,2
K	0,1
Li	0,1
Mg	0,5
Na	0,5
P	0,02
Si	0,5
Sn	0,1
Sr	0,01
Ti	0,1
Pb	0,004
As	0,006
Se	0,004
Hg	0,001

Fonte: [72]; [106]; [107]; [108] e [109]

Os parâmetros estudados descritos acima foram utilizados para analisar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas da área ao entorno do empreendimento, sendo que os resultados obtidos após os ensaios foram organizados e interpretados por meio de balanço iônico, diagrama de piper e tratamento estatístico de dados, apresentados a seguir.

5.4.6 Validação e Controle de qualidade

O controle de qualidade analítico para as amostras baseou-se em análises de brancos, amostras fortificadas e duplicatas submetidas ao mesmo

procedimento analítico das amostras. A validação da metodologia analítica foi validada segundo ABNT ISO/IEC 17025/2005 para a análise de água [106] e [72].

Os laboratórios participam regularmente de programas interlaboratoriais nacionais e internacionais, apresentando desempenho satisfatório e avaliação contínua de seu desempenho. Detalhes das atividades de controle de qualidade e das melhorias dos ensaios são detalhados nos trabalhos de [110] e [111].

5.4.7 Boxplot

O boxplot (gráfico de caixa ou whisker) é um gráfico utilizado para avaliar a distribuição experimental dos dados. É formado pela “tendência central não-paramétrica (mediana), dispersão (quartis 25% e 75%), forma de distribuição ou simetria da amostra (valores pontuais mínimo e máximo), valores atípicos (outliers) e extremos” (Figura 52) [112, p. 1].

Figura 52 – Estrutura básica do boxplot em orientação vertical

Fonte: [112, p. 2]

Os limites são calculados da forma abaixo

Limite inferior: $Q_1 - 1,5(Q_3 - Q_1)$.

Limite superior: $Q_3 + 1,5(Q_3 - Q_1)$.

O boxplot foi utilizado neste trabalho como uma ferramenta gráfica de comparação visual entre os dados amostrados obtidos e não como uma ferramenta estatística. Logo, duas ou mais caixas foram colocadas lado a lado e comparadas à variabilidade entre elas, a mediana e assim por diante [112].

5.4.8 Balanço Iônico

O balanço iônico é empregado na avaliação dos resultados de ensaios de águas a fim de verificar a confiabilidade dos resultados e se necessário para eliminar do conjunto de dados amostras suspeitas.

“Numa análise hidroquímica completa, a concentração total dos cátions deve ser aproximadamente igual à concentração total dos ânions” [113, p. 5]. A soma dos constituintes iônicos que representam quase a totalidade dos íons presentes de todas as águas são os cátions: sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}) e os ânions: cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^-) e bicarbonato (HCO_3^-) [113].

Logo, o desvio percentual desta igualdade é determinado pelo coeficiente de Erro prático (Ep), definido por Logan [114] por meio da equação (04) no Balanço Iônico (B.I.) I e por Custódio e Llamas [115] por meio da equação (05) no Balanço Iônico (B.I.) II.

$$Ep(\%) = \left[\frac{r\Sigma\text{ânions} - r\Sigma\text{cations}}{r\Sigma\text{ânions} + r\Sigma\text{cations}} \right] \times 100 \quad (04)$$

$$Ep(\%) = \left[\frac{r\Sigma\text{ânions} - r\Sigma\text{cations}}{r\Sigma\text{ânions} + r\Sigma\text{cations}} \right] \times 200 \quad (05)$$

Onde:

$r\Sigma A$ = Concentração total de ânions, em mEq L^{-1}

$r\Sigma C$ = Concentração total de cátions, em mEq L^{-1}

E_p = erro das análises (%)

As concentrações das amostras foram transformadas de mg L^{-1} para mEq L^{-1} .

Levando-se em consideração o erro teórico, que é o erro máximo permitido (E.P.) para a somatória dos valores dos ânions ou cátions para o B.I. I [114], conforme Tabela 10 e para B.I. II [115] os valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$), conforme Tabela 11.

Tabela 10 – Erro teórico máximo permitido nas análises de íons maiores por meio da somatória dos ânions ou cátions

Σ ânions ou Σ cátions (meq/L)	<1	1	2	6	10	30	>30
E.P. (%)	15	10	6	4	3	2	1

Fonte: [114]

Tabela 11 - Erro teórico máximo permitido nas análises de íons maiores por meio das concentrações de condutividade elétrica

Condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)	50	200	500	2000	>2000
E.P. (%)	30	10	8	4	<4

Fonte: [115]

5.4.9 Classificação Química das Águas

As características físico-químicas das águas subterrâneas e superficiais são influenciadas pelo teor de substâncias dissolvidas e outras reações químicas com sólidos, líquidos e gases, que vão se modificando conforme o seu ciclo hidrológico. Inicialmente contém a composição das águas de recarga e posteriormente da evolução química, influenciada por diversos fatores como clima, tempo de contato entre a água e o meio físico e até mesmo da ação antrópica [53].

Variações naturais na qualidade das águas são normalmente pequenas, por isso que qualquer mudança de característica diferente do esperado pode indicar a presença de situações anormais, como metamorfismo de rochas e contaminação antrópica [53].

Portanto, é primordial sabermos quais os parâmetros químicos de um determinado aquífero e bacia hidrográfica, para identificarmos quais mudanças podem ser consideradas naturais ou resultantes de fontes antrópicas.

A partir da construção do Diagrama de Piper (útil para identificar também misturas de fluxo, fontes de poluição e efeito de recarga da água da chuva), obtido pelo software de uso livre Qualigraf, elaborado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) em 2001 [116], foi possível obter a classificação química das águas subterrâneas e superficiais dos pontos de amostragem.

As avaliações foram realizadas com base nos resultados obtidos nos meses de abril, junho, setembro e dezembro de 2015 para todos os pontos, servindo para classificar e comparar os distintos grupos de águas quanto aos ânions e cátions majoritários em cálcica, cloretada, bicarbonatada, sódica, magnésiana, sulfatada ou mista.

Para se calcular os valores percentuais de cada cátion ou ânion são usadas às Equações (6) e (7), respectivamente, onde as concentrações das variáveis foram expressas em unidade de mEq L^{-1} [117].

$$X (\%) = \frac{C}{([Na^+] + [K^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])} \times 100 \quad (6)$$

$$Y (\%) = \frac{A}{([HCO_3^-] + [Cl^-] + [SO_4^{2-}])} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

C = concentração de $(Na^+ + K^+)$, Ca^{2+} ou Mg^{2+} , em mEq L^{-1}

A = concentração de HCO_3^- , Cl^- ou SO_4^{2-} , em mEq L^{-1}

X = Distribuição percentual da espécie iônica C (%)

Y = distribuição percentual da espécie iônica A (%).

Se algum cátion ou ânion perfizer mais que 50% do conteúdo iônico total, a água é classificada por esta espécie dominante. Caso isto não ocorra à água é classificada pelos dois íons mais abundantes [117].

O Diagrama é construído plotando os valores percentuais das concentrações dos principais ânions (HCO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-}) e dos principais cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) em dois triângulos, um do lado direito referente a ânions, outro do lado esquerdo referente a cátions e um losango no centro que combina as informações dos dois triângulos, prolongando os pontos em sua área e classificando as amostras de acordo com suas fácies hidroquímica (Figura 53) [118].

Figura 53 - Representação da classificação química pelo diagrama de Piper

Fonte: [116]

Sendo assim, a classificação química das águas, em relação à concentração de íons majoritários (ânions e cátions), mostra-se importante por fornecer informações sobre a dinâmica e qualidade do aquífero em comparação com variações sazonais e efeitos antropogênicos.

5.4.10 Tratamento estatístico de dados

O estudo da qualidade de água superficial e subterrânea leva em consideração a caracterização química destas águas na área de estudo, envolvendo a análise de um grande número de variáveis. Muitas vezes a decisão sobre quais variáveis contém informações químicas relevantes é feita por meio da experiência do analista, sendo baseado em critérios subjetivos. A fim de realizar uma avaliação objetiva dos dados este estudo empregou a análise estatística multivariada com a identificação de componentes principais e agrupamento hierárquico (cluster) por meio do Software Statistica 8.0 [119].

“A análise de agrupamentos (cluster analysis) é o termo usado para descrever diversas técnicas numéricas cujo propósito fundamental é classificar os valores de uma matriz de dados sob estudo em grupos discretos. A técnica classificatória multivariada pode ser utilizada quando se deseja explorar as similaridades entre casos, indivíduos ou objetos ou entre variáveis definindo - os em grupos, considerando simultaneamente, no primeiro caso, todas as variáveis medidas em cada indivíduo e, no segundo, todos os indivíduos nos quais foram feitas as mesmas mensurações. Procura-se por agrupamentos homogêneos de itens representados por pontos num espaço n-dimensional em um número conveniente de grupos relacionando-os através de coeficientes de similaridades ou de correspondências.” [120, p. 35].

A análise de agrupamentos utilizada neste trabalho foi o de agrupamentos hierárquicos. Baseado em uma matriz de dados inicial obtém-se uma matriz simétrica de similaridades, começando assim uma detecção de pares de casos com a mais baixa distância ou, a mais alta similaridade [120].

A técnica de componentes principais “consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais” [121, p. 3]. Cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, sendo independentes entre si e com o propósito de diminuir a quantidade de dados com pouca perda de informação e obter o máximo de relações nas variações contidas nos dados [121].

A matriz de dados estudada foi composta, para água superficial, de 24 amostras (6 amostras em 4 coletas) e 24 parâmetros analíticos ensaiados e para água subterrânea, de 16 amostras (4 amostras em 4 coletas) e 24 parâmetros analíticos ensaiados.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados (apêndice A e B) e discussões sobre as concentrações dos parâmetros de qualidade da água avaliados: pH, temperatura, alcalinidade, condutividade, sólidos dissolvidos totais, ânions e metais totais, por meio de gráficos de barra e gráficos de caixa (boxplot). Também será discutido o resultado do emprego do balanço iônico a fim de verificar a concentração total dos cátions e ânions fornecendo confiabilidade aos resultados, bem como os resultados da classificação química das águas por meio do diagrama de Piper para identificar a composição química natural das águas e seu comportamento sazonal e da análise estatística por meio da técnica de componentes principais e análise multivariada com agrupamentos hierárquicos (cluster) para aplicação de futuros índices de qualidade de água.

6.1 Análise física e química da água

As análises físicas e químicas dos pontos amostrados foram avaliadas considerando os índices pluviométricos mensais de 2015 por meio da Figura 54, que compara a chuva mensal acumulada por mês em 2015 com a média de chuva acumulada por mês dos dados climatológicos calculados para o período de 1961 a 1990 na região de Sorocaba [122].

Figura 54 – Comparação da chuva mensal acumulada por mês em 2015 com a média de chuva acumulada por mês de 1961 - 1990 na região de Sorocaba

Fonte: [122] -modificado

A comparação entre as chuvas acumuladas mensais de 2015 com as médias das chuvas acumuladas mensais do período de 1961 a 1990 em Sorocaba demonstram que o comportamento destas em 2015 foi semelhante ao banco de dados de 1961 a 1990, mas com uma menor quantidade de chuva acumulada em todos os meses, com exceção dos meses de julho, setembro e novembro, que tiveram uma chuva acumulada maior do que o banco de dados.

As amostragens foram realizadas no começo dos meses de abril, setembro e dezembro, por isso observamos também os meses anteriores aos de coleta para entender as variações de pH das amostras. A amostragem do mês de junho foi a única que ocorreu no fim do mês, podendo assim levar em consideração somente o período de chuvas deste.

6.1.1 pH

Avaliando a variação do pH, em todos os pontos amostrados (Figura 55), podemos observar que a água superficial, em geral, não apresentou valores fora do intervalo (6,0 a 9,0) estabelecido pela Resolução CONAMA 357/ 2005 [50]. Para os pontos RMB-001, RMB-003 e RMB-010, na coleta de

dezembro/2015, ocorreram valores um pouco abaixo (5,0 – 5,5) do estabelecido pela legislação.

Figura 55 - Valores de pH nos 6 pontos de água superficial da área de influência do RMB

Fonte: autor da dissertação

Avaliando a variação do pH, em todos os pontos amostrados (Figura 56) podemos observar que a água subterrânea, em geral, não apresentou valores fora do intervalo (6,0 a 9,5) estabelecido pela Portaria 2.914 de 2011 [69]. Para o ponto RMB-007, na coleta de setembro (pH=5,63) e dezembro (pH=4,5), ocorreram valores abaixo do estabelecido pela legislação.

Figura 56 - Valores de pH nos 4 pontos de água subterrânea da área de influência do RMB

Fonte: autor da dissertação

Segundo a CETESB [123, p. 53], no período 2013 a 2015 as águas do “Aquífero Tubarão variam de doces a fracamente salinas, sendo que nesse triênio o pH variou de 4,5 a 10,0”, logo esta variação de pH é normal do aquífero.

Os menores valores de pH foram observados na coleta de dezembro/2015, tanto para água superficial como para a água subterrânea, exceto nos pontos RMB-002, 006 e 008. Este comportamento foi atribuído ao período de chuvas, que foi intenso em novembro e dezembro de 2015 (Figura 54).

Segundo Von Sperling [124], o clima interfere na qualidade da água a partir da precipitação, que proporciona o escoamento ou infiltração superficial, que é responsável por carregar partículas de solo (aumentando os sólidos em suspensão), compostos nitrogenados, carbono orgânico, substâncias presentes ou íons oriundos da dissolução de rochas para os corpos d’água.

Portanto, para os pontos nos quais o decréscimo de pH foi observado, podem ter ocorrido, no período de chuva, a lavagem de superfícies com espécies ácidas, que levaram a alteração dos valores de pH de águas superficiais e subterrâneas no mês de dezembro para as amostras [124]. Em um estudo no Estado de Minas Gerais, na microbacia do Córrego Banguelo, foi observado que na maioria dos pontos monitorados a água estava mais ácida também no período de chuvas, estando associada ao aumento do teor de ácidos orgânicos [125]. Segundo Naime e Fagundes [126], as águas naturais podem ter valores de pH entre 6 a 8, porém os valores de pH podem baixar em função do aumento no regime pluviométrico.

A distribuição de pH nas águas superficiais e subterrâneas em 2015 foi similar entre as amostras, mostrando um caráter neutro das águas ($\text{pH}=7$) e dentro da faixa ideal para os organismos aquáticos. Apresentam uma faixa de pH de 5,00 a 7,51 com média de 6,57 para água superficial e uma faixa de 4,50 a 7,93 com média de 6,77 para água subterrânea (Figura 57).

Figura 57 – Distribuição de pH nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

Essa variação de pH nas amostras de água, devem-se aos valores de pH estarem relacionados a uma série de fatores tanto naturais (absorção de gases atmosféricos, oxidação de matéria orgânica, fotossíntese), como antropogênicos (despejo de esgotos domésticos e industriais, lavagem ácida de processos industriais, fertilizantes) que alteram os valores de pH das águas [124].

6.1.2 Temperatura

Os valores de temperatura para as águas superficiais (Figura 58) demonstraram comportamento similar em todos os pontos, exceto o RMB-009. O comportamento observado mostrou que em meses mais frios (junho e setembro) foram observados os menores valores de temperatura nas águas, com uma média de 18 °C e nos meses mais quentes (abril e dezembro) maiores valores de temperatura nas águas, com uma média de 21 °C.

Conforme evidenciado em estudo de caracterização sazonal da temperatura da água dos reservatórios Passo Real e Dona Francisca-RS, as temperaturas mínimas também foram registradas no mês de junho e as máximas em janeiro [127]. A justificativa para este comportamento é que a temperatura

acompanha a variação climática da região e das estações do ano, registrando na estação de verão os meses com maior incidência de radiação solar [53].

O valor máximo de 26 °C ocorreu no mês dezembro para a amostra RMB-004 e o valor mínimo de 13 °C no mês junho para a amostra RMB-010.

Figura 58 - Valores de temperatura medidos nos 6 pontos de água superficial da área de influência do RMB

Fonte: autor da dissertação

A Figura 59 mostra os valores medidos de temperatura para as águas subterrâneas, que apresentaram um comportamento similar em todos os pontos, exceto no RMB-007 no mês de setembro. Por ser mais constante, a água subterrânea não sofre tanto com a sazonalidade em relação à água superficial, logo sua temperatura é mais estável.

O valor máximo de 32 °C ocorreu em setembro na amostra RMB-007, enquanto que o valor mínimo foi de 12 °C no mês de abril para a amostra RMB-008.

Figura 59 - Valores de temperatura medidos nos 4 pontos de água subterrânea da área de influência do RMB

Fonte: autor da dissertação

No mês de dezembro foram observados os valores mais altos de temperatura em todos os pontos, correspondente à estação mais quente do ano, exceto nos pontos RMB-007 e RMB-009.

Os pontos RMB-007 e RMB-009 estão localizados na Fazenda São Benedito e mesmo sendo amostras distintas (água subterrânea e água superficial) ambas tiveram uma temperatura superior no mês de setembro. Este aumento de temperatura pode ter influência do horário em que as coletas foram realizadas nestes pontos.

A distribuição da temperatura na água superficial e subterrânea (Figura 60) foi similar entre os pontos, sendo o RMB-003 o ponto com maiores temperaturas e o RMB-001 com os menores. Em média a temperatura das águas superficiais foi de 20°C e das águas subterrâneas de 21°C.

Os valores encontrados de temperatura nos pontos amostrais informam que há um equilíbrio no meio, diretamente influenciado pela estação seca e chuvosa.

Figura 60 – Distribuição de temperatura nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

Essa variação de temperatura entre as amostras deve-se a diversos fatores que podem influenciar a temperatura da água, como a latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade [63].

6.1.3 Alcalinidade

As águas naturais apresentam valores de alcalinidade na faixa de 30 a 500 mg L⁻¹ de CaCO₃. Sendo que uma água que possui alta alcalinidade apresenta valores acima de 2000 mg L⁻¹ de CaCO₃ e uma água que possui baixa alcalinidade apresenta valores abaixo de 20 mg L⁻¹ de CaCO₃ [128]. Logo, os valores de alcalinidade dos pontos amostrados encontram-se na faixa da maioria das águas naturais.

Em todos os pontos de água superficial (Figura 61), a concentração de CaCO₃ em mg L⁻¹ variou de forma semelhante nos pontos entre as coletas. Todos os pontos tiveram a maior concentração de CaCO₃ em mg L⁻¹ no mês de abril e dezembro. Isso ocorreu pela presença de íons bicarbonato (HCO₃⁻) comuns em água naturais onde o pH se encontra na faixa de 4,6 a 8,3 [129].

Figura 61 - Valores de alcalinidade medidos nos 6 pontos de água superficial da área de influência do RMB

Fonte: autor da dissertação

Em todos os pontos de água subterrânea (Figura 62) a coleta de abril foi a de maior concentração de CaCO_3 em mg L^{-1} , mantendo se estável em todos os pontos de amostragem durante as demais coletas realizadas. Os pontos RMB-005 e RMB-006, comparados aos demais, apresentaram as maiores concentrações de alcalinidade.

Figura 62 - Valores de alcalinidade medidos nos 4 pontos de água subterrânea da área de influência do RMB

Fonte: autor da dissertação

A distribuição da alcalinidade na água superficial e subterrânea (Figura 63) foi diferente entre os pontos, com uma máxima de 137 mg L^{-1} de CaCO_3 , mínima de 21 mg L^{-1} de CaCO_3 e média de 70 mg L^{-1} de CaCO_3 para água superficial e máxima de 240 mg L^{-1} de CaCO_3 , mínima de 16 mg L^{-1} de CaCO_3 e média de 140 mg L^{-1} de CaCO_3 para água subterrânea.

Figura 63 – Distribuição de alcalinidade nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

Os pontos RMB-005 e RMB-006 apresentaram valores elevados de alcalinidade em relação aos demais, enquanto os pontos RMB-010 e RMB-007 valores baixos.

Os pontos RMB-005 e RMB-006 estão localizados na Fazenda Ipanema e são oriundos de dois poços artesianos: um localizado a beira do lago existente na FLONA, com profundidade de cerca de 120 m, e o outro que abastece a vila residencial, com profundidade de cerca de 100 m. Está elevada alcalinidade em relação aos demais pontos, ocorre com frequência em poços mais profundos e muitas vezes se origina na penetração e decomposição de águas com elevado teor de matéria orgânica (atividades vulcânicas ou ação antrópica) ou interação solo rocha, que aumenta a quantidade de carbonato e bicarbonato nas águas subterrâneas [62].

6.1.4 Condutividade

Os resultados de condutividade medidos nos 6 pontos de água superficial (Figura 64) não tiveram grandes variações nas quatro coletas realizadas, exceto no mês de setembro que houve um aumento de condutividade nos pontos RMB-003 e RMB-004, caracterizados pelo aumento principalmente dos íons sulfato e sódio nestes pontos. Possivelmente este aumento foi decorrente de algum lançamento industrial no Rio Sorocaba ou excesso de fertilizantes agrícolas carregados e dissolvidos pelas águas pluviais, já que a água possui capacidade de dissolver e reagir com a maioria das substâncias químicas, devido suas características físicas, químicas e estruturais, servindo de suporte e veículo para partículas de diversos tamanhos [62].

Figura 64 - Valores de condutividade medidos nos 6 pontos de água superficial da área de influência do RMB

Fonte: autor da dissertação

A Figura 65 apresenta os resultados de condutividade medidos nos 4 pontos de água subterrânea. Não são observadas grandes variações entre os meses de coleta. As amostras dos pontos RMB-005 e RMB-006 apresentaram concentrações de condutividade maiores quando comparadas aos demais pontos.

Figura 65 - Valores de condutividade medidos nos 4 pontos de água subterrânea da área de influência do RMB

Fonte: autor da dissertação

A distribuição da condutividade para águas superficiais e subterrâneas não foi homogênea entre os pontos (Figura 66). As águas superficiais apresentaram valores médios de $152 \mu\text{S cm}^{-1}$. Nas águas subterrâneas os valores foram maiores, com uma média de $257 \mu\text{S cm}^{-1}$, valores máximos de $400 \mu\text{S cm}^{-1}$ e mínimos de $90 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Figura 66 – Distribuição de condutividade nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

Os pontos RMB-001, RMB-003 e RMB-004 apresentaram os maiores valores de condutividade quando comparados aos demais pontos de água superficial. O ponto RMB-001 está localizado no Ribeirão do Ferro, próximo ao assentamento Ipanema e a plantações de cana, possivelmente estes maiores valores de condutividade ocorreram por meio do carreamento de fertilizantes dos solos para o Ribeirão do Ferro. Os pontos RMB-003 e RMB-004 estão localizados no Rio Sorocaba, que é formado pelos rios Sorocabuçu e Sorocamirim, cujas cabeceiras se encontram nas cidades de Ibiúna, São Roque, Cotia e Vargem Grande Paulista. Possivelmente estes valores de condutividade ocorreram por falta de saneamento e intensificação das atividades agrícolas e industriais no entorno do Rio Sorocaba.

Os pontos RMB-005 e RMB-006 (água subterrânea) apresentaram os maiores valores de condutividade, devido à presença de maior quantidade dos íons cálcio, magnésio e sódio em relação às outras amostras, que contribuem para a elevação da condutividade, possivelmente por influência das rochas da região.

6.1.5 Sólidos dissolvidos totais

Em todos os meses, os pontos de amostragem de água superficial, apresentaram concentrações abaixo do máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357 (500 mg L^{-1}). A concentração de sólidos dissolvidos totais foi estável nas quatro coletas amostradas, exceto no mês de setembro nos pontos RMB-003 e RMB-004. Este aumento de sólidos dissolvidos totais ocorreu possivelmente pelo aumento das concentrações dos íons fósforo, manganês, ferro, alumínio, sulfato e fluoreto nestes pontos no mês de setembro (Figura 67).

Figura 67 - Valores de sólidos dissolvidos totais nos 6 pontos de água superficial da área de influência do RMB

Fonte: autor da dissertação

Os pontos de amostragem de água subterrânea (Figura 68) apresentaram para todas as coletas, concentrações abaixo do valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 (1000 mg L^{-1}), mantendo-se estável nas quatro coletas.

Figura 68 - Valores de sólidos totais dissolvidos nos 4 pontos de água subterrânea da área de influência do RMB

Fonte: autor da dissertação

A distribuição dos sólidos totais dissolvidos para águas superficiais apresentou um valor máximo de 130 mg L^{-1} , mínimo de 13 mg L^{-1} e médio de 76 mg L^{-1} de sólidos dissolvidos totais para água superficial e máximo de 200 mg L^{-1} , mínimo

de 45 mg L⁻¹ e médio de 129 mg L⁻¹ de sólidos dissolvidos totais para água subterrânea (Figura 69).

Figura 69 – Distribuição dos sólidos totais dissolvidos nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

Os pontos RMB-001, RMB-003 e RMB-004 apresentaram uma mesma faixa de distribuição, possivelmente por serem amostras com mais influências antrópicas, seja de indústrias, como de áreas agrícolas. O RMB-002 apresentou uma concentração menor de sólidos totais dissolvidos em relação ao RMB-001, provavelmente devido a sua localização ser mais distante dos pastos e do assentamento Ipanema, sendo essa distância suficiente para a autodepuração do Ribeirão do Ferro.

Para as águas subterrâneas, os pontos RMB-005 e RMB-006 apresentaram uma faixa de distribuição parecida. Esses dois pontos de amostragem estão localizados próximos, apresentando assim as mesmas características de solos e rochas. Já os pontos RMB-007 e RMB-008, estão localizados distantes entre si e dos demais pontos de amostragem, apresentando

assim uma faixa de distribuição diferente, com concentrações de sólidos dissolvidos totais menores do que os outros dois pontos, apesar de pertencerem ao mesmo aquífero.

Com a comparação dos resultados, foi possível observar, que tanto na água superficial, como subterrânea, a concentração de sólidos totais dissolvidos variou juntamente com a concentração de condutividade em todos os pontos e meses (Figura 70). Sabe-se que a condutividade elétrica é diretamente proporcional ao teor de sólidos dissolvidos sob a forma de íons. [62].

Figura 70 – Relação entre a concentração de sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica nos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

Observa-se na Figura 70 que a concentração de sólidos dissolvidos totais é aproximadamente a metade da concentração de condutividade medida em todos os pontos.

Os parâmetros alcalinidade, condutividade e sólidos dissolvidos totais apresentaram baixas concentrações em todos os pontos amostrais, indicando pouca dissolução de sais e sólidos.

6.2 Ânions

A seguir são apresentadas as distribuições dos ânions medidos nas quatro campanhas de campo dos 10 pontos de água na área do entorno do RMB.

Observou-se que em todos os pontos coletados de água subterrânea e superficial (Tabela 12, Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15) todas as concentrações dos ânions (F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- e SO_4^{2-}) analisados, nos meses de abril, junho, setembro e dezembro, atendem os valores máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/08 [48] para água subterrânea e valores máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 [50] para água superficial.

6.2.1 Fluoreto

A média de concentração de fluoreto nas águas superficiais foi de 0,28 mg L⁻¹ com máxima de 0,69 mg L⁻¹ no ponto RMB-004. Para as águas subterrâneas o valor médio é de 0,41 mg L⁻¹ com máxima de 1,16 mg L⁻¹ no ponto RMB-005 (Tabela 12).

Não foram observadas grandes variações da concentração de fluoreto durante as quatro coletas. No ponto RMB-001 (água superficial) nos meses de junho e setembro, foi observada uma diminuição da concentração de fluoreto. Já no ponto RMB-006 (água subterrânea) foi observada uma diminuição da concentração de fluoreto com o passar dos meses.

Tabela 12 – Concentração e média do fluoreto medido nas amostras de água superficiais e subterrâneas nos quatro meses de amostragem, assim como os limites estabelecidos pela legislação

Água	Ponto	Abril	Junho	Setembro	Dezembro	Média	CONAMA 357	CONAMA 396
		mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
Superficial	RMB001	0,31	<0,10	<0,10	0,25	0,19	1,40	-
	RMB002	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10	1,40	-
	RMB003	0,41	0,36	0,52	0,45	0,44	1,40	-
	RMB004	0,42	0,34	0,67	0,69	0,53	1,40	-
	RMB009	0,41	0,46	0,37	0,41	0,41	1,40	-
	RMB010	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	1,40	-
Subterrânea	RMB005	NA	1,16	1,15	0,99	1,15	-	1,50
	RMB006	NA	1,14	0,76	0,32	0,74	-	1,50
	RMB007	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	-	1,50
	RMB008	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	-	1,50

Limite de detecção do fluoreto <0,02 mg L⁻¹

Limite de quantificação do fluoreto <0,10 mg L⁻¹

NA-não analisado

Fonte: autor da dissertação

As concentrações de fluoreto (Figura 71) foram maiores nos pontos RMB-005 e RMB-006 (água subterrânea), quando comparadas as amostras de águas superficiais. Os pontos RMB-002, RMB-010, RMB-007 e RMB-008 apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação e detecção da metodologia analítica.

Figura 71 – Distribuição do fluoreto nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

As concentrações de fluoreto nas águas amostradas provavelmente estão relacionadas com o grau de interação da água subterrânea e da rocha e ocorrência do mineral flúor [130].

6.2.2 Cloreto

A média de concentração de cloreto nas águas superficiais foi de 7,90 mg L⁻¹, com uma máxima de 18,41 mg L⁻¹ no ponto RMB-003. Já para as águas subterrâneas apresentou uma concentração média de 5,64 mg L⁻¹ e máxima de 18,20 no ponto RMB-007 (Tabela 13). Todos os pontos, exceto o RMB-007 apresentaram um decréscimo de concentração de cloreto no mês de dezembro.

Tabela 13 – Concentração e média do cloreto medido nas amostras de água superficiais e subterrâneas nos quatro meses de amostragem, assim como os limites estabelecidos pela legislação

Água	Ponto	Abril	Junho	Setembro	Dezembro	Média	CONAMA
		mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	357 e 396 mg L ⁻¹
Superficial	RMB001	3,68	5,70	4,18	2,26	3,95	250,00
	RMB002	2,14	1,86	2,69	1,74	2,11	250,00
	RMB003	16,89	17,37	17,38	8,86	15,12	250,00
	RMB004	18,41	16,52	18,39	9,59	15,73	250,00
	RMB009	9,90	10,16	9,75	8,34	9,54	250,00
	RMB010	<0,50	<0,50	2,27	<0,50	0,94	250,00
Subterrânea	RMB005	NA	2,57	2,35	2,09	2,33	250,00
	RMB006	NA	2,62	2,07	1,41	2,03	250,00
	RMB007	17,30	13,40	13,60	18,20	15,63	250,00
	RMB008	0,83	1,05	0,86	0,65	0,85	250,00

Limite de quantificação do cloreto <0,50 mg L⁻¹

NA-não analisado

Fonte: autor da dissertação

A distribuição de cloreto nas águas superficiais e subterrâneas variou entre as amostras (Figura 72). Os pontos RMB-003, RMB-004 e RMB-007 apresentaram as maiores concentrações de cloreto, com uma distribuição similar.

Nos pontos de água superficial, RMB-003 e RMB-004 esta concentração mais elevada em relação aos demais pontos, possivelmente é característica do Rio Sorocaba. No ponto RMB-007 de água subterrânea, a possibilidade das maiores concentrações de cloreto são de uma influência dos solos e rochas da região, já que o cloreto é um ânion normalmente presente nas águas subterrâneas originados pela dissolução de minerais e do solo com os quais a água esteve em contato [11]. Mas devido os outros pontos amostrados de água subterrânea não apresentarem valores similares, possivelmente estas concentração são influenciadas pela infiltração de águas utilizadas na irrigação de culturas.

Figura 72 – Distribuição do cloreto nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

6.2.3 Nitrato-N

Na Tabela 14 são apresentados os resultados de concentração do nitrato-N nas amostras de água superficial e subterrâneas. Observa-se para a água superficial, um valor máximo de 0,639 mg L⁻¹ no ponto RMB-003 no mês de junho e na água subterrânea de 3,927 mg L⁻¹ no ponto RMB-007 no mês de dezembro. Não houve uma variação da concentração de Nitrato-N nas amostras em relação às coletas.

Tabela 14 – Concentração e média do nitrato-N medido nas amostras de água superficiais e subterrâneas nos quatro meses de amostragem, assim como os limites estabelecidos pela legislação

Água	Ponto	Abril	Junho	Setembro	Dezembro	Média	CONAMA 357 e 396
		mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
Superficial	RMB001	0,237	0,563	0,337	<0,113	0,312	10,000
	RMB002	0,264	0,341	0,250	0,233	0,272	10,000
	RMB003	0,271	0,639	0,443	0,486	0,460	10,000
	RMB004	0,113	0,415	0,209	0,501	0,310	10,000
	RMB009	0,247	<0,113	<0,113	<0,113	0,147	10,000
	RMB010	0,149	<0,113	<0,113	<0,113	0,122	10,000
Subterrânea	RMB005	NA	<0,100	<0,100	<0,100	0,100	10,000
	RMB006	NA	<0,100	<0,100	<0,100	0,100	10,000
	RMB007	3,503	3,609	3,548	3,927	3,647	10,000
	RMB008	0,120	0,158	<0,113	<0,113	0,126	10,000

Limite de detecção do nitrato-N <0,100 mg L⁻¹

Limite de quantificação do nitrato-N <0,113 mg L⁻¹

NA-não analisado

Fonte: autor da dissertação

As águas superficiais apresentaram a mesma distribuição de nitrato-N, com uma média de 0,270 mg L⁻¹, enquanto que para as águas subterrâneas somente o ponto RMB-007 apresentou uma concentração maior de nitrato-N (Figura 73).

Figura 73 – Distribuição do nitrato-N nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

Estas concentrações de nitrato-N no ponto RMB-007 podem estar relacionadas ao escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados, contribuindo para a presença de diversas formas de nitrogênio, já que esse ponto fica localizado em uma área agrícola.

Não foi observada distribuição para o ânion NO_2^- (nitrito-N), apresentando valores menores do que o limite de detecção do equipamento e quantificação do método, tanto para água superficial, como para água subterrânea em todas as coletas.

6.2.4 Sulfato

A média de concentração de sulfato nas águas superficiais é de 8,60 mg L^{-1} , com uma máxima de 27,90 mg L^{-1} no ponto RMB-001 em abril. Para as águas subterrâneas foi observado um valor médio de 1,94 mg L^{-1} com máxima de 4,04 mg L^{-1} (Tabela 15).

Houve uma variação da concentração de sulfato nos pontos entre os meses, porém não foi observado um comportamento similar de sazonalidade.

Tabela 15 – Concentração e média do sulfato medido nas amostras de água superficiais e subterrâneas nos quatro meses de amostragem, assim como os limites estabelecidos pela legislação

Água	Ponto	Abril	Junho	Setembro	Dezembro	Média	CONAMA 357 e 396
		mg L^{-1}	mg L^{-1}	mg L^{-1}	mg L^{-1}	mg L^{-1}	mg L^{-1}
Superficial	RMB001	27,90	21,46	13,65	15,73	19,68	250,00
	RMB002	5,88	1,40	1,91	1,89	2,77	250,00
	RMB003	7,86	12,47	13,81	7,74	10,47	250,00
	RMB004	9,56	11,95	16,14	10,03	11,92	250,00
	RMB009	6,52	5,71	7,43	6,81	6,61	250,00
	RMB010	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10	250,00
Subterrânea	RMB005	NA	2,40	3,10	3,23	2,91	250,00
	RMB006	NA	2,41	3,40	4,04	3,28	250,00
	RMB007	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10	250,00
	RMB008	2,34	1,48	2,07	2,26	2,04	250,00

Limite de detecção do sulfato <0,10 mg L^{-1}

NA-não analisado

Fonte: autor da dissertação

A distribuição da concentração de sulfato nos pontos de água subterrânea foi similar, exceto no ponto RMB-007 que apresentou valores abaixo do limite de detecção (Figura 74). Para água superficial o ponto RMB-001 apresentou a concentração mais alta de sulfato e os pontos RMB-003 e RMB-004 tiveram uma faixa de distribuição parecida, possivelmente, por serem amostras do Rio Sorocaba.

Nas águas subterrâneas, as concentrações de sulfato se dão possivelmente por meio da dissolução de rochas e solos. Nas águas superficiais, podem ser provenientes do meio e de lançamentos de esgotos domésticos e efluentes industriais.

Figura 74 – Distribuição do sulfato nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

A diferença de concentração de sulfato entre o ponto RMB-001 e RMB-002, por serem ambas as amostras do Ribeirão do Ferro, possivelmente, se da pela autodepuração do rio e pelo sulfato ser um íon bastante solúvel em água.

6.3 Metais e semi metais totais

Na Tabela 16 são apresentados os valores médios e a faixa de distribuição dos elementos medidos nas amostras de água superficiais e subterrâneas, assim como os limites estabelecidos pelo CONAMA 357/05 [50] para corpos d'água e CONAMA 396/08 [48] e Valores Orientadores da CETESB para água subterrânea [49].

Tabela 16 - Valores médios e faixa de distribuição dos elementos medidos nas amostras de água superficiais e subterrâneas, assim como os limites estabelecidos pela legislação

Elemento	Média (mg.L ⁻¹)	Faixa concentração Totais (mg.L ⁻¹)	CETESB, 2014 (mg.L ⁻¹)	Consumo Humano (mg.L ⁻¹)	Média (mg.L ⁻¹)	Faixa concentração Totais (mg.L ⁻¹)	CLASSE 2 (mg.L ⁻¹)
Al	0,029	0,010 - 0,175	-	0,200	0,215	0,010 - 1,050	0,100 dissolvido
Ba	0,159	0,058 - 0,369	0,700	0,700	0,064	0,010 - 0,156	0,700 total
Mn	0,033	0,020 - 0,090	-	0,100	0,173	0,020 - 1,978	0,100 total
Zn	0,056	0,010 - 0,165	1,800	5,000	0,033	0,010 - 0,210	0,180 total
Fe	< 0,050		-	0,300	1,141	0,050 - 3,943	0,300 dissolvido
Ni	< 0,010		0,070	0,020	0,010	0,010 - 0,015	0,025 total 0,030 em ambientes lênticos
P	0,161	0,042 - 0,276	-	-	0,233	0,020 - 0,596	0,050 em ambientes intermediários
Na	24,427	8,428 - 43,230	-	200,0	9,92	2,622 - 20,427	-
Si	12,219	5,483 - 17,300	-	-	7,770	0,179 - 16,600	-
Sr	0,405	0,029 - 1,000	-	-	0,225	0,011 - 1,590	-
Ca	16,260	3,711 - 23,522	-	-	10,809	1,491 - 30,043	-
K	2,619	2,091 - 3,771	-	-	3,669	1,033 - 5,624	-
Mg	5,195	1,090 - 10,059	-	-	3,233	0,050 - 9,493	-

“ – ” Os elementos não regulamentados na legislação

“ < ” parâmetros abaixo do limite de quantificação do método de ensaio

Fonte: autor da dissertação

Não foi observada distribuição para os elementos Ag, As, B, Be, Cr, Cu, Co, Cd, Ni, Pb, Se, Sn, Ti, V, Li e Mo, apresentando valores menores do que o limite de quantificação do método, tanto para água superficial, como para água subterrânea em todas as coletas.

Observou-se que nos quatro pontos coletados de água subterrânea, todos os valores de metais e semi-metais (Al, Ba, Be, B, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn,

Mo, Ni, Ag, V, Zn, Hg) analisados, nos meses de abril, junho, setembro e dezembro estão de acordo com os valores orientadores da CETESB Nº 045/2014/E/C/I [49] e CONAMA 396/08 [48].

Nos seis pontos coletados de água superficial, todos os valores de metais e semi-metals analisados estão de acordo com os valores máximos estabelecido pela CONAMA 357/05 [50], exceto os elementos alumínio, fósforo, manganês, zinco e ferro.

6.3.1 Alumínio

O valor máximo estabelecido pela CONAMA 357 para o alumínio é de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de alumínio dissolvido. Os resultados obtidos no presente estudo são de alumínio total, possivelmente por este motivo foram encontrados valores acima do estabelecido em todos os meses e todos os pontos, exceto no ponto RMB-009 (Figura 75). Outro possível motivo de valores mais altos de alumínio é a presença de complexos industriais ligados à produção de alumínio na região e resíduos de fertilizantes e fungicidas.

Figura 75 - Concentração de alumínio nos pontos de coleta de água superficial

Fonte: autor da dissertação

A distribuição da concentração de alumínio nas amostras de água superficial variou nos pontos amostrados. Já para a água subterrânea os pontos amostrados apresentaram uma distribuição mais homogênea, com a máxima concentração de $0,175 \text{ mg L}^{-1}$ no ponto RMB-007 no mês de dezembro (Figura 76), sendo o valor máximo estabelecido para alumínio total pela Resolução CONAMA 396/08 de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$. Os pontos RMB-001 e RMB-002 apresentaram uma distribuição parecida com máxima de $0,273 \text{ mg L}^{-1}$, mínima de $0,010 \text{ mg L}^{-1}$ e uma média de $0,11 \text{ mg L}^{-1}$.

Figura 76 – Distribuição do alumínio nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

6.3.2 Fósforo

O valor máximo estabelecido para fósforo pelo CONAMA 357 para ambientes intermediários é de $0,050 \text{ mg L}^{-1}$. Em todos os pontos de água superficial e todos os meses, o fósforo apresentou valores acima do estabelecido pela legislação (Figura 77), apresentando os maiores valores em setembro e os menores em abril. Essa distribuição pode indicar a eutrofização da água e

decomposição de matéria orgânica, oriunda de fertilizantes e excreção de animais [131].

Figura 77 - Concentração de fósforo nos pontos de coleta de água superficial

Fonte: autor da dissertação

A distribuição da concentração de fósforo nas amostras de água superficial e subterrânea apresentou o mesmo comportamento, exceto nos pontos RMB-003 e RMB-004 onde foram observadas as maiores concentrações (Figura 78). Os pontos RMB-003 e RMB-004 tiveram uma concentração máxima de 0,596 mg L⁻¹, mínima de 0,099 mg L⁻¹ e média de 0,343 mg L⁻¹.

A Resolução CONAMA 396 não estabelece valores máximos para fósforo em águas subterrâneas.

Figura 78 – Distribuição do fósforo nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

6.3.3 Manganês

Para o manganês, o limite estabelecido pela legislação tanto de água superficial como de água subterrânea é de 0,10 mg L⁻¹. Para as águas superficiais, foi observado um valor de 1,978 mg L⁻¹, no ponto RMB002 no mês de abril (Figura 79). Essa concentração não foi observada nas outras campanhas de campo para este ponto, possivelmente esta elevada concentração pode ser influência de algum fator antrópico, como indústrias que utilizem o manganês por meio de resíduos de fertilizantes e fungicidas ou alguma contaminação no preparo desta amostra.

O ponto RMB-010 apresentou uma concentração média de 0,123 mg L⁻¹, com concentração máxima de 0,247 mg L⁻¹ também no mês de abril e mínima de 0,020 mg L⁻¹.

Não foi medida a concentração de manganês no ponto RMB-001 no mês de abril, nos demais meses a média foi de $0,310 \text{ mg L}^{-1}$, com máxima de $0,534 \text{ mg L}^{-1}$ e mínima de $0,186 \text{ mg L}^{-1}$.

Figura 79 - Concentração de manganês nos pontos de coleta do RMB

Fonte: autor da dissertação

A distribuição da concentração de manganês apresentou os maiores valores nos pontos de água superficial, RMB-001, RMB-002 e RMB010 (Figura 80). A média da concentração de manganês nas águas subterrâneas foi de $0,033 \text{ mg L}^{-1}$ e nas águas superficiais de $0,173 \text{ mg L}^{-1}$.

Figura 80 – Distribuição do manganês nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

6.3.4 Zinco

Para o zinco o valor máximo estabelecido para águas superficiais pelo CONAMA 357 é de 0,18 mg L⁻¹. Somente no mês de abril os pontos RMB-003 e RMB-009 tiveram uma concentração acima do máximo permitido (Figura 81).

Figura 81 - Concentração de zinco nos pontos de coleta do RMB

Fonte: autor da dissertação

A distribuição da concentração de zinco nas águas superficiais mostrou maiores valores para os pontos RMB-003 e RMB-009, com uma concentração média de $0,033 \text{ mg L}^{-1}$. Já as amostras de água subterrânea, apresentaram as maiores concentrações nos pontos RMB-005 e RMB-006, com uma média de $0,056 \text{ mg L}^{-1}$ e máxima de $0,165 \text{ mg L}^{-1}$ no ponto RMB -006 no mês de junho (Figura 82).

Possivelmente a concentração de zinco existente nestes pontos é proveniente do meio, como de erosões, mas podem ter influência também do uso de fertilizantes e agroquímicos que contém zinco [132]

Figura 82 – Distribuição do zinco nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

6.3.5 Ferro

Para ferro na água superficial, o valor máximo estabelecido pela legislação é de 0,3 mg L⁻¹ de ferro dissolvido. Todos os pontos de água superficial apresentaram valores acima do estabelecido pela Resolução CONAMA 357 (Figura 83). Sendo importante ressaltar que esses valores acima do máximo estabelecido provavelmente ocorreram, pois no presente trabalho foram analisados os valores de ferro total e pelo ferro ser encontrado em abundância como constituinte natural de solos de climas tropicais.

As concentrações de ferro variaram entre os pontos nos meses de forma diferente, logo não se pode concluir que foi uma variação devido ao período sazonal.

Figura 83 - Concentração de ferro nos pontos de coleta do RMB

Fonte: autor da dissertação

A distribuição da concentração de ferro nas amostras de água superficial foi similar e das águas subterrâneas também (Figura 84). A média da concentração de ferro nas águas superficiais foi de 1,141 mg L⁻¹, com o valor máximo apresentado no ponto RMB010 no mês de setembro correspondente a 3,934 mg L⁻¹. Este comportamento em águas superficiais pode estar relacionado ao regime de chuvas que leva ao maior carregamento de material particulado, processo de erosão nas margens, dissolução de espécies no meio e lançamentos de efluentes industriais de metalúrgicas que desenvolvem atividades de remoção de ferrugem de peças antes de seu uso (processo conhecido como decapagem). Devido à região de Iperó ser marcada pela descoberta de minério de ferro, possivelmente as concentrações de ferro medidas provêm da própria região e não de fatores antrópicos.

A distribuição de ferro nas águas subterrâneas apresentou um comportamento similar, todos os pontos amostrados em todos os meses apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação.

Figura 84 – Distribuição do ferro nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

6.3.6 Bário

A distribuição da concentração de bário nas amostras de água superficial apresentou uma média de 0,064 mg L⁻¹, máxima de 0,156 mg L⁻¹ no ponto RMB-001 e mínima de 0,010 mg L⁻¹ (Figura 85). Todos os pontos, exceto o RMB-001 apresentaram maior concentração de bário no mês de abril. O ponto RMB-001 apresentou as maiores concentrações de bário.

Já para a água subterrânea as maiores concentrações foram observadas no ponto RMB-007, com uma média de 0,289 mg L⁻¹ e no ponto RMB-006 com uma média de 0,167 mg L⁻¹.

As principais fontes naturais de bário são o intemperismo e erosão onde ocorrem na forma de barita ou feldspatos ricos em bário e de fontes antrópicas com o uso de defensivos agrícolas, resíduos provenientes da produção de vidros, pigmentos e outros [133]. A região estudada encontra-se no Aquífero Tubarão e o mesmo é formado pelo Subgrupo Itararé, que é constituído também

por arenitos que em geral são feldspáticos ou arcossianos, Provavelmente as concentrações encontradas de bário em todos os pontos, exceto o RMB-007, são naturais da região [40].

O ponto RMB-007 apresentou concentrações mais elevadas de bário em relação aos demais pontos, logo estas concentrações podem ter influência tanto naturais, como antrópicas.

Figura 85 – Distribuição do bário nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

6.3.7 Níquel

Foi observada distribuição de níquel nas amostras de água superficial, com a maior concentração no ponto RMB-003. Nas amostras de água subterrânea não foi observada distribuição de níquel (Figura 86).

Figura 86 – Distribuição do níquel nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

6.3.8 Sódio

Foram obtidos os maiores valores de concentração de sódio para as amostras de água subterrânea quando comparada a água superficial (Figura 87).

A distribuição da concentração de sódio nas amostras de água superficial apresentou as maiores concentrações nos pontos RMB-003 e 004 com concentração média de 16,211 mg L⁻¹.

Na água subterrânea a distribuição de sódio nas amostras foi maior no ponto RMB-005, com uma média de 43,183 mg L⁻¹. No ponto RMB-007 a média foi de 10,492 mg L⁻¹, similar ao ponto RMB-009 que fica localizado também na Fazenda São Benedito.

No mês de abril em todos os pontos foram medidas as maiores concentrações de sódio.

Possivelmente as concentrações de sódio encontradas nas águas superficiais e subterrâneas são de fonte natural, já que todas as águas naturais contêm sódio, o mesmo é considerado um dos elementos mais abundantes na Terra e as concentrações medidas não ultrapassam os 200 mg L⁻¹ estabelecidos como valor máximo para sódio em águas subterrâneas.

Figura 87 – Distribuição do sódio nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

6.3.9 Silício

A distribuição da concentração de silício nas amostras (Figura 88) de água superficial foi similar entre os pontos RMB-001 e RMB-002 com uma média de 10,613 mg L⁻¹, entre os pontos RMB-003 e RMB-004 com uma média de 6,147 mg L⁻¹ sendo que o ponto RMB-003 no mês de abril apresentou uma concentração de 16,600 mg L⁻¹.

As concentrações de silício nas quatro coletas no ponto RMB-009 variou muito, com uma máxima de 15,080 mg L⁻¹ no mês de abril, mínima de 0,179 mg L⁻¹ no mês de setembro e média de 4,786 mg L⁻¹.

Na água subterrânea a distribuição do silício apresentou um mesmo comportamento nos pontos RMB-005 e RMB-006 com uma média de 13,899 mg L⁻¹. O ponto RMB-007 teve as menores concentrações de silício das amostras de água subterrânea, com uma média de 5,777 mg L⁻¹ e o ponto RMB-008 teve as maiores concentrações com uma média de 16,142 mg L⁻¹.

Por ser um componente essencial da maioria das rochas que formam a crosta terrestre, a concentração de silício encontrada nas amostras possivelmente tem origem natural do intemperismo das rochas da região, já que são exemplos de rochas que contém compostos de silício: os arenitos, argila e granito. A região estudada fica localizada no aquífero Tubarão que é formado pelo Subgrupo Itararé, que é constituído predominantemente de arenitos finos a grosseiros [40].

Figura 88 – Distribuição do silício nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

6.3.10 Estrôncio

A distribuição da concentração de estrôncio nas amostras (Figura 89) de água superficial apresentou o mesmo comportamento entre os pontos RMB-001 e RMB-002 com uma média de $0,208 \text{ mg L}^{-1}$, máxima de $0,454 \text{ mg L}^{-1}$ e mínima de $0,120 \text{ mg L}^{-1}$.

Nas amostras de água subterrânea a distribuição de estrôncio apresentou uma concentração média de $0,405 \text{ mg L}^{-1}$ e nas águas superficiais de $0,225 \text{ mg L}^{-1}$.

Todos os pontos apresentaram as maiores concentrações de estrôncio no mês de abril, com exceção do RMB-005 e RMB-006 (dezembro).

Figura 89 – Distribuição do estrôncio nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

6.3.11 Cálcio

A distribuição da concentração de cálcio nas amostras de água (Figura 90) superficial apresentou o mesmo comportamento entre os pontos RMB-003,

RMB-004 e RMB-009 com uma média de 9,832 mg L⁻¹, máxima de 13,405 mg L⁻¹ no ponto RMB-004 no mês de abril e mínima de 7,708 mg L⁻¹ no ponto RMB-009 no mês de setembro. O ponto RMB-001 apresentou uma concentração maior de cálcio, com uma média de 21,474 mg L⁻¹ e o RMB-010 a menor concentração com uma média de 1,830 mg L⁻¹.

A distribuição da água subterrânea apresentou os maiores valores entre os pontos RMB-005 e RMB-006 com uma média de 22,723 mg L⁻¹. O ponto RMB-007 teve a menor concentração de cálcio, com uma média de 4,556 mg L⁻¹.

As concentrações de Cálcio encontradas nas águas superficiais e subterrâneas são de fonte natural uma vez que o mesmo é um dos principais constituintes das águas [66]

Figura 90 – Distribuição do cálcio nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

6.3.12 Potássio

A distribuição da concentração de potássio nas amostras de água (Figura 91) superficial foi similar entre os pontos RMB-001, RMB-002 e RMB-009 com uma média de $3,504 \text{ mg L}^{-1}$ e entre os pontos RMB-003 e RMB-004 com uma concentração média de $5,011 \text{ mg L}^{-1}$.

Para as amostras de água subterrânea a distribuição de potássio foi similar para os pontos RMB-005 e RMB-006 com um média de $2,167 \text{ mg L}^{-1}$ e maiores concentrações no ponto RMB-007.

O potássio é encontrado em concentrações baixas nas águas naturais (usualmente menores que 10 mg L^{-1}) já que rochas que contenham potássio são relativamente resistentes à ações do tempo. Entretanto, sais de potássio são largamente usados na indústria e em fertilizantes para agricultura e entra nas águas doces com descargas industriais e lixiviação das terras agrícolas, tornando o rio propício à eutrofização e ao assoreamento [134], logo as concentrações encontradas nos pontos de amostragem podem ter influência tanto natural como antrópica.

Figura 91 – Distribuição do potássio nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

6.3.13 Magnésio

As maiores concentrações de magnésio foram observadas nas águas subterrâneas, nos pontos RMB-005 e RMB-006 com um média de 9,604 mg L⁻¹. Para a água superficial, as maiores concentrações foram observadas no ponto RMB-001 com uma média de 7,081 mg L⁻¹. Todos os pontos, exceto o RMB-009 (dezembro), tiveram a maior concentração de magnésio em abril (Figura 92).

As concentrações de magnésio encontradas nas águas superficiais e subterrâneas são de fonte natural uma vez que o mesmo é um dos principais constituintes das águas [66].

Figura 92 – Distribuição do magnésio nas águas superficiais e subterrâneas dos 10 pontos amostrados

Fonte: autor da dissertação

6.4 Balanço iônico

Para amostras de águas com concentrações de cátions e ânions inferiores a 50 mEq L⁻¹, permitem um erro no balanço iônico da ordem de 15% para B.I. I e 30% para B.I.II [135].

Para os pontos RMB-001, 002, 003, 004, 007 e 010 o balanço iônico I e II atendeu ao critério estabelecido. Exceto no RMB-003 no mês de setembro, que o balanço iônico II não atendeu ao critério estabelecido, devido à condutividade medida ser muito mais alta do que nas demais coletas.

Já para os pontos RMB-005, 006, 008 e 009 o balanço iônico I e II foi aceito com ressalvas, uma vez que o erro do balanço iônico I foi superior a 15% mas inferior a 30% e do balanço iônico II foi superior a 30% mas inferior a 50%.

Os valores do balanço iônico foram aceitos com ressalvas, pois para todas as amostras em questão, houve um menor conteúdo de ânions quando comparado com os cátions. Esse comportamento é frequentemente observado quando ácidos orgânicos podem estar presentes e não são determinados, tais como o oxalato, acetato e formiato. Estas espécies ocorrem com frequência em águas naturais e são provenientes de decomposição de matéria orgânica [135] (Tabela 17).

Tabela 17 – Cálculo do balanço iônico nas quatro coletas dos 10 pontos amostrados

Amostra	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO	SO ₄	CE	Σ Cátions	Σ Ânions	Balanço iônico I	Balanço iônico II
	mEq L ⁻¹							μS.cm ⁻¹	mEq L ⁻¹		%	%
RMB-001-Abril	0,37	0,11	1,50	0,79	0,10	1,37	0,58	219,00	2,77	2,06	14,83	29,66
RMB-002-Abril	0,31	0,08	0,85	0,44	0,06	1,21	0,12	132,50	1,69	1,39	9,61	19,22
RMB-003-Abril	0,78	0,13	0,65	0,24	0,48	0,95	0,16	195,40	1,81	1,59	6,35	12,70
RMB-004-Abril	0,87	0,14	0,67	0,23	0,52	0,84	0,20	213,00	1,91	1,56	10,23	20,46
RMB-007-Abril	0,58	0,10	0,31	0,13	0,49	0,37	0,00	89,50	1,12	0,86	13,04	26,09
RMB-008-Abril	0,81	0,06	0,94	0,22	0,02	1,32	0,05	144,70	2,02	1,39	18,43	36,87
RMB-009-Abril	0,54	0,10	0,54	0,22	0,28	0,58	0,14	132,90	1,40	1,00	16,89	33,78
RMB-010-Abril	0,15	0,04	0,11	0,05	0,01	0,37	0,00	29,30	0,35	0,39	5,31	10,61
RMB-001-Junho	0,35	0,10	0,80	0,47	0,16	0,90	0,45	199,40	1,71	1,51	6,15	12,31
RMB-002-Junho	0,26	0,07	0,49	0,34	0,05	0,82	0,03	118,40	1,15	0,90	12,11	24,22
RMB-003-Junho	0,74	0,13	0,42	0,19	0,49	0,53	0,26	194,20	1,48	1,28	7,37	14,74
RMB-004-Junho	0,71	0,13	0,42	0,19	0,47	0,71	0,25	194,40	1,44	1,42	0,49	0,98
RMB-005-Junho	1,88	0,06	1,14	0,78	0,07	2,39	0,05	373,00	3,86	2,51	21,13	42,26
RMB-006-Junho	1,86	0,06	1,18	0,80	0,07	2,40	0,05	370,00	3,89	2,52	21,23	42,47
RMB-007-Junho	0,37	0,07	0,20	0,09	0,38	0,21	0,00	101,00	0,73	0,59	10,93	21,86
RMB-008-Junho	0,65	0,07	0,90	0,20	0,03	1,22	0,03	186,00	1,82	1,28	17,38	34,77
RMB-009-Junho	0,43	0,09	0,43	0,20	0,29	0,59	0,12	138,20	1,15	1,00	7,17	14,35
RMB-010-Junho	0,12	0,03	0,09	0,04	0,01	0,27	0,00	27,50	0,28	0,29	1,20	2,39
RMB-001-Setembro	0,31	0,10	0,74	0,42	0,12	0,99	0,28	202,00	1,56	1,39	5,68	11,37
RMB-002-Setembro	0,27	0,09	0,51	0,36	0,08	0,79	0,04	129,70	1,22	0,91	14,81	29,63
RMB-003-Setembro	0,76	0,14	0,43	0,20	0,49	0,52	0,29	258,00	1,53	1,30	8,18	16,36
RMB-004-Setembro	0,89	0,14	0,44	0,21	0,52	0,68	0,34	230,00	1,69	1,53	4,69	9,39
RMB-005-Setembro	1,88	0,05	1,16	0,79	0,07	2,29	0,07	394,00	3,88	2,42	23,18	46,37
RMB-006-Setembro	1,58	0,06	1,14	0,81	0,06	1,98	0,07	332,00	3,58	2,11	25,86	51,73
RMB-007-Setembro	0,38	0,07	0,19	0,09	0,38	0,16	0,00	95,00	0,73	0,55	14,41	28,81
RMB-008-Setembro	0,65	0,07	0,91	0,20	0,02	1,25	0,04	199,30	1,84	1,32	16,58	33,17
RMB-009-Setembro	0,42	0,08	0,39	0,19	0,28	0,43	0,16	122,10	1,08	0,86	11,37	22,74
RMB-010-Setembro	0,14	0,04	0,09	0,00	0,06	0,21	0,00	32,90	0,27	0,28	0,69	1,38
RMB-001-Dezembro	0,29	0,08	1,26	0,68	0,06	1,33	0,33	243,00	2,32	1,72	14,70	29,40
RMB-002-Dezembro	0,24	0,08	0,57	0,36	0,05	0,87	0,04	133,00	1,24	0,96	12,84	25,68
RMB-003-Dezembro	0,41	0,11	0,45	0,20	0,25	0,50	0,16	148,10	1,17	0,91	12,33	24,66
RMB-004-Dezembro	0,48	0,11	0,45	0,21	0,27	0,56	0,21	159,30	1,24	1,04	8,94	17,87
RMB-005-Dezembro	1,87	0,05	1,15	0,79	0,06	2,33	0,07	400,00	3,86	2,46	22,22	44,43
RMB-006-Dezembro	1,23	0,06	1,06	0,84	0,04	2,22	0,08	328,00	3,19	2,34	15,26	30,52
RMB-007-Dezembro	0,50	0,09	0,22	0,12	0,51	0,22	0,00	138,20	0,93	0,74	11,55	23,09
RMB-008-Dezembro	0,63	0,07	0,90	0,20	0,02	1,22	0,05	199,70	1,81	1,29	16,84	33,67
RMB-009-Dezembro	0,41	0,11	0,62	0,26	0,24	0,61	0,14	162,20	1,39	0,99	17,00	34,01
RMB-010-Dezembro	0,11	0,04	0,08	0,00	0,01	0,22	0,00	26,50	0,23	0,24	0,77	1,53

Fonte: autor da dissertação

6.5 Classificação Química das Águas

As avaliações para a classificação química das águas foram realizadas com base nos resultados obtidos dos meses de abril, junho, setembro e dezembro de 2015 para todos os pontos, mostrando as características individuais de cada

ponto e permitindo identificar a variação dos ânions e cátions majoritários em relação à sazonalidade (Tabela 18 e Tabela 19).

Tabela 18- Porcentagem dos cátions e ânions para classificação química das amostras de água superficial

Água	Ponto	Mês	Na + K	Ca	Mg	Cl	CO3 + HCO3	SO4
			(mili Eq.L)	(mili Eq.L)	(mili Eq.L)	(mili Eq.L)	(mili Eq.L)	(mili Eq.L)
Superficial	RMB-001	Abril	0,478	1,502	0,781	0,104	1,370	0,581
			17,30%	54,40%	28,30%	5,05%	66,66%	28,29%
		Junho	0,441	0,798	0,460	0,161	0,900	0,447
			25,97%	46,94%	27,09%	10,66%	59,69%	29,65%
		Setembro	0,402	0,736	0,416	0,118	0,990	0,284
			25,87%	47,35%	26,77%	8,46%	71,11%	20,42%
		Dezembro	0,374	1,259	0,673	0,064	1,330	0,328
			16,23%	54,58%	29,19%	3,70%	77,25%	19,06%
	RMB-002	Abril	0,398	0,852	0,433	0,060	1,210	0,123
			23,63%	50,62%	25,75%	4,33%	86,87%	8,80%
		Junho	0,327	0,485	0,334	0,053	0,820	0,029
			28,55%	42,33%	29,13%	5,83%	90,92%	3,24%
		Setembro	0,358	0,507	0,351	0,076	0,790	0,040
			29,41%	41,69%	28,90%	8,37%	87,24%	4,40%
		Dezembro	0,316	0,568	0,353	0,049	0,870	0,039
			25,56%	45,90%	28,54%	5,11%	90,79%	4,10%
	RMB-003	Abril	0,909	0,652	0,241	0,476	0,950	0,164
			50,44%	36,17%	13,39%	29,97%	59,73%	10,30%
		Junho	0,867	0,421	0,192	0,490	0,530	0,260
			58,59%	28,46%	12,95%	38,29%	41,41%	20,30%
		Setembro	0,899	0,431	0,195	0,490	0,520	0,288
			58,94%	28,25%	12,81%	37,78%	40,06%	22,17%
		Dezembro	0,517	0,448	0,200	0,250	0,500	0,161
			44,37%	38,48%	17,15%	27,42%	54,87%	17,70%
	RMB-004	Abril	1,013	0,670	0,227	0,519	0,840	0,199
			53,04%	35,10%	11,86%	33,33%	53,89%	12,78%
		Junho	0,836	0,415	0,186	0,466	0,710	0,249
			58,19%	28,87%	12,95%	32,71%	49,82%	17,48%
		Setembro	1,032	0,443	0,207	0,519	0,680	0,336
			61,36%	26,33%	12,31%	33,80%	44,30%	21,91%
		Dezembro	0,594	0,445	0,202	0,271	0,560	0,209
			47,86%	35,84%	16,31%	26,03%	53,86%	20,11%
	RMB-009	Abril	0,640	0,541	0,215	0,279	0,580	0,136
			45,83%	38,74%	15,43%	28,07%	58,28%	13,65%
		Junho	0,517	0,431	0,197	0,287	0,590	0,119
			45,15%	37,65%	17,21%	28,80%	59,26%	11,94%
		Setembro	0,505	0,385	0,187	0,275	0,430	0,155
			46,87%	35,77%	17,36%	31,99%	50,01%	18,00%
		Dezembro	0,518	0,617	0,252	0,235	0,610	0,142
			37,35%	44,46%	18,19%	23,84%	61,79%	14,37%
	RMB-010	Abril	0,189	0,111	0,047	0,014	0,370	0,002
			54,49%	31,97%	13,54%	3,65%	95,81%	0,54%
		Junho	0,144	0,093	0,041	0,014	0,270	0,002
			51,72%	33,51%	14,77%	4,93%	94,34%	0,73%
		Setembro	0,181	0,087	0,004	0,064	0,210	0,002
			66,47%	32,02%	1,51%	23,22%	76,02%	0,75%
		Dezembro	0,154	0,075	0,004	0,014	0,220	0,002
			66,19%	32,05%	1,77%	5,97%	93,15%	0,88%

Fonte: autor da dissertação

Tabela 19- Porcentagem dos cátions e ânions para classificação química das amostras de água subterrânea

Água	Ponto	Mês	Na + K	Ca	Mg	Cl	CO3 + HCO3	SO4
			(mili Eq.L)	(mili Eq.L)	(mili Eq.L)	(mili Eq.L)	(mili Eq.L)	(mili Eq.L)
Subterrânea	RMB-005	Junho	1,934	1,142	0,773	0,072	2,389	0,050
			50,25%	29,66%	20,09%	2,88%	95,12%	1,99%
		Setembro	1,934	1,158	0,780	0,066	2,289	0,065
			50,0%	29,91%	20,14%	2,74%	94,59%	2,67%
		Dezembro	1,927	1,145	0,777	0,059	2,329	0,067
			50,07%	29,76%	20,18%	2,40%	94,86%	2,74%
	RMB-006	Junho	1,913	1,176	0,786	0,074	2,399	0,050
			49,37%	30,35%	20,29%	2,93%	95,08%	1,99%
		Setembro	1,638	1,135	0,798	0,059	1,979	0,071
			45,88%	31,77%	22,36%	2,78%	93,87%	3,36%
		Dezembro	1,289	1,061	0,828	0,040	2,219	0,084
			40,56%	33,39%	26,06%	1,69%	94,71%	3,59%
	RMB-007	Abril	0,680	0,305	0,131	0,488	0,370	0,002
			60,90%	27,35%	11,76%	56,75%	43,01%	0,24%
		Junho	0,441	0,200	0,092	0,378	0,210	0,002
			60,16%	27,31%	12,52%	64,06%	35,58%	0,35%
		Setembro	0,452	0,186	0,090	0,384	0,160	0,002
			62,16%	25,50%	12,33%	70,30%	29,32%	0,38%
		Dezembro	0,587	0,220	0,119	0,514	0,220	0,002
			63,37%	23,80%	12,83%	69,82%	29,90%	0,28%
	RMB-008	Abril	0,870	0,935	0,213	0,023	1,320	0,049
			43,11%	46,34%	10,55%	1,68%	94,81%	3,50%
		Junho	0,717	0,901	0,198	0,030	1,220	0,031
			39,48%	49,59%	10,92%	2,31%	95,28%	2,40%
		Setembro	0,724	0,914	0,201	0,024	1,250	0,043
			39,39%	49,69%	10,92%	1,85%	94,88%	3,28%
		Dezembro	0,703	0,900	0,200	0,018	1,220	0,047
			38,99%	49,93%	11,08%	1,43%	94,91%	3,66%

Fonte: autor da dissertação

A partir dos cálculos realizados nas Tabela 18 e Tabela 19, foi construído o Diagrama de Piper, conforme apresentado nas Figura 93, 94, 95 e 96, sendo possível assim, obter a classificação química das águas subterrâneas e superficiais dos pontos amostrados.

Figura 93- Representação da classificação química dos pontos RMB-001 a 010 pelo diagrama de Piper no mês de abril

Fonte: autor da dissertação

Figura 94- Representação da classificação química dos pontos RMB-001 a 010 pelo diagrama de Piper no mês de junho

Fonte: autor da dissertação

Figura 95 - Representação da classificação química dos pontos RMB-001 a 010 pelo diagrama de Piper no mês de setembro

Fonte: autor da dissertação

Figura 96 - Representação da classificação química dos pontos RMB-001 a 010 pelo diagrama de Piper no mês de dezembro

Fonte: autor da dissertação

As águas subterrâneas foram classificadas quimicamente em três tipos: sódica bicarbonatada, mista bicarbonatada e sódica cloretada. No Relatório de qualidade das águas subterrâneas 2016 do Governo do Estado de São Paulo [123] as águas do aquífero tubarão também foram classificadas preponderantemente bicarbonatadas sódicas e, subordinadamente, bicarbonatadas mistas e cálcicas.

Já as água superficiais foram classificadas quimicamente em quatro classes: cálcica bicarbonatada, mista bicarbonatada, sódica bicarbonatada e sódica mista (Tabela 20). As quais permitiram concluir que a dissolução de carbonato é o processo dominante que controla os ânions majoritários das águas superficiais e subterrâneas, exceto no ponto RMB-007 e RMB-003 e 004(coleta de junho e setembro). E a dissolução do sódio, potássio e cálcio é o processo dominante dos cátions majoritários das águas amostradas, apresentando da seguinte forma as relações iônicas entre cátions e ânions: $\text{Na}^+ > \text{Ca} > \text{Mg}$ e $\text{HCO}_3 > \text{Cl}^- > \text{SO}_4$.

O ponto RMB-007 teve uma classificação distinta dos demais por ter altas concentrações de sódio e baixas concentrações de alcalinidade sendo classificada assim em cloretada sódica. Estas concentrações ocorrem possivelmente por influência dos solos e rochas da região.

As mudanças de classificação química das águas ocorreram somente nos pontos RMB-001, RMB-002, RMB-003 e RMB-004 de água superficial. Nos pontos RMB-001 e RMB-002 nos meses de junho e setembro, a alteração foi influenciada por uma diminuição na concentração de cálcio. Nos pontos RMB-003 e RMB-004 no mês de dezembro a concentração do sódio (Na^+) diminuiu e nos meses de junho e setembro a concentração de bicarbonato (HCO_3) diminuiu e do sulfato (SO_4) e do cloreto (Cl^-) aumentaram.

Logo, a classificação química dos pontos de água subterrânea não foi influenciada pela sazonalidade. Já os pontos RMB-001, RMB-002, RMB-003 e RMB-004 possivelmente tiveram variações nas concentrações dos cátions e ânions por influencia de carreamento de íons nos períodos de chuvas.

Tabela 20- Classificação química das amostras de água superficial e subterrânea nas quatro campanhas de campo em 2015.

PONTO	ABRIL	JUNHO	SETEMBRO	DEZEMBRO
RMB-001	Cálcica Bicarbonatada	Mista Bicarbonatada	Mista Bicarbonatada	Cálcica Bicarbonatada
RMB-002	Cálcica Bicarbonatada	Mista Bicarbonatada	Mista Bicarbonatada	Mista Bicarbonatada
RMB-003	Sódica Bicarbonatada	Sódica Mista	Sódica Mista	Mista Bicarbonatada
RMB-004	Sódica Bicarbonatada	Sódica Mista	Sódica Mista	Mista Bicarbonatada
RMB-005	-	Sódica Bicarbonatada	Sódica Bicarbonatada	Sódica Bicarbonatada
RMB-006	-	Mista Bicarbonatada	Mista Bicarbonatada	Mista Bicarbonatada
RMB-007	Sódica Cloretada	Sódica Cloretada	Sódica Cloretada	Sódica Cloretada
RMB-008	Mista Bicarbonatada	Mista Bicarbonatada	Mista Bicarbonatada	Mista Bicarbonatada
RMB-009	Mista Bicarbonatada	Mista Bicarbonatada	Mista Bicarbonatada	Mista Bicarbonatada
RMB-010	Sódica Bicarbonatada	Sódica Bicarbonatada	Sódica Bicarbonatada	Sódica Bicarbonatada

Fonte: autor da dissertação

O RMB está localizado em uma área pouco povoada, mas que será exposta a diferentes fontes infiltrantes, logo esta ferramenta será utilizada de forma contínua, a fim de identificar qualquer possível contribuição para a composição das águas subterrâneas e superficiais.

6.6 Análise estatística

• Componentes principais e agrupamento hierárquico (cluster)

Os dados de água superficial foram obtidos a partir de uma matriz de 24 amostras válidas (6 amostras em 4 coletas) versus 24 parâmetros analíticos (fluoreto, cloreto, nitrato-N, sulfato, pH, temperatura, condutividade, alcalinidade, sólidos dissolvidos totais, alumínio, bário, ferro, manganês, vanádio, zinco, cálcio, potássio, magnésio, sódio, fósforo, silício, estrôncio, bicarbonato e nitrato) cuja avaliação estatística empregou o Software Statistica 8.0 (Figura 97).

Os seguintes parâmetros não foram quantificados acima do limite das técnicas instrumentais: As; Be; B; Cd; Pb; Cu; Cr; Co, Hg; Mo; Li, Ag; Se e Sn, logo não foram considerados no tratamento estatístico.

Figura 97- Estatística descritiva dos pontos amostrais de água superficial do entorno do RMB em 2015

Variable	Descriptive Statistics (Dados_Thamiris_amostra1a10)				
	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.
Fluoreto	24	0,2817	0,02000	0,6949	0,20870
Cloreto	24	7,8987	0,50000	18,4100	6,49683
Nitrato-N	24	0,2704	0,11300	0,6388	0,16174
Sulfato	24	8,5930	0,10000	27,8970	7,17390
Ph	24	6,5721	5,00000	7,5100	0,67584
Temperatura	23	19,6609	13,40000	25,8000	3,98118
Condutividade	24	151,7083	26,50000	258,0000	68,68256
Alcalinidade	24	70,2083	21,00000	137,0000	32,00948
Sólidos dissolvidos	24	75,8567	13,33000	129,5000	34,38986
Alumínio	24	0,2150	0,01000	1,0500	0,29881
Bário	24	0,0637	0,01000	0,1560	0,05260
Cobalto	24	0,0110	0,01000	0,0120	0,00075
Ferro	24	1,1410	0,05000	3,9430	0,93681
Manganês	23	0,1730	0,02000	1,9780	0,41036
Zinco	24	0,0326	0,01000	0,2100	0,05527
Cálcio	24	10,8091	1,49100	30,0430	6,71719
Potássio	24	3,6689	1,03300	5,6240	1,29147
Magnésio	24	3,2403	0,05000	9,4933	2,29376
Sódio	24	9,9201	2,62200	20,4270	5,54618
Fósforo	24	0,2330	0,02000	0,5960	0,12925
Silício	24	7,7695	0,17900	16,6000	4,23851
Estrôncio	24	0,2246	0,01100	1,5900	0,41302
Bicarbonato	24	42,8271	12,81000	83,5700	19,52578
Nitrato	24	1,1974	0,50043	2,8290	0,71627

Fonte: autor da dissertação

Considerando as características dos parâmetros analíticos e as 6 amostras em 4 coletas distintas empregou-se a análise de componentes principais para as quais foram identificados 6 componentes principais com eigenvalor > 1, que explicam 88,59% da variabilidade da matriz (Figura 98).

Figura 98 – Fatores que determinaram os componentes principais das amostras de água superficial do entorno do RMB

Variable	Factor Loadings (Varimax normalized) (Dados_Thamiris_amostra1a10) Extraction: Principal components (Marked loadings are >,700000)					
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
Fluoreto	0,877908	-0,074154	0,035557	-0,114011	0,053710	-0,136919
Cloreto	0,950590	-0,121538	-0,065206	-0,094108	0,105042	0,144328
Nitrato-N	0,259263	0,090949	0,008064	0,006772	0,927090	0,051970
Sulfato	0,606152	0,480721	0,109743	0,260805	0,369137	-0,052806
Ph	0,267468	0,063002	-0,054601	0,050400	0,026604	0,816288
Temperatura	0,044296	-0,162180	0,100349	-0,773008	0,276514	-0,243764
Condutividade	0,765821	0,561599	0,037517	0,142716	0,224335	0,014494
Alcalinidade	0,114395	0,962083	-0,129662	0,005120	-0,003897	0,111079
Solidos dissolvidos	0,766215	0,560294	0,038392	0,142613	0,223768	0,014564
Alumínio	-0,024360	-0,256994	0,263821	-0,269843	0,506998	-0,378463
Bário	-0,273843	0,723767	-0,557913	0,018464	0,005871	0,160917
Cobalto	-0,146386	0,062034	0,317200	0,870380	0,172847	-0,116856
Ferro	-0,542303	-0,221551	0,216236	0,313062	0,024448	0,427854
Manganês	-0,366900	0,525124	0,083923	-0,328656	0,033720	0,361681
Zinco	0,217674	-0,032392	-0,941065	-0,118302	-0,097370	-0,049698
Cálcio	0,225617	0,951557	-0,093362	0,048069	-0,010816	-0,122219
Potássio	0,911134	0,233853	-0,046700	-0,064338	0,219988	0,135318
Magnésio	0,044638	0,960961	-0,012925	0,152630	0,071105	-0,073766
Sódio	0,943668	0,021121	-0,120784	-0,085890	0,093229	0,196870
Fósforo	0,610003	-0,172288	0,454627	0,425192	0,195169	0,221327
Silício	-0,386702	0,267647	-0,784276	0,197519	0,100722	0,176150
Estrôncio	0,162322	0,135023	-0,945555	-0,184020	-0,062222	-0,009928
Bicarbonato	0,114395	0,962083	-0,129662	0,005120	-0,003897	0,111079
Nitrato	0,259263	0,090949	0,008064	0,006772	0,927090	0,051970
Expl.Var	6,344105	5,701920	3,229638	2,072329	2,459309	1,455301
Prp.Totl	0,264338	0,237580	0,134568	0,086347	0,102471	0,060638

Fonte: autor da dissertação

Foram encontrados seis fatores que influenciam a variação dos dados das águas superficiais amostradas (Figura 99).

Figura 99 – Componentes principais das amostras de água superficial do entorno do RMB

Value	Eigenvalues (Dados_Thamiris_amostra1a10) Extraction: Principal components			
	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	7,856440	32,73517	7,85644	32,73517
2	5,321515	22,17298	13,17795	54,90815
3	3,205345	13,35560	16,38330	68,26375
4	2,026138	8,44224	18,40944	76,70599
5	1,649286	6,87203	20,05872	83,57802
6	1,203878	5,01616	21,26260	88,59417

Fonte: autor da dissertação

O primeiro fator explicou 32,74% da variação dos dados e agrupa os seguintes parâmetros: fluoreto, cloreto, condutividade, sólidos dissolvidos totais, potássio e sódio. Esse fator associa os componentes que contribuem para o aumento da condutividade da água e conferem característica ácida as águas.

O segundo fator identificado explicou 22,18% da variação total dos dados e agrupou: alcalinidade, bário, cálcio, magnésio e bicarbonato, devido esse agrupamento, consideramos que este fator esteja relacionado as características naturais da água superficial associada a dureza e a alcalinidade, agrupando espécies com características que conferem caráter básico as águas.

O terceiro fator explicou 13,36% da variabilidade da matriz e correlacionou zinco, silício e estrôncio, essa característica pode estar associada aos elementos de rocha ou de solo por onde as águas percolam.

O quarto fator explicou 8,44% da variabilidade da matriz correlacionando de forma inversa o cobalto e a temperatura. O quinto fator explicou 6,87% correlacionando o nitrato-N e o nitrato e o sexto fator explicou 5,02% da variabilidade da matriz pelo parâmetro pH.

Aparentemente os seis fatores que explicam a variabilidade da matriz, tem fonte natural de ocorrência.

A análise de cluster que avalia a proximidade das amostras quanto à variabilidade observada nos dados de água superficial foi apresentada na Figura 100.

Figura 100- Dendrograma de linkagem das amostras de água superficial nas quatro campanhas de campo em 2015.

Fonte: autor da dissertação

O ponto RMB-001 nos meses abril e dezembro separou dos demais meses, pelas elevadas concentrações de cálcio, magnésio, fluoreto, condutividade, alcalinidade e sólidos dissolvidos totais medidas.

Apesar dos pontos RMB-001 e RMB-002 estarem situados no Ribeirão do Ferro, apresentaram características químicas e comportamento distintos na maioria dos parâmetros. Sendo o ponto RMB-001, na maioria dos parâmetros analisados, o que apresentou as maiores concentrações, possivelmente por ficar mais próximo de áreas de pasto, agricultura e urbanização.

O ponto RMB-002 apresentou um comportamento parecido em todos os meses. No mês de abril apresentou uma variabilidade de 12% das demais coletas deste ponto, devido os parâmetros físico-químicos de condutividade, sólidos totais dissolvidos, alcalinidade, sulfato, manganês, ferro, bário, vanádio,

níquel, sódio, estrôncio, cálcio, magnésio e bicarbonato apresentarem as maiores concentrações medidas.

O ponto RMB-004 apresentou na maioria das vezes, maiores concentrações dos parâmetros analisados em relação ao ponto RMB-003, possivelmente por ficar mais próximo dos descartes industriais e domésticos das cidades de Ibiuna, Cotia, São Roque e Vargem Grande Paulista e por receber o desague do Rio Ipanema.

O ponto RMB-003 não apresentou influência do desague do Ribeirão do ferro.

O dendrograma mostra a similaridade que existe entre as amostras RMB-003 e 004, já que ambas são no Rio Sorocaba, agrupando essas por mês (período de coleta).

O ponto RMB-009 apresentou o mesmo comportamento em quase todos os períodos de coleta, exceto no mês de dezembro que se agrupa com os pontos RMB-003 e RMB-004, ambos da coleta de dezembro. Este agrupamento ocorreu devido à concentração de alguns parâmetros como cloreto, sulfato, condutividade, sólidos dissolvidos totais, potássio e sódio terem diminuído no mês de dezembro nos pontos RMB-003 e RMB-004. Assim, as concentrações destes três pontos ficaram próximas.

Observando o dendrograma das amostras percebe-se que a amostra RMB-010 apresentou 100% de variabilidade com as demais amostras. Esse comportamento se deve pelo ponto RMB-010 ser uma nascente com origem distinta.

Logo, as amostras foram distribuídas em 3 grupos:

1º grupo: ponto RMB-010;

2º grupo: pontos RMB-001, RMB-003 e RMB-004;

3º grupo: pontos RMB-002 e RMB-009

As amostras do 2º e 3º grupo apresentaram uma variabilidade de 60%.

Os dados de água subterrânea foram obtidos a partir de uma matriz de 16 amostras validas (4 amostras em 4 coletas, sendo que em abril nos pontos RMB-005 e RMB-006 somente os ensaios de pH, temperatura, condutividade e sólidos dissolvidos totais foram realizados) versus 24 parâmetros analíticos (fluoreto, cloreto, nitrato-N, sulfato, pH, temperatura, condutividade, alcalinidade, solidos dissolvidos totais, alumínio, bário, ferro, manganês, vanádio, zinco, cálcio, potássio, magnésio, sódio, fósforo, silício, estrôncio, bicarbonato e nitrato), cuja avaliação estatística empregou o Software Statistica 8.0 (Figura 101).

Os seguintes parâmetros não foram quantificados acima do limite das técnicas instrumentais: As; Be; B; Cd; Pb; Cu; Cr; Co, Hg; Mo; Ag; Se; V, Li e Sn, logo não foram considerados no tratamento estatístico.

Figura 101- Estatística descritiva dos pontos amostrais de água subterrânea do entorno do RMB em 2015

Variable	Descriptive Statistics (Dados_Thamiris_amostra5a8)				
	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.
Fluoreto	14	0,4056	0,02000	1,1569	0,5053
Cloreto	14	5,6433	0,65280	18,2048	6,6904
Nitrato-N	14	1,1208	0,10000	3,9271	1,6605
Sulfato	14	1,9383	0,10000	4,0393	1,3597
Ph	16	6,7650	4,50000	7,9300	0,8541
Temperatura	16	20,9313	11,70000	32,2000	5,7399
Condutividade	16	257,2750	89,50000	400,0000	122,4490
Alcalinidade	14	139,8571	16,00000	240,0000	88,3462
Solidos dissolvidos totais	16	128,5687	44,80000	200,0000	61,2376
Aluminio	14	0,0286	0,01000	0,1750	0,0441
Bário	14	0,1588	0,05800	0,3690	0,1000
Cobalto	14	0,0111	0,01000	0,0120	0,0007
Manganês	14	0,0326	0,02000	0,0900	0,0229
Zinco	14	0,0562	0,01000	0,1650	0,0509
Cálcio	14	16,2601	3,71100	23,5220	7,9497
Potássio	14	2,6193	2,09100	3,7705	0,5313
Lítio	14	0,0122	0,01000	0,0160	0,0022
Magnésio	14	5,1948	1,09000	10,0590	3,9929
Sódio	14	24,4272	8,42800	43,2300	14,2807
Fósforo	14	0,1606	0,04200	0,2760	0,0587
Silício	14	12,2191	5,48300	17,3000	4,3567
Estrôncio	14	0,4054	0,02900	1,0000	0,3138
Bicarbonato	14	85,3129	9,76000	146,4000	53,8912
Nitrato	14	4,9635	0,44286	17,3914	7,3537

Fonte: autor da dissertação

Considerando as características dos parâmetros analíticos e as 4 amostras em 4 coletas distintas empregou-se a análise de componentes

principais para as quais foram identificados 3 componentes principais com eigenvalor > 1, que explicam 88,23% da variabilidade da matriz (Figura 102).

Em comparação com a variabilidade explicada para a água superficial, a água subterrânea tem uma variabilidade explicada pelos fatores mais elevada, provavelmente por ser um sistema com menos alteração em função dos parâmetros, até por ser uma amostra mais confinada.

Figura 102 – Fatores que determinaram os componentes principais das amostras de água subterrânea do entorno do RMB

Variable	Factor Loadings (Varimax normali. Extraction: Principal components (Marked loadings are >,700000)		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Fluoreto	0,91646	0,089744	0,120482
Cloreto	-0,40811	-0,886997	0,002340
Nitrato-N	-0,50222	-0,847819	0,058806
Sulfato	0,73374	0,579012	-0,070618
Ph	0,37271	0,516715	-0,541096
Temperatura	0,34146	0,238466	0,633562
Condutividade	0,92127	0,320868	0,153555
Alcalinidade	0,85392	0,499454	-0,034342
Solidos dissolvidos totais	0,92224	0,318570	0,153679
Aluminio	-0,20011	-0,678144	0,367176
Bário	-0,16312	-0,932028	0,066208
Cobalto	0,04507	-0,404923	0,851723
Manganês	-0,44757	-0,672620	0,487498
Zinco	0,89514	0,167298	0,010142
Cálcio	0,69252	0,703320	-0,063952
Potássio	-0,74166	-0,497892	-0,118638
Lítio	0,02573	0,829863	0,374478
Magnésio	0,97733	0,181551	-0,003247
Sódio	0,94563	0,210394	0,003688
Fósforo	0,68201	0,224241	0,584130
Silício	0,30476	0,901160	-0,120367
Estrôncio	0,84709	0,342741	-0,211042
Bicarbonato	0,85392	0,499454	-0,034342
Nitrato	-0,50222	-0,847819	0,058806
Expl.Var	10,68797	8,056103	2,431215
Prp.Totl	0,44533	0,335671	0,101301

Fonte: autor da dissertação

Foram encontrados três fatores que influenciam a variação dos dados das águas subterrâneas amostradas (Figura 103).

Figura 103 – Componentes principais das amostras de água subterrânea do entorno do RMB

Eigenvalues (Dados_Thamiris_amostra5a8) Extraction: Principal components				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	15,65302	65,22092	15,65302	65,22092
2	3,66789	15,28289	19,32092	80,50382
3	1,85437	7,72655	21,17529	88,23037

Fonte: autor da dissertação

O primeiro fator explicou 65,22 % da variação dos dados e correlaciona diretamente os seguintes parâmetros: fluoreto, sulfato, condutividade, alcalinidade, sólidos dissolvidos totais, zinco, magnésio, sódio, estrôncio e bicarbonato e de forma inversa o potássio. Este fator parece estar associado a alcalinidade e a dureza da água subterrânea e por conseguinte a fontes naturais.

O segundo fator identificado explicou 15,29% da variação total dos dados e agrupou de forma direta o cálcio, lítio e silício e de forma inversa cloreto, nitrato-N, bário. Esse fator ao correlacionar parâmetros de forma inversa pode indicar a substituição de íons de ocorrência natural nas águas tais como cálcio e silício por ânions e espécies que percolem pelo solo e também as trocas iônicas que ocorrem entre a água e a percolação de águas de chuva através do solo.

O terceiro fator explicou 7,73% da variabilidade da matriz com o cobalto.

A análise de cluster que avalia a proximidade das amostras quanto à variabilidade observada nos dados de água subterrânea foi apresentada na Figura 104.

Figura 104- Dendrograma de linkagem das amostras de água subterrânea nas quatro campanhas de campo em 2015.

Fonte: autor da dissertação

O dendrograma mostra a similaridade que existe entre os pontos RMB-005 e RMB-006, que ficam localizados bem próximos. As amostras de abril dos pontos RMB-005 e RMB-006 se distanciaram dos demais meses nas mesmas amostras devido só terem sido realizados os ensaios de pH, temperatura, condutividade e sólidos dissolvidos totais.

Os pontos RMB 005 e RMB006 apresentaram uma variabilidade de 100% com os pontos RMB-007 e RMB-008. Possivelmente pelos pontos RMB 005 e RMB-006 apresentarem as maiores concentrações de condutividade, alcalinidade, sólidos totais dissolvidos, cálcio, sódio, estrôncio, magnésio e fluoreto que os demais (fatores possivelmente de influencia das rochas e solos onde estão localizados os pontos RMB 005 e RMB-006).

Os pontos RMB-007 e RMB-008 também estão situados bem distantes um do outro, logo tiveram a maioria das concentrações dos parâmetros

analisados diferentes. Por isso não estão no mesmo grupo, mas se aproximam mais entre si, do que dos pontos RMB-005 e RMB-006.

O ponto RMB-007, localizado na Fazenda São Benedito, apresentou altas concentrações de cloreto, nitrato-N, bário e potássio, possivelmente por influência do uso de defensivos agrícolas, infiltração das águas utilizadas na irrigação de culturas e escoamento das águas pluviais, pelos solos fertilizados. Já o ponto RMB-008 apresenta concentrações baixas na maioria dos parâmetros analisados, com exceção do íon silício.

Devido ao numero reduzido de amostras, não foi possível a obtenção de maiores informações sobre o conjunto de dados.

7 CONCLUSÃO

No presente estudo, foram avaliados seis pontos de água superficial e quatro pontos de água subterrânea na área do entorno do empreendimento do Reator Multipropósito Brasileiro –RMB.

Os pontos de água superficial abrangem o Rio Sorocaba, Ribeirão do Ferro, um lago em uma fazenda e uma nascente, logo apresentaram características químicas distintas. Os pontos amostrados RMB-001, RMB-003 e RMB-004 de água superficial apresentaram maior influência antrópica quando analisadas as possíveis origens das maiores concentrações de íons analisados.

Durante todo o período avaliado, a água superficial apresentou concentrações abaixo do máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para os 39 parâmetros de qualidade de água analisados, exceto nos elementos alumínio, zinco, ferro e manganês em pontos e meses pontuais e para o fósforo em todos os pontos e meses. Estas concentrações elevadas de alumínio e fósforo possivelmente são oriundas de fertilizantes, fungicidas e excreção de animais, já que a área estudada é caracterizada entre áreas de pastagens, uso agrícola e áreas de formação florestal. Já o ferro provém da própria região devido à região de Iperó ser marcada pela descoberta de minério de ferro. O ferro e o manganês não conferem toxicidade, somente objeção ao consumo devido à turbidez, cor e sabor.

Todos os pontos de águas subterrâneas avaliados pertencem ao Aquífero Tubarão, mas apresentam concentrações distintas nos 39 parâmetros analisados. Estas diferenças de características entre os pontos devem-se pelo Aquífero Tubarão ser formado por rochas com características heterogêneas e com intercalações de camadas arenosas, siltosas e argilosas, tornando o comportamento do aquífero irregular. Com exceção do ponto RMB-007 que possivelmente é influenciado pela área agrícola, os pontos amostrados de água subterrânea apresentaram concentrações características do meio da região.

Durante todo o período de quatro amostragens a água subterrânea, apresentou concentrações abaixo do máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 396/08 para os 39 parâmetros de qualidade de água analisados, exceto no ponto RMB-007 para o parâmetro pH.

A classificação hidroquímica encontrada por meio do diagrama de Piper classificou as águas superficiais e subterrâneas em bicarbonatadas mista e secundariamente bicarbonatadas sódica, com exceção do ponto RMB-007 de água subterrânea (cloretada sódica).

Nas amostras de águas subterrâneas não ocorreu influência de sazonalidade na classificação química das águas, já amostras de águas superficiais as concentrações de alguns íons variaram possivelmente pelo carreamento de íons dos solos nas épocas de chuvas.

Este trabalho contribui com dados significativos para o estudo do meio ambiente na região de Iperó, estabelecendo valores de referências para futuros programas de monitoramento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do campus do RMB. Logo, o ambiente em estudo no que se refere à qualidade da água, encontra-se em bom estado de conservação, completando assim o estudo do Programa de Monitoração Radiológica Ambiental, fornecendo subsídios para a o licenciamento ambiental do RMB e contribuindo para o controle do possível impacto que as atividades do RMB possam causar no entorno do empreendimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TIBURTIUS, E. R. L.; PERALTA-ZAMORA, P. **Contaminação de águas por BTXS e processos utilizados na remediação de sítios contaminados**. Química Nova, v. 27, n. 03, 2004. p.441-446.
- [2] BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERZWA, J.C.; BARROS, M.T.L.DE; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- [3] BARBIERO, L.C.da S. **Guia Definitivo Sobre Licenciamento Ambiental: o que é, como funciona e quais as principais leis que você precisa saber?.Net**. [São Paulo], set.2015. Evento do grupo Graltec.Geowebk.Disponível em:<<http://m.ptdocz.com/doc/837960/guia-definitivo-sobre-licenciamento-ambiental> >. Acesso em: 03 fev. 2017.
- [4] MRS ESTUDOS AMBIENTAIS LTDA. **Relatório de Impacto Ambiental do Reator Multipropósito Brasileiro**. [São Paulo], set. 2013a.Disponível em: <[http://licenciamento.ibama.gov.br/Nuclear/Reator%20Multiproposito%20Brasileiro%20\(RMB\)/RIMA/RIMA_FINAL.pdf](http://licenciamento.ibama.gov.br/Nuclear/Reator%20Multiproposito%20Brasileiro%20(RMB)/RIMA/RIMA_FINAL.pdf)> Acesso em: 21 mai. 2015.
- [5] FREIRE, A.P. **Ibama concede licença ambiental prévia para o Projeto RMB**. [São Paulo], mai. 2015. Disponível em: <https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=38&campo=2802>. Acesso em: 21 set. 2015.
- [6] SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- [7] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 17 fev.1986. p.2548-2549.

- [8] STRIEDER, M. N.; RONCHI, L. H.; STENERT, C.; SCHERER, R. T.; NEISS, U. G. ***Medidas biológicas e índices de qualidade da água de uma microbacia com poluição urbana e de curtumes no Sul do Brasil***. Acta Biológica Leopoldensia, Porto Alegre, v. 28, n 01, 2006, p.17-24.
- [9] GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALES, V. G. ***Orientações para a utilização de águas subterrâneas no estado de são paulo***. São Paulo, set. 2005. Disponível em: <http://www.abas.org/arquivos/aguasf.pdf>. Acesso em: 13 out. 2016.
- [10] TUNDISI, J. G.. ***Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos*** - São Paulo : REVISTA USP, n. 70, pp. 24-35. junho/agosto 2006.
- [11] PAGANINI, W. da S.. ***A identidade de um rio de contrastes: o Tietê e seus múltiplos usos***. 2.ed. São Paulo: ABES, AESABESP.2008.
- [12] BRASIL. Decreto nº 16.300, de 31 de dezembro de 1923. Aprova o regulamento do Departamento Nacional de Saúde Pública. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 01 de fev.1924. Seção 1, p. 3199.
- [13] BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 de jul.1934. Seção 1, p. 14738.
- [14] BRASIL. Decreto-lei nº 852, de 11 de novembro de 1938. Mantém, com modificações, o Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 de nov.1938. Seção 1, p. 22565.
- [15] BRASIL. Decreto nº 73.030, de 30 de outubro de 1973. Cria, no âmbito do Ministério do Interior, a Secretaria Especial do Meio Ambiente - SEMA, e da outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 de out.1973. Seção 1, p. 11024.
- [16] BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Lei da Política Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 02 de set.1981. Seção 1, p. 16509.

[17] BRASIL. Decreto nº 88.351, de 1 de junho de 1983. Revogado pelo Decreto nº 99.274 de 6 de junho de 1990. Regulamenta a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, que dispõem, respectivamente, sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 03 de jun.1983. Seção 1, p. 9417.

[18] BRASIL. Decreto nº 91.305, de 3 de junho de 1985. Altera dispositivo do Regulamento do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 04 de jun.1985. Seção 1, p. 8024.

[19] BRASIL. Constituição de 1988. Constituição da República Federativa do Brasil. Poder Legislativo. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 05 de out.1988. Seção 1, p. 1.

[20] SÃO PAULO (Estado). Constituição Estadual, de 5 de outubro de 1989. Poder Legislativo. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 06 de out.1989. Seção 1, p. 1.

[21] SÃO PAULO (Estado). Emendas Constitucionais nº 1/1990 a 28/2009, 1990 - 2009.

[22] ANVISA-Agencia Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - RDC nº 274, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para águas envasadas e gelo. São Paulo.

[23] BRASIL. Decreto-lei nº 7.841, de 8 de agosto de 1945. Código de águas minerais. Poder Executivo. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 de ago.1945. Seção 1, p. 13689.

[24] HAGER, F.P.V.; D'ALMEIDA, M.L. Águas subterrâneas e o direito constitucional. **Revista Águas Subterrâneas**. Natal, RN: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008. Disponível em:< <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23312>>. Acesso em: 14 set. 2015.

[25] BRASIL. Resolução CNRH Nº 15, de 11 de janeiro de 2001. Estabelece diretrizes gerais para a gestão das águas subterrâneas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 de jan.2001.

[26] BRASIL. Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002. Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências.

Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 de jul.2002. Seção 1, p.6.

[27] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 de mai.2002. Seção 1, p.68.

[28] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 335, de 3 de abril de 2003. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. **Diário Oficial da União** nº101, Brasília, DF, 28 de mai.2003. Seção 1, p.98-99.

[29] SÃO PAULO (Estadual). Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 de dez.1991. Seção 1, p.2.

[30] SÃO PAULO. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SIGRH. **Relatório de Situação dos recursos hídricos no Estado de São Paulo**: Ano-base 2015/ Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, Coordenadoria de Recursos Hídricos. – 6. ed. – São Paulo : Coordenadoria de Recursos Hídricos, 2017. Vários colaboradores. Bibliografia ISBN 978-85-65214-08-7. Câmara Brasileira do livro. Disponível em:< http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/ckfinder/files/RSE_2016_Final_Recursos_Hidricos.pdf>. Acesso em: 12 jun.2017.

[31] SÃO PAULO. Lei nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994. Poder Executivo. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, a ser implantado no período 1994 e 1995, em conformidade com a Lei n. 7.663, de 30/12/91, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 de dez.1994. Seção 1, p.3.

[32] BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 de jan.1997. Seção 1, p.470.

[33] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **O comitê de bacia hidrográfica: o que é e o que faz?**. Cadernos de capacitação em recursos hídricos, v.1. Brasília: SAG, 2011. ANA, 2011. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/CadernosDeCapacitacao1.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2017.

[34] BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003. Institui a divisão Hidrográfica Nacional. **Diário Oficial da União** nº 242, Brasília, DF, 17 de dez.2003. Seção 1, p.142.

[35] TELLES, D. D'A.(coordenador); GÓIS, J.S. (colaborador). Vários autores. **Ciclo Ambiental da água: da chuva á gestão**. São Paulo: Blucher, 2013.

[36] CARDOSO, M.R.D. **Mapa bacias hidrográficas Brasil**. [Mapas] Regiões Hidrográficas, Bacias Hidrográficas e Sub-bacias do Brasil. 2012. Disponível em: <<http://murilocardoso.com/2012/01/23/mapas-regioes-hidrograficas-bacias-hidrograficas-e-sub-bacias-do-brasil/>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

[37] FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Projetos e ações – Elaboração do plano de bacias**. Disponível em: < <https://www.sosma.org.br/projeto/observando-os-rios/politicas-publicas/comites-de-bacias/elaboracao-plano-de-bacias/>>. Acesso em: 12 de mai. 2017.

[38] SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS – SIGRH. Portal. Disponível em:< <http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhsmt/apresentacao>>. Acesso em 29 Junho 2017.

[39] SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO PLANO REGIONAL INTEGRADO DE SANEAMENTO BÁSICO ENGECORPS - SSRH/CSAN. **Plano regional integrado de saneamento básico**. Apoio técnico à elaboração dos planos municipais de saneamento e elaboração do plano regional de saneamento para os municípios da Bacia Hidrográfica dos Rios Sorocaba e Médio Tietê – UGRHI 10. Novembro 2011. Disponível em:<http://www.saneamento.sp.gov.br/PMS/UGRHI10/PRS_UGRHI10.pdf>. Acesso em 17 jun. 2017.

[40] SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS – SIGRH. **Caracterização geral da UGRHI 10: capítulo I, conteúdo, tratamento e apresentação dos dados**. Disponível em:<<http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/6525/relsmstseg.pdf>>. Acesso em 10 jan. 2017.

[41] COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Série Relatórios: ***Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2015 – Apêndice B (Chuva nas UGRHI)*** [recurso eletrônico] / CETESB. São Paulo: CETESB, 2016. Disponível em < <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Ap%C3%AAndice-B-Chuva-nas-UGRHI-1.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2017.

[42] SÃO PAULO. Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977. Poder Executivo. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 de nov.1977. Seção 1, p.1.

[43] SÃO PAULO. Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Poder Executivo. Aprova Regulamento que disciplina a execução da Lei nº. 997, de 31/05/1976, que dispõe sobre controle da poluição do meio ambiente. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 de set.1976. Seção 1, p.4.

[44] BRASIL. Lei nº 6.939, de 9 de setembro de 1981. Poder Legislativo. Institui o regime sumário de registro e arquivamento no Registro do Comércio e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 de set.1981. Seção 1, p.17053.

[45] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986. O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe confere o art. 7º, inciso IX, do Decreto 88.351, de 1º de junho de 1983, e o que estabelece a RESOLUÇÃO CONAMA Nº 003, de 5 de junho de 1984. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 de jul.1986.

[46] BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH Resolução nº 12, de 19 de julho de 2000. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 de jul.2000.

[47] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 91, de 05 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 06 de fev.2009.

[48] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União** nº 66, Brasília, DF, 07 de abr. 2008. Seção 1, p.64-68.

[49] COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB nº 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014. Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos Valores Orientadores de 2005 e dá outras providências. **Diário Oficial Estado de São Paulo**, São Paulo, SP, 21 de fev. 2014. Poder Executivo – edição nº 124.

[50] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União** nº 53, Brasília, DF, 18 de mar. 2005. p.58-63.

[51] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 397, de 3 de abril de 2008. Altera o inciso II do § 4º e a Tabela X do § 5º, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA nº 357, de 2005, que 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. **Diário Oficial da União** nº 66, Brasília, DF, 7 de abr. 2008. p.68-69.

[52] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União** nº 92, Brasília, DF, 16 de mai. 2011. p.89.

[53] COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Série Relatórios: **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2015 - Parte 1- águas doces** [recurso eletrônico] / CETESB. São Paulo: CETESB, 2016. Disponível em <<http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 02 fev. 2017.

[54] COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Enquadramento dos corpos hídricos – mapas temáticos – UGRHI 10**. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/enquadramento-dos-corpos-hidricos-mapas-tematicos/>>. Acesso em 18 Julho 2017.

[55] UMBUZEIRO, G. de A.; LORENZETTI, M. de L. **Fundamentos da Gestão da Qualidade das Águas Superficiais** – Resolução CONAMA 357 2005. São Paulo, Limeira: Biblioteca da Unicamp CPEA,2009. Arquivo PDF p.5 -7.

[56] BRASIL. Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990. Poder executivo. Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 7 de jun. 1990. Seção 1, p.10887.

[57] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. **Diário Oficial da União** nº 247, Brasília, DF, 22 de dez. 1997. Seção 1, p.30.841 – 30.843.

[58] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do **caput** e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. . **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 de dez. 2011. Seção 1, p.1.

[59] SARGAONKAR, A.; DESHPANDE, V. ***Development of na overall index of pollution for surface water basead on a general classification scheme in Indian context.*** Environ. Monit. Assess., n.º 89, p.43-67, 2003.

[60] PIVELI, R.P.; KATO, M.T. ***Qualidade da água e poluição: aspectos físico-químicos.*** São Paulo: ABES, 2005.

[61] MACÊDO, J.A.B.de. ***Introdução á Química Ambiental:*** química & meio ambiente & sociedade. 2. ed. atualizada e revisada. 2006.

[62] HYPOLITO, R.; ANDRADE, S.; EZAKI, S. ***Geoquímica da interação:*** água, rocha, solo: estudos preliminares. São Paulo: All Print Editora. 2011.

[63] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Caderno de Recursos Hídricos. ***Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil*** / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. - Brasília: ANA, SPR, 2005. Disponível em:
<http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA_DA_QUALIDADE_DAS_AGUAS.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2015.

- [64] CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Série de Relatórios: Qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo. Apêndice A-** Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias de Técnicas Analíticas e Amostragens. São Paulo: 2009. 43 p. Disponível em < <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 23 ago.2016.
- [65] PARRON, L.M.; MUNIZ, D.H. de F.; PEREIRA, C.M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água** (recurso eletrônico) Colombo: Embrapa Florestas (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaver_sao.pdf> Acesso em: 14 mai. 2016.
- [66] BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2ª edição. Porto Alegre:Bookman, 2002.
- [67] BRASIL. Lei nº 6.050, de 24 de maio de 1974. Poder Legislativo. Dispõe sobre a fluoretação da água em sistemas de abastecimento quando existir estação de tratamento. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 de mai. 1974. Seção 1, p.6021.
- [68] BRASIL. Portaria nº 635/Bsb, de 26 de dezembro de 1975. Aprova normas e padrões sobre a fluoretação da água, tendo em vista a Lei n.º 6050/74.
- [69] BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União** nº 239, Brasília, DF, 14 de dez. 2011. Seção 1, p.39-46.
- [70] FRAZÃO, P.; PERES, M.A; CURY, J.A. **Qualidade da água para consumo humano e concentração de fluoreto**. Revista Saúde Pública. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rsp/2011nahead/2584.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2017.
- [71] FEITOSA, F. A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMÉTRIO, J.G.A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**, 3 ed., CPRM, Ed., Recife, LABHID, 2008.

- [72] FAUSTINO, M. G. **Desenvolvimento e validação de metodologia para determinação de metais em amostras de água por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio (ICP-OES)**. 2015a. 148p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
- [73] COUILLARD, D.; LEFEBVRE, Y. **Analysis of water quality indices**, vol. 21, Estados Unidos: Journal of Environmental Management, 1985, pp. 161-179.
- [74] STEFANO, M. "Iperó ganhará um segundo reator nuclear," **Jornal Cruzeiro do sul-Sorocaba e Região**, 31 Agosto 2011. [Online]. Disponível em: <<http://www.jornalcruzeiro.com.br/materia/325734/ipero-ganhara-um-segundo-reator-nuclear>>. Acesso em 13 set. 2016.
- [75] INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Ministério do Meio Ambiente. 2017. [Online]. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/empreendimentos-e-projetos/licenciamento-ambiental-servicos/tr>>. Acesso em 10 mai. 2017.
- [76] MRS ESTUDOS AMBIENTAIS LTDA. **Estudo de Impacto Ambiental do Reator Multipropósito Brasileiro**, vol. 2, Tomo II. [São Paulo], mai. 2013b. Disponível em: <[http://licenciamento.ibama.gov.br/Nuclear/Reator%20Multiproposito%20Brasileiro%20\(RMB\)/EIA/VOLUME_2_TOMO_II.pdf](http://licenciamento.ibama.gov.br/Nuclear/Reator%20Multiproposito%20Brasileiro%20(RMB)/EIA/VOLUME_2_TOMO_II.pdf)>. Acesso em: 21 mai. 2015.
- [77] ALVES, S.F. **Utilização do modelo de dispersão ARTM associado a recursos de geoprocessamento para simulação do impacto ambiental radiológico de emissões atmosféricas de um reator de pesquisa**. 2013. 154p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais). Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte - SP.
- [78] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR-CNEN. Diretoria de pesquisa e desenvolvimento Reator Multipropósito Brasileiro – IPEN. **Programa de Monitoração Radiológica Ambiental Pré-Operacional do RMB (PMRA)**. Código do documento: RMB-000-00-LD-06100-RD-001. São Paulo, 2012.
- [79] MENDONÇA, F.; DANNI – OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de textos, São Paulo, 2007.

- [80] CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA - CEPAGRI Meteorologia UNICAMP. **Clima dos municípios Paulistas**. Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Campinas SP, 2017. **[Online]**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_243.html>. Acesso em 13 abr. 2017.
- [81] PERES, S. da S.; MARTINS, N.S.F. **Informações preliminares do local do RMB: uso e ocupação do solo, uso das águas, vias críticas de exposição, grupo crítico da população**. Relatório Técnico do RMB/DPD/CNEN. 2011.
- [82] FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE – SEADE. Secretaria de Economia e Planejamento, Informações dos Municípios Paulistas (IMP). **Tipologia dos Municípios Paulistas baseada no PIB Municipal**. 2009. Disponível em:< <http://www.seade.gov.br/produtos/pib-municipal/>>. Acesso em 26 fev, 2017.
- [83] FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS – SEADE. Secretaria de Economia e Planejamento, Informações dos Municípios Paulistas (IMP). **População, por sexo e situação do domicílio**. **[Online]**. Disponível em:< <http://www.imp.seade.gov.br/frontend/#/tabelas/>>. Acesso em 26 fev. 2017.
- [84] INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (IEA) e COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL (CATI). Governo do Estado de São Paulo. **Levantamento Subjetivo 2009, Previsões e Estimativas de Safras do Estado de São Paulo**. **[Online]**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/index.php>> Acesso em:19 abr.2017
- [85] SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Instituto de Economia Agrícola, **Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo - LUPA 2007/2008**. São Paulo: SAA/CATI/IEA, 2008, Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa>> Acesso em 10 jan.2017.
- [86] SÃO PAULO. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SIGRH. **Relatório de Situação dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica 2016 - UGRHI 10 - Ano base 2015**. CBH-SMT (Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Sorocaba e Médio Tietê). Sorocaba, 2016. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/relatoriosituacaodosrecursososhidricos>>. Acesso em: 29 jun.2017.

[87] SÃO PAULO. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SIGRH. **Relatório de Situação dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica 2013 - UGRHI 10 - Ano base 2012**. CBH-SMT (Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Sorocaba e Médio Tietê). Sorocaba, 2013. Disponível em: < <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/deliberation/%5C6205/rs-06-01-13.pdf>>. Acesso em: 29 jun.2017.

[88] VIDAL, A.C. **Estudo Hidrogeológico do Aquífero Tubarão na área de afloramento da porção central do Estado de São Paulo**. 2002.110 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista (Instituto de Geociências e Ciências Exatas). Rio Claro/SP.

[89] SÃO PAULO. Secretária de Saneamento e Recursos Hídricos. **Águas subterrâneas no Estado de São Paulo, Diretrizes de Utilização e Proteção**- Departamento de águas e energia elétrica, Instituto Geociências e Ciências Exatas. Laboratório de Estudo de Bacias. DAEE-LEBAC, São Paulo, 2013. Disponível em: < [http://www.daee.sp.gov.br/acervoepesquisa/Atlas%20-%20%C3%81guas%20Subterr%C3%A2neas%20\(DAEE-LEBAC\).pdf](http://www.daee.sp.gov.br/acervoepesquisa/Atlas%20-%20%C3%81guas%20Subterr%C3%A2neas%20(DAEE-LEBAC).pdf)>. Acesso em: 15 jun.2016.

[90] CESTESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Aquíferos monitorados das águas subterrâneas do Estado de São Paulo: Aquífero Tubarão**. 2017. [Online]. Disponível em:<<http://aguassubterraneas.cetesb.sp.gov.br/aquifero-tubarao/>>. Acesso em 23 fev. 2017.

[91] IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**, São Paulo: Secretaria do Estado do Meio Ambiente- SMA, 2009, 104 p.- 2a. edição. ISBN 978.85.86624.56.8. Disponível em: < http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/cart_AG_SB.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2016.

[92] ARINE, D.R. **Análise de águas de superfície e sedimentos de rios da região de Iperó, SP, por espectrometria de absorção atômica e por ativação neutrônica**. 2000. 127 p. Tese (Mestrado em Tecnologia Nuclear)- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo.

[93] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA; Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA; Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais – PREVFOGO. **Plano Operativo de Prevenção e Combate aos incêndios florestais: Floresta Nacional de Ipanema**. 2008.Iperó-SP.

[94] INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). Ministério do Meio Ambiente. **Histórico da FLONA**. [Online]. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/flonaipanema/quem-somos.html>> Acesso em: 19 abr.2017.

[95] PREFEITURA MUNICIPAL DE IPERÓ. Lei 868 - Anexo I - **Plano Municipal de Educação**. Iperó, São Paulo, 2015. Disponível em:<<http://www.ipero.sp.gov.br/wp-content/uploads/2015/06/Lei-868-2015-Anexo-I-Plano-Municipal-de-Educa%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 30 abr.2016.

[96] COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO/AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**, C. J. B. (Organizadores), Ed., Brasília, DF: CESTESB/ANA, 2011.

[97] APHA AWWA WPCF // American Public Health Association, the American Water Works Association & Water Pollution Control Federation. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. Washington : [s.n.], 2005.

[98] EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts – Method 3015A**. Revisão 01. Fevereiro de 2007. Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3015a.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2015.

[99] ABNT NBR 13736:1996. **Água- Determinação de alcalinidade- Métodos potenciométrico e titulométrico - Método de ensaio**. 1996.

[100] ABNT NBR 10664:1989. **Água - Determinação de resíduos (sólidos)- Método gravimétrico-Método de ensaio**. 1989.

[101] EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Method 6010C – inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry**. 2007. Disponível em < <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/6010c.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2015.

[102] EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Method 7741A – Selenium** (atomic absorption, gaseous hydride). 1994.

[103] EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Method 7062 - antimony and arsenic** (atomic absorption, borohydride reduction). 1994.

[104] EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Method 7470A - Mercury in liquid waste** (manual cold-vapor technique). 1994.

[105] EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Method 300.0 - Determination of inorganic anions by ion chromatography**. 1993.

[106] COTRIM, M. E.B. **Avaliação da qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape com vistas ao abastecimento Público**. 2006. 236 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.

[107] DANTAS, E.S.K.; COTRIM, M.E.B.;FURUSAWA, H.A.; PIRES, M.A.F. **Antimony determination in river and drinking water by AAS and ICP-OES**. Seventh Rio Symposium on Atomic Spectrometry. Realizado 7-12 abril de 2002.Florianópolis, SC – Brasil, p. 100.

[108] FURUSAWA, H.A. DANTAS, E.S.K.; COTRIM, M.E.B.; PIRES, M.A.F. **Arsenic and selenium evaluation in human consumption destination water**. Seventh Rio Symposium on Atomic Spectrometry. Realizado 7-12 abril de 2002.Florianópolis, SC – Brasil, p. 101.

[109] LEMES, M.J.L. **Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogi - Guaçu e Pardo**. 2001. 215 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.

[110] VILLA, S.M.; STELLATO,T.B.; MARQUES, J.R.; FAUSTINO,M.G.; SILVA, D.B.; MONTEIRO,L.R.; SILVA,T.B.S.C da; COTRIM,M.E.B.; PIRES, M.A.F.; **Garantia da qualidade no monitoramento ambiental de ânions no programa de monitoramento ambiental do Ipen**. In: CONGRESSO 2014 RESAG_ENQUALAB 14°. REDE METROLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – REMESP. 29 de out. 2014. Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos – ABIMAQ. Anais eletrônicos. São Paulo: 2014. Disponível em: < <http://www.resag.org.br/congressoresagenqualab2014/anais/tudo/trabalhos.html> > Acesso em: 12 abr.2016.

- [111] FAUSTINO, M.G.; MONTEIRO, L.R.; STELLATO, T.B.; VILLA, S.M.; SILVA, T.B.S.C da; SILVA, D.B.; MARQUES, J.R.; PIRES, M.A.F.; COTRIM, M.E.B.; ***Temporal comportment assessment of metals in groundwater on the campus at Ipen/CNEN-SP***. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE – INAC. 4 de out. 2015. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR – ABEN. Anais eletrônicos...São Paulo: 2015b. Disponível em: < <http://repositorio.ipen.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/24048/21089.pdf?sequence=1&isAllowed=y> > Acesso em: 12 abr. 2016.
- [112] VALLADARES NETO, J.; SANTOS, C. B. dos; TORRES, É. M.; ESTRELA, C.; BoxPlot: um recurso gráfico para a análise e interpretação. Rev Odontol Bras Central 2017; 26(76): 1-6. ISSN 1981-3708.
- [113] PEREIRA, S.; CAVALCANTE, I.N.; GOMES, D.F.; GOMES, M.C.R.; MOURA, I.B.M. ***A qualidade das águas subterrâneas na porção oeste da faixa costeira do município de Fortaleza- Ceará***. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Águas Subterrâneas, p. 5, 2004.
- [114] LOGAN, J. ***Interpretação de análises químicas d'água***, Recife: US.Agency for International Development, 1965, p. 67.
- [115] CUSTÓDIO, E. L. M. ***Hidrogeologia subterrânea***. vol. 1, Barcelona, Ediciones Omega, 1983, pp. 174-213.
- [116] GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ - Secretária dos recursos hídricos, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Ceará, 2011.
- [117] PERES JUNIOR, J. B.R. ***Caracterização geoquímica e classificação das águas dos rios São Bartolomeu, Couros e Tocantinzinho- chapada dos veadeiros***. 2013. 76 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade de Brasília. Instituto de Química, GO.
- [118] CAJAZEIRAS C. ***Qualidade e uso das águas subterrâneas e a relação com doenças de veiculação hídrica, Região de Crajubar/CE***. 2007. 131 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará. Departamento de Geologia, Fortaleza – CE.
- [119] NETO, J.J.M.; MOITA, G.C. ***Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados***. 1997. Universidade Federal do Piauí. Revista Química Nova. p.467- 469.

[120] MAPA, F.B. **Geoquímica Multielementar de sedimentos de corrente no Estado de São Paulo: Abordagem através da análise estatística multivariada**. São Paulo, 2015.

[121] VARELLA, C. A. A. **Análise multivariada aplicada as ciências agrárias: análise de componentes principais**. 2008. Pós Graduação em Agronomia - CPGA-CS UFRRJ. Rio de Janeiro. Disponível em:< <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/multivariada%20aplicada%20as%20ciencias%20agrarias/Aulas/analise%20de%20componentes%20principais.pdf>>. Acesso em: 03 jul.2016.

[122] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento**. Banco de dados meteorológicos do INMET. 2015. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/>> Acesso em: 21 abr.2016.

[123] CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo 2013-2015**. 2016. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios>>. Acesso em 23 jun. 2017.

[124] VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3.ed. Belo Horizonte: UFMG/ Departamento de Engenharia Sanitária, 2005. v.1, 452p.

[125] PONTES, P. P; MARQUES, A. R; MARQUES, G. F. **Efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água na micro-bacia do Córrego Banguelo – Contagem**. Revista Água & Ambiente, v. 7, n. 3, p. 183-194, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.962>>. Acesso em: 12 mar.2017.

[126] NAIME, R.; FAGUNDES, R.S. **Controle da qualidade da água de Arroio Portão-RS**. Pesquisas em Geociências, v.32, n.1, p. 27-35, 2005. ISSN 1807 - 9806. Disponível em: < <http://www.ufrgs.br/igeo/pesquisas/3201/03-3201.pdf>>. Acesso em: 20 set.2017.

[127] TRINDADE, P.M.P.; SILVEIRA, G.V.; SANTOS, F.C. dos; BARBIERI, D. W.; WACHHOLZ, F.; PEREIRA FILHO, W. **Caracterização sazonal da temperatura da água dos reservatórios Passo Real e Dona Francisca, RS**. XV Simpósio de ensino, pesquisa e extensão – SEPE.5 a 7 de outubro de 2011. Disponível em:< <http://www.unifra.br/eventos/sepe2011/Trabalhos/1962.pdf>>. Acesso em: 13 fev.2017.

- [128] BRASIL. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS** / Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. – Brasília, DF: Funasa, 2014. Disponível em: < http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf> Acesso em: 10 abr.2016.
- [129] RICHTER, C.A. **Água-métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo-SP: Blucher, 2009. 340p.
- [130] EZAKI, S. **Hidrogeoquímica dos aquíferos tubarão e cristalino na região de salto**. 2011. 180 p. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências (IGC), São Paulo – SP.
- [131] KLEIN, C.; AGNE, S.A.A. **Fósforo: de nutriente á poluente**. Revista. Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (e-ISSN: 2236-1170), pp. v(8), nº 8, p. 1713-1721, Set-Dez, 2012. Disponível em: < <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/6430/pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2017.
- [132] BEREZUK, A.G.; GASPARETTO, N.V.L. **Ocorrência de chumbo e zinco na água subterrânea de Maringá-PR**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002. Disponível em:< <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22679>>. Acesso em: 24 ago. 2017.
- [133] SAVAZZI, E.A. **Determinação da presença de Bário, Chumbo e Crômio em amostras de água subterrânea coletadas no Aquífero Bauru**. 2008. 74 p. Dissertação (Mestrado em Toxicologia) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.
- [134] ALVES, M. C. **Determinação do teor de nitrogênio, fósforo e potássio em amostras de água de Rio submetidas á lixiviação de fertilizantes de áreas agrícolas**. 2013. 29 p. Projeto de Iniciação Científica apresentado ao Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, como requisito do Curso de Graduação. Assis.
- [135] ALBERTA GOVERNEMENT. **Precipitation Chemistry Data Handling and Preparation**. 2015. Disponível em: < <https://open.alberta.ca/dataset/ba843223-4f52-4caa-9c98-c91432e8a2f3/resource/dfd951a4-f331-4a37-ac8e-2a5f38a1a50e/download/Precipitation-Chemistry-Data-Jul30-2015.pdf>>. Acesso em 22 jul.2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Resultados dos 39 parâmetros analisados nas quatro campanhas de campo nos seis pontos de água superficial do entorno do empreendimento RMB.

APÊNDICE B - Resultados dos 39 parâmetros analisados nas quatro campanhas de campo nos quatro pontos de água subterrânea do entorno do empreendimento RMB.

APÊNDICE A – Resultados dos 39 parâmetros analisados nas quatro campanhas de campo nos seis pontos de água superficial do entorno do empreendimento RMB.

	PARÂMETRO	UNIDADE DE MEDIDA	RMB-001				RMB-002				RMB-003			
			Abril	Junho	Setembro	Dezembro	Abril	Junho	Setembro	Dezembro	Abril	Junho	Setembro	Dezembro
ANIÔNS	Fluoreto	mg L ⁻¹	0,307	0,100	0,100	0,251	0,100	0,100	0,100	0,100	0,409	0,364	0,522	0,447
	Cloreto		3,680	5,698	4,176	2,255	2,140	1,865	2,686	1,736	16,890	17,372	17,380	8,857
	Nitrato-N		0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
	Nitrato-N		0,237	0,563	0,337	0,113	0,264	0,341	0,250	0,233	0,271	0,639	0,443	0,486
	Sulfato		27,897	21,456	13,645	15,730	5,880	1,404	1,910	1,886	7,860	12,469	13,811	7,741
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	pH		6,430	6,620	7,510	5,500	6,320	6,860	6,900	7,500	6,860	7,080	6,930	5,000
	Temperatura	°C	-	17,900	14,500	17,800	21,200	18,100	14,900	20,800	25,300	21,400	20,200	25,600
	Condutividade	µS cm ⁻¹	219,000	199,400	202,000	243,000	132,500	118,400	129,700	133,000	195,400	194,200	258,000	148,100
	Alcalinidade	mg CaCO ₃ L ⁻¹	137,000	90,000	99,000	133,000	121,000	82,000	79,000	87,000	95,000	53,000	52,000	50,000
	Sólidos dissolvidos totais	ppm	109,700	99,200	101,100	121,600	66,100	59,200	65,000	66,500	97,700	97,200	129,500	74,000
METAIS TOTAIS	Alumínio	mg L ⁻¹	0,031	0,102	0,273	0,153	0,038	0,090	0,185	0,010	0,010	0,099	1,050	0,669
	Arsênio		0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
	Bário		0,138	0,113	0,156	0,133	0,139	0,059	0,075	0,097	0,143	0,010	0,015	0,019
	Berílio		0,020	0,020	0,020	0,022	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	Boro		0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
	Cádmio		0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
	Chumbo		0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
	Cobalto		0,010	0,012	0,012	0,012	0,010	0,011	0,011	0,011	0,010	0,011	0,011	0,011
	Cobre		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	Cromo		0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
	Ferro		1,840	0,817	2,063	0,659	1,820	0,574	0,812	1,652	0,050	0,413	1,026	1,056
	Manganês		-	0,210	0,534	0,186	1,978	0,021	0,064	0,027	0,022	0,020	0,046	0,036
	Mercurio		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	Molibdenio		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	Níquel		0,010	0,010	0,010	0,010	0,011	0,010	0,010	0,010	0,014	0,010	0,010	0,015
	Prata		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	Selênio		0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
	Vanádio		0,026	0,020	0,020	0,020	0,023	0,020	0,020	0,020	0,023	0,020	0,020	0,020
	Zinco		0,023	0,010	0,010	0,021	0,028	0,010	0,010	0,010	0,209	0,010	0,021	0,010
	Cálcio		30,043	15,956	14,719	25,177	17,038	9,702	10,138	11,341	13,037	8,423	8,621	8,964
	Potássio		4,129	3,735	3,753	3,213	3,265	2,651	3,469	3,060	5,030	5,066	5,288	4,190
	Lítio		0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
	Magnésio		9,493	5,594	5,056	8,179	5,266	4,056	4,270	4,287	2,933	2,328	2,375	2,427
	Sódio		8,554	7,949	7,036	6,713	7,223	5,961	6,178	5,465	17,940	16,955	17,564	9,414
	Fósforo		0,020	0,183	0,222	0,192	0,105	0,218	0,252	0,237	0,099	0,397	0,443	0,266
	Silício		10,120	10,477	10,232	8,794	10,360	11,236	11,524	12,163	16,600	3,582	4,837	4,692
	Estanho		0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
	Estrôncio		0,454	0,120	0,125	0,168	0,417	0,124	0,130	0,129	1,590	0,054	0,057	0,051
	Titânio		0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
	HCO ₃	mg L ⁻¹	83,570	54,900	60,390	81,130	73,810	50,020	48,190	53,070	57,950	32,330	31,720	30,500
	NO ₃	mg L ⁻¹	1,050	2,493	1,491	0,500	1,169	1,509	1,105	1,034	1,200	2,829	1,963	2,154

APÊNDICE A – Resultados dos 39 parâmetros analisados nas quatro campanhas de campo nos seis pontos de água superficial do entorno do empreendimento RMB (continuação).

	PARÂMETRO	UNIDADE DE MEDIDA	RMB-004				RMB-009				RMB-010			
			Abril	Junho	Setembro	Dezembro	Abril	Junho	Setembro	Dezembro	Abril	Junho	Setembro	Dezembro
ANIÔNS	Fluoreto	mg L ⁻¹	0,424	0,339	0,674	0,695	0,412	0,459	0,371	0,408	0,020	0,020	0,020	0,020
	Cloreto		18,410	16,520	18,389	9,590	9,900	10,163	9,748	8,341	0,500	0,500	2,274	0,500
	Nitrito-N		0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
	Nitrato-N		0,113	0,415	0,209	0,501	0,247	0,113	0,113	0,113	0,149	0,113	0,113	0,113
	Sulfato		9,560	11,954	16,137	10,034	6,519	5,706	7,428	6,806	0,100	0,100	0,100	0,100
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	pH		6,940	6,850	7,260	6,500	6,410	6,700	7,060	6,000	7,110	6,030	6,360	5,000
	Temperatura	°C	20,500	19,300	15,000	25,800	14,200	17,700	25,300	16,800	22,800	13,400	18,400	25,300
	Condutividade	µS cm ⁻¹	213,000	194,400	230,000	159,300	132,900	138,200	122,100	162,200	29,300	27,500	32,900	26,500
	Alcalinidade	mg CaCO ₃ L ⁻¹	84,000	71,000	68,000	56,000	58,000	59,000	43,000	61,000	37,000	27,000	21,000	22,000
	Sólidos dissolvidos totais	ppm	106,600	97,200	115,000	79,500	66,300	69,000	61,000	81,100	14,600	13,730	16,400	13,330
METAIS TOTAIS	Alumínio	mg L ⁻¹	0,067	0,092	0,010	0,709	0,010	0,038	0,064	0,094	0,594	0,010	0,010	0,753
	Arsênio		0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
	Bário		0,053	0,010	0,026	0,018	0,124	0,014	0,034	0,079	0,024	0,026	0,026	0,011
	Berílio		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	Boro		0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
	Cádmio		0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
	Chumbo		0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
	Cobalto		0,010	0,011	0,012	0,011	0,010	0,011	0,010	0,011	0,010	0,012	0,012	0,011
	Cobre		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	Cromo		0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
	Ferro		0,800	0,388	1,984	1,126	0,050	0,164	0,235	0,391	2,230	2,403	3,943	0,887
	Manganês		0,051	0,020	0,074	0,044	0,020	0,020	0,020	0,093	0,247	0,112	0,113	0,020
	Mercurio		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	Molibdenio		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	Níquel		0,011	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
	Prata		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	Selênio		0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
	Vanádio		0,020	0,020	0,020	0,020	0,022	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	Zinco		0,021	0,010	0,047	0,010	0,210	0,010	0,010	0,010	0,022	0,010	0,018	0,031
	Cálcio		13,405	8,291	8,860	8,892	10,817	8,629	7,708	12,337	2,219	1,868	1,743	1,491
	Potássio		5,596	4,980	5,624	4,311	3,921	3,478	3,235	4,141	1,657	1,033	1,670	1,559
	Lítio		0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
	Magnésio		2,752	2,259	2,517	2,458	2,617	2,396	2,273	3,066	0,566	0,500	0,050	0,050
	Sódio		19,995	16,282	20,427	11,113	12,402	9,850	9,709	9,476	3,373	2,706	3,176	2,622
	Fósforo		0,272	0,392	0,596	0,281	0,076	0,177	0,177	0,293	0,098	0,267	0,204	0,124
	Silício		4,990	3,521	6,346	4,608	15,080	0,631	0,179	3,253	8,100	9,060	9,682	6,402
	Estanho		0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
	Estrôncio		0,125	0,054	0,058	0,051	1,440	0,044	0,043	0,076	0,042	0,014	0,013	0,011
	Titânio		0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
	HCO ₃	mg L ⁻¹	51,240	43,310	41,480	34,160	35,380	35,990	26,230	37,210	22,570	16,470	12,810	13,420
	NO ₃	mg L ⁻¹	0,500	1,838	0,927	2,219	1,094	0,500	0,500	0,500	0,658	0,500	0,500	0,500

APÊNDICE B – Resultados dos 39 parâmetros analisados nas quatro campanhas de campo nos quatro pontos de água subterrânea do entorno do empreendimento RMB

	PARÂMETRO	UNIDADE DE MEDIDA	RMB-005				RMB-006				RMB-007				RMB-008			
			Abril	Junho	Setembro	Dezembro	Abril	Junho	Setembro	Dezembro	Abril	Junho	Setembro	Dezembro	Abril	Junho	Setembro	Dezembro
ANIÔNS	Fluoreto	mg L ⁻¹	-	1,157	1,152	0,990	-	1,136	0,760	0,323	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	Cloreto		-	2,566	2,351	2,087	-	2,622	2,075	1,408	17,300	13,399	13,599	18,205	0,831	1,049	0,862	0,653
	Nitrito-N		-	0,100	0,100	0,100	-	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
	Nitrato-N		-	0,100	0,100	0,100	-	0,100	0,100	0,100	3,503	3,609	3,548	3,927	0,120	0,158	0,113	0,113
	Sulfato		-	2,405	3,103	3,232	-	2,412	3,401	4,039	0,100	0,100	0,100	0,100	2,340	1,477	2,071	2,257
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	pH		7,170	6,930	7,100	6,000	7,450	7,130	7,930	7,500	7,470	6,030	5,630	4,500	6,860	6,900	6,640	7,000
	Temperatura	°C	15,100	22,600	24,400	25,600	16,900	22,300	25,400	25,600	13,000	14,000	32,200	17,200	11,700	20,700	22,300	25,900
	Condutividade	µS cm ⁻¹	387,000	373,000	394,000	400,000	379,000	370,000	332,000	328,000	89,500	101,000	95,000	138,200	144,700	186,000	199,300	199,700
	Alcalinidade	mg CaCO ₃ L ⁻¹	-	239,000	229,000	233,000	-	240,000	198,000	222,000	37,000	21,000	16,000	22,000	132,000	122,000	125,000	122,000
	Sólidos dissolvidos totais	ppm	191,800	186,700	197,900	200,000	189,700	185,000	166,200	164,000	44,800	50,500	47,500	69,100	72,200	93,000	99,700	99,000
METAIS TOTAIS	Alumínio	mg L ⁻¹	-	0,040	0,010	0,010	-	0,012	0,010	0,010	0,010	0,040	0,044	0,175	0,010	0,010	0,010	0,010
	Arsênio		-	0,013	0,006	0,006	-	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
	Bário		-	0,103	0,101	0,100	-	0,106	0,164	0,232	0,241	0,272	0,273	0,369	0,083	0,058	0,062	0,060
	Berílio		-	0,020	0,020	0,020	-	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	Boro		-	0,200	0,200	0,200	-	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
	Cádmio		-	0,002	0,002	0,002	-	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
	Chumbo		-	0,004	0,004	0,004	-	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
	Cobalto		-	0,011	0,012	0,011	-	0,011	0,011	0,011	0,010	0,012	0,012	0,012	0,010	0,011	0,011	0,011
	Cobre		-	0,020	0,020	0,020	-	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	Cromo		-	0,040	0,040	0,040	-	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
	Ferro		-	0,050	0,050	0,050	-	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
	Manganês		-	0,020	0,020	0,020	-	0,020	0,020	0,020	0,020	0,062	0,064	0,090	0,020	0,020	0,041	0,020
	Mercúrio		-	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	0,001
	Molibdenio		-	0,020	0,020	0,020	-	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	Níquel		-	0,010	0,010	0,010	-	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
	Prata		-	0,020	0,020	0,020	-	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	Selênio		-	0,004	0,004	0,004	-	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
	Vanádio		-	0,020	0,020	0,020	-	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	Zinco		-	0,115	0,116	0,096	-	0,072	0,165	0,075	0,015	0,010	0,010	0,010	0,028	0,011	0,048	0,016
	Cálcio		-	22,834	23,164	22,908	-	23,522	22,690	21,217	6,104	4,003	3,711	4,406	18,705	18,018	18,270	18,090
	Potássio		-	2,129	2,120	2,091	-	2,223	2,229	2,212	3,771	2,903	2,837	3,542	2,360	2,781	2,732	2,740
	Lítio		-	0,013	0,013	0,013	-	0,013	0,012	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,014	0,016	0,016
	Magnésio		-	9,396	9,476	9,437	-	9,552	9,701	10,059	1,594	1,115	1,090	1,443	2,588	2,411	2,440	2,426
	Sódio		-	43,227	43,230	43,091	-	42,690	36,370	28,337	13,407	8,428	8,729	11,403	18,619	14,857	15,046	14,547
	Fósforo		-	0,194	0,276	0,193	-	0,199	0,202	0,184	0,065	0,151	0,146	0,115	0,042	0,165	0,158	0,158
	Silício		-	13,749	13,804	14,068	-	13,862	14,083	13,828	6,160	5,675	5,483	5,789	17,300	15,524	16,019	15,724
	Estanho		-	0,100	0,100	0,100	-	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
	Estrôncio		-	0,608	0,620	0,625	-	0,609	0,770	1,000	0,078	0,030	0,029	0,038	0,531	0,242	0,251	0,245
	Titânio		-	0,100	0,100	0,100	-	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
	HCO ₃	mg L ⁻¹	-	145,790	139,690	142,130	-	146,400	120,780	135,420	22,570	12,810	9,760	13,420	80,520	74,420	76,250	74,420
	NO ₃	mg L ⁻¹	-	0,443	0,443	0,443	-	0,443	0,443	0,443	15,513	15,982	15,713	17,391	0,531	0,700	0,500	0,500