

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS – UFPEL
Centro de Engenharias
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
Mestrado em Ciências Ambientais



**Avaliação da qualidade da água de mananciais nos municípios de Camaquã,
Cristal, Capão do Leão e Rio Grande, no estado do Rio Grande do Sul**

Daiane Kath Dallmann

Pelotas
2020

Daiane Kath Dallmann

**Avaliação da qualidade da água de mananciais nos municípios de Camaquã,
Cristal, Capão do Leão e Rio Grande, no estado do Rio Grande do Sul**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Beltrame
Coorientadora: Prof. Dr^a. Rubia Flores Romani

**Pelotas
2020**

Daiane Kath Dallmann

Avaliação da qualidade da água de mananciais nos municípios de Camaquã, Cristal,
Capão do Leão e Rio Grande, no estado do Rio Grande do Sul

Dissertação aprovada como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rafael Beltrame (Orientador)
Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria

Prof^a. Dr. Rubia Flores Romani (Coorientadora)
Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Bruno Muller Vieira
Doutor em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Pelotas

Prof^a. Dr. Mery Luiza Garcia Vieira
Doutora em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Rio Grande

Prof^a. Dr. Andréa Souza Castro (Suplente)
Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela dádiva da vida e por estar sempre comigo.

Ao meu marido Daniel pela parceria de anos na vida a dois, seja no casamento, na profissão, na sociedade da empresa de consultoria ambiental e também no desafio de encarar uma pós-graduação, conciliando com a jornada de trabalho, o que exigiu muito compromisso para que fosse possível a sua conclusão.

Aos meus pais que sempre me incentivaram a estudar, desde pequena, quando iniciei a vida escolar no interior de São Lourenço do Sul. Afinal, sou a única pessoa da família que possui diploma de ensino superior completo e especialização e sei dos esforços deles para direcionar o meu caminho.

A todos os meus professores, desde o primário até o mestrado, vocês contribuíram para a minha formação pessoal e profissional, com os conhecimentos passados e para os quais dou muito valor.

Aos meus orientadores Rúbia e Rafael pela acolhida e pelo incentivo.

À Companhia Riograndense de Saneamento (carinhosamente chamada de “Mãe Corsan” pelos empregados e ex-empregados), pela disponibilização dos dados, fundamental para realizar esta dissertação. A missão de entregar água tratada à população despertou em mim a afinidade pela área de qualidade das águas, nos anos em que pude colocar em prática os conhecimentos da graduação como operadora de ETA e instrutora.

Aos colegas de trabalho que supriram a ausência, aos colegas de aula e de profissão pelo auxílio e aos amigos que trouxeram descontração em momentos difíceis.

RESUMO

DALLMANN, Daiane Kath. **Avaliação da qualidade da água de mananciais nos municípios de Camaquã, Cristal, Capão do Leão e Rio Grande, no estado do Rio Grande do Sul.** 2020. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

O desenvolvimento econômico e o crescimento populacional requerem volumes crescentes de água para atendimento aos diferentes usos, sendo o abastecimento público um dos mais nobres destes. Entretanto, a qualidade da água superficial e subterrânea pode sofrer alterações de acordo com a geologia, escoamento superficial, manejo do solo e ocupação local, sendo essencial o conhecimento e monitoramento das características dos mananciais para identificar se os mesmos enfrentam perda de qualidade das águas. O estudo proposto tem como objetivo avaliar a qualidade da água bruta de diferentes mananciais que abastecem os municípios de: Camaquã (represa), Cristal (poços freáticos), Capão do Leão (arroio) e Rio Grande (canal). O desenvolvimento ocorreu por meio de pesquisa descritiva de dados secundários fornecidos pela Companhia de Saneamento Estadual utilizando relatórios de ensaios analíticos obtidos em 6 anos, referentes ao período de 2013 a 2018. Destes extraíram-se os resultados de diversas variáveis a fim de compreender as variações e relações de determinados parâmetros físico-químicos dos mananciais estudados, mediante auxílio de análises estatísticas, as quais também foram analisadas segundo o que preconizam as Resoluções CONAMA 357/2005 e 396/2008. O Índice de Estado Trófico (IET) utilizando o parâmetro fósforo total (PT) para avaliar o grau de trofia dos locais de estudo, também foi realizado, bem como calculou-se o Índice de Qualidade de Água (IQA) desenvolvido pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)* para os mananciais superficiais e subterrâneo. Identificou-se correlação no manancial subterrâneo entre os metais e matéria orgânica e nos mananciais superficiais preponderou a correlação do PT com cor, turbidez e metais. Na comparação dos resultados dos mananciais superficiais com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, encontrou-se parâmetros em desacordo com os limites da classe 3. O mesmo ocorreu para o manancial subterrâneo, pertencente à classe 3 durante o período analisado. A aplicação do IET demonstrou comprometimento maior do grau de trofia para o manancial do tipo represa que abastece Camaquã. Já o cálculo do IQA-CCME resultou em pior valor para o manancial subterrâneo que abastece o Cristal, tendo em vista a amplitude de inconformidades com o padrão de referência. É possível concluir que os dados gerados no monitoramento dos mananciais pela concessionária agregam informações importantes para o acompanhamento das metas de enquadramento e do atendimento às classes exigidas para o uso destinado ao abastecimento público, sendo necessárias ações para preservação destes recursos hídricos.

Palavras-chave: Recursos hídricos, abastecimento público, IQA-CCME, análise multivariada, Índice de Estado Trófico.

ABSTRACT

DALLMANN, Daiane Kath. **Water quality assessment of water sources in the municipalities of Camaquã, Cristal, Capão do Leão and Rio Grande, in the state of Rio Grande do Sul.** 2020. 107 p. Dissertation (Master of Science in Environmental Sciences) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

Economic development and population growth require increasing volumes of water to serve different uses, the public supply being one of the most noble of these. However, the quality of surface and underground water can change according to geology, surface runoff, soil management and local occupation, and it is essential to know and monitor the characteristics of the sources to identify whether they face loss of water quality. The proposed study aims to assess the quality of raw water from different sources that supply the municipalities of: Camaquã (dam), Cristal (water tables), Capão do Leão (brook) and Rio Grande (channel). The development took place through descriptive research of secondary data provided by Companhia de Saneamento Estadual using reports of analytical tests obtained in 6 years, referring to the period from 2013 to 2018. From these results were extracted from several variables in order to understand the variations and relations of certain physical-chemical parameters of the studied sources, using statistical analysis, which were also analyzed according to what CONAMA Resolutions 357/2005 and 396/2008 recommend. The Trophic State Index (EIT) using the parameter total phosphorus (PT) to assess the degree of trophy of the study sites was also performed, as well as the Water Quality Index (IQA) developed by the Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) for surface and underground water sources. Correlation was found in the underground water source between metals and organic matter and in the surface water sources, the correlation of PT with color, turbidity and metals predominated. When comparing the results of surface water sources with the limits established by CONAMA Resolution 357/2005, parameters were found to be in disagreement with the limits of class 3. The same occurred for the underground water source, belonging to class 3 during the analyzed period. The application of the EIT demonstrated a greater impairment of the degree of trophy for the reservoir-type source that supplies Camaquã. The calculation of the IQA-CCME resulted in a worse value for the underground source that supplies the Cristal, in view of the amplitude of non-conformities with the reference standard. It is possible to conclude that the data generated in the monitoring of the water sources by the concessionaire add important information for the monitoring of the framing goals and the attendance to the classes required for the use destined for public supply, being necessary actions for the preservation of these water resources.

Keywords: Water resources, public supply, physical-chemical parameters, WQI-CCME, multivariate analysis, Trophic State Index.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classes possíveis de utilização para abastecimento destinado ao consumo humano.	23
Tabela 2. Classes de uso de águas subterrâneas.	24
Tabela 3. Classificação do estado trófico e suas características.	31
Tabela 4. Escala de categorias do IQA-CCME	33
Tabela 5. Informações dos municípios de estudo.	36
Tabela 6. Principais variáveis analisadas no estudo.	42
Tabela 7. Parâmetros dos mananciais superficiais utilizados para comparação com a Resolução CONAMA 357/2005.	46
Tabela 8. Parâmetros do manancial subterrâneo utilizados para comparação com a Resolução CONAMA 396/2008.	46
Tabela 9. Índice de Estado Trófico (IET) para rios e reservatórios.	47
Tabela 10. Estatística descritiva das variáveis Temperatura do ar e água para os diferentes mananciais.	49
Tabela 11. Estatística descritiva das variáveis Al total e dissolvido para os diferentes mananciais.	50
Tabela 12. Estatística descritiva das variáveis Fe total e dissolvido para os diferentes mananciais.	52
Tabela 13. Estatística descritiva da variável Mn total para os diferentes mananciais.	53
Tabela 14. Estatística descritiva da variável alcalinidade para os diferentes mananciais.	54
Tabela 15. Estatística descritiva das variáveis dureza, Ca^{+2} e Mg^{+2} para os diferentes mananciais.	55
Tabela 16. Estatística descritiva das variáveis cor aparente, turbidez e sólidos totais para os diferentes mananciais.	56
Tabela 17. Estatística descritiva para a variável pH para os diferentes mananciais.	58
Tabela 18. Estatística descritiva da variável matéria orgânica para os diferentes mananciais.	59
Tabela 19. Estatística descritiva da variável PT para os diferentes mananciais.	60

Tabela 20. Estatística descritiva da variável nitrato para os diferentes mananciais. .61	61
Tabela 21. Estatística descritiva para a variável cloretos para os diferentes mananciais.62	62
Tabela 22. Teste de normalidade <i>Shapiro-Wilk</i> para os diferentes mananciais.63	63
Tabela 23. Correlação entre as variáveis do manancial subterrâneo de Cristal, RS.65	65
Tabela 24. Correlação entre as variáveis do manancial superficial de Capão do Leão, RS.67	67
Tabela 25. Correlação entre as variáveis do manancial superficial de Camaquã, RS.69	69
Tabela 26. Correlação entre as variáveis do manancial superficial de Rio Grande, RS.71	71
Tabela 27. Variação temporal para os parâmetros nitrato, nitrito e cloretos no manancial subterrâneo durante o período analisado.89	89
Tabela 28. Valores de IET encontrados para os diferentes mananciais.91	91
Tabela 29. Resultados do cálculo dos diferentes fatores e IQA-CCME para os mananciais.94	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização das bacias hidrográficas utilizadas no estudo..	35
Figura 2. Localização do manancial (poços) que abastece a ETA de Cristal, RS.....	37
Figura 3. Localização do manancial (barragem) que abastece a ETA de Camaquã, RS.	39
Figura 4. Localização do manancial (arroio) que abastece a ETA do município de Capão do Leão, RS.....	40
Figura 5. Localização do manancial (canal) que abastece a ETA do município de Rio Grande, RS.	41
Figura 6. Esquema com as etapas de desenvolvimento da pesquisa.....	43
Figura 7. Análise de <i>cluster</i> para o manancial subterrâneo de Cristal.	73
Figura 8. Análise de <i>cluster</i> para o manancial superficial de Camaquã.	74
Figura 9. Análise de <i>cluster</i> para o manancial superficial de Capão do Leão.	75
Figura 10. Análise de <i>cluster</i> para o manancial superficial de Rio Grande.	76
Figura 11. Valores de pH obtidos para os mananciais no período 2015 a 2018.	77
Figura 12. Valores de turbidez encontrados para os mananciais superficiais no período 2015 a 2018.	78
Figura 13. Valores de Mn obtidos para os mananciais superficiais no período 2015 a 2018.	80
Figura 14. Valores de Fe dissolvido obtidos para os mananciais superficiais no período 2015 a 2018.	81
Figura 15. Valores de P total obtidos para os mananciais de ambiente lótico no período 2015 a 2018.	82
Figura 16. Valores de P total obtidos para o manancial de ambiente lêntico no período 2015 a 2018.	83
Figura 17. Valores de Al dissolvido obtidos para os mananciais superficiais no período 2015 a 2018.	84
Figura 18. Variação temporal do parâmetro Al total no manancial subterrâneo no período 2015 a 2018.	87
Figura 19. Variação temporal do parâmetro Fe total no manancial subterrâneo no período 2015 a 2018.	87

Figura 20. Variação temporal do parâmetro Mn total no manancial subterrâneo no período 2015 a 2018.88

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
CE	Condutividade elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
DBO ₅ ^{20°}	Demanda bioquímica de oxigênio em cinco dias à 20°C
ETA	Estação de Tratamento de Água
IAP	Índice de Qualidade das Águas para Fins de Abastecimento Público
IET	Índice de Estado Trófico
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
OD	Oxigênio dissolvido
pH	Potencial hidrogeniônico
PNHR	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
RQNA	Rede Nacional de Qualidade Ambiental
SMWW	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i>
STD	Sólidos totais dissolvidos
uT	Unidade de Turbidez

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos específicos	18
3 REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 Mananciais superficiais e subterrâneos	19
3.2 Aspectos legais relacionados aos recursos hídricos	20
3.2.1 Política Nacional do Meio Ambiente e Código Florestal	20
3.2.2 Política Nacional de Recursos Hídricos.....	22
3.2.3 Qualidade das águas	22
3.2.3.1 Superficiais.....	22
3.2.3.2 Subterrâneas.....	23
3.2.3.3 Destinadas ao consumo humano	24
3.2.4 Monitoramento da qualidade das águas.....	25
3.3 Variáveis de qualidade da água em mananciais	27
3.4 Fatores que influenciam na qualidade das águas superficiais e subterrâneas....	29
3.5 Índice de Estado Trófico.....	30
3.6 IQA - CCME	32
3.7 Ferramentas estatísticas no tratamento de dados ambientais	34
4 METODOLOGIA.....	35
4.1 Áreas de estudo	35
4.1.1 Cristal	37
4.1.2 Camaquã.....	38
4.1.3 Capão do Leão.....	39
4.1.4 Rio Grande	41

4.2 Obtenção dos dados	42
4.3 Ferramentas estatísticas para interpretação dos resultados	43
4.4 Classificação de acordo com as Resoluções do Conama 357/05 e 396/08	45
4.5 Cálculo do Índice de Estado Trófico	46
4.6 Determinação do IQA-CCME	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1 Análise multivariada	63
5.2 Classificação dos mananciais superficiais	77
5.2.1 pH	77
5.2.2 Turbidez	78
5.2.3 Manganês	79
5.2.4 Ferro dissolvido	80
5.2.5 Fósforo total	82
5.2.6 Alumínio dissolvido	84
5.2.7 Cloretos, nitratos e nitritos	85
5.2.8 Agrotóxicos	86
5.3 Classificação do manancial subterrâneo	86
5.3.1 Alumínio total, ferro total e manganês total	86
5.3.2 Nitrato, nitrito e cloretos	88
5.4 Índice de Estado Trófico	90
5.5 IQA-CCME	93
5.6 Considerações finais	96
6 CONCLUSÕES	97
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da água superficial e subterrânea pode ser afetada por características geológicas e do uso e ocupação do solo, substâncias orgânicas, inorgânicas, radioativas e microrganismos, tornando a qualidade condição determinante para diversos usos, tais como abastecimento humano, recreação, produção de alimentos, uso industrial (SANTOS *et. al.*, 2018). A má qualidade das águas além de implicar em restrições de utilização, traz riscos à saúde humana e aos ecossistemas que dela dependem, além de limitar as atividades econômicas.

O desenvolvimento econômico e o crescimento populacional demandam volumes crescentes de água, em que a quantidade e qualidade são de suma importância. No ano de 2015, conforme levantamento do Sistema de Contabilidade Ambiental e Econômica da Água (SCEA – Água) disponibilizado por BRASIL - ANA (2017), foram retirados dos mananciais 16,5 bilhões de metros cúbicos para o abastecimento da população brasileira. Em 2018, de acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, o abastecimento de água atendeu a 173,2 milhões de pessoas na área urbana (BRASIL - SNIS, 2019).

No estado do Rio Grande do Sul, segundo o último Atlas de Abastecimento Urbano publicado em 2010 pela Agência Nacional de Águas, 286 municípios são abastecidos exclusivamente por água subterrânea, enquanto que mananciais superficiais são utilizados para o abastecimento de 134 cidades, sendo os demais municípios abastecidos de forma mista por mananciais superficiais e subterrâneos (BRASIL - ANA, 2010).

A qualidade da água pode ser afetada por interações com variáveis naturais, como regime de chuvas, escoamento superficial, geologia e cobertura vegetal, mas também pela ação antrópica, exemplificados pelo lançamento de efluentes e manejo do solo (MEDEIROS, SILVA e LINS, 2018; BRASIL - ANA, 2019).

A exemplo, pode-se citar o ferro, o alumínio e o manganês que podem estar presentes nas águas por serem constituintes naturais do solo, mas também possuir origem antrópica. Já o fósforo, além de ocorrer naturalmente, também é oriundo do lançamento de esgotos domésticos e atividades agrícolas pelo uso de fertilizantes (SABINO, LAGE e ALMEIDA, 2014), evidenciando-o como variável que contribui para a degradação ambiental. De modo a avaliar o grau de trofia dos corpos d'água, o

fósforo é um dos parâmetros utilizados para o cálculo do Índice de Estado Trófico, indicador de qualidade das águas, comumente utilizado em estudos e relatórios de avaliação da qualidade das águas superficiais, além do emprego de diferentes índices de qualidade das águas que facilitam a divulgação dos resultados, como a utilização do Índice de Qualidade de Água desenvolvido pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment* (ALMEIDA, 2014).

Dentre os instrumentos legais previstos pela Política Nacional de Recursos Hídricos estão os planos de bacias hidrográficas, que fornecem resultados tanto qualitativos quanto quantitativos dos recursos hídricos locais, tornando-os mecanismos de planejamento que visam orientar a atuação dos gestores em relação ao uso, recuperação, proteção e conservação dos recursos hídricos (BRASIL-ANA, 2014). Para que sejam efetivos, faz-se necessário que a qualidade das águas superficiais e subterrâneas das bacias hidrográficas seja periodicamente monitorada, identificando situações de degradação das águas que ensejam ações. Entretanto, para isso, são demandados recursos financeiros, limitando o acompanhamento real da classificação dos corpos d'água com o objetivo de atingir as metas de enquadramento estabelecidas no plano de bacia hidrográfica.

Frente a demanda de regramento quanto à qualidade das águas, o Conselho Nacional do Meio Ambiente publicou a Resolução 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais (BRASIL - CONAMA, 2005) e a Resolução 396, de 03 de abril de 2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas (BRASIL - CONAMA, 2008). Ambas estabelecem as classes de qualidade dos mesmos, ou seja, definem um conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes atuais e futuros, além de estabelecer metas obrigatórias da qualidade da água a serem alcançadas ou mantidas em corpos d'água conforme os usos pretendidos ao longo do tempo.

Os responsáveis pelos sistemas de abastecimento de água possuem banco de dados com resultados analíticos do monitoramento das características dos mananciais que utilizam, devido às atribuições definidas na Portaria de Consolidação nº 5, de 28 setembro de 2017, que consolida as normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde e dispõe em seu anexo XX sobre o controle, vigilância da qualidade da água e seu padrão de potabilidade para o consumo humano

(BRASIL – MS, 2017). A obrigatoriedade semestral de monitoramento gera grande volume de dados, já que abrange diversos parâmetros de qualidade da água analisados durante longos períodos. Para extrair informações destes históricos, é possível utilizar ferramentas estatísticas, que facilitam a interpretação desses conjuntos de dados (GOMES e CAVALCANTE, 2017; PEREIRA e ROCHA, 2016; SABINO, LAGE e ALMEIDA, 2014; TRINDADE *et. al*, 2017).

Diante do exposto, evidencia-se o potencial de estudo dos dados gerados pelo monitoramento dos mananciais, aproveitando-os para gerar conclusões sobre a qualidade das águas de diferentes tipos de fontes. As informações das variáveis monitoradas permitem sua correlação com os usos locais na bacia hidrográfica, integrando a avaliação periódica ao status dos mananciais e suas classes. Ainda, cabe salientar a relevância do tema no que concerne à saúde pública, visto que o uso mais nobre dado à água é a destinação ao consumo humano e exige, portanto, atenção para o cumprimento dos requisitos legais de qualidade.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O estudo proposto tem como objetivo avaliar a qualidade da água de diferentes mananciais que abastecem os municípios de: Camaquã (represa), Cristal (poços freáticos), Capão do Leão (arroyo) e Rio Grande (canal) visando a aplicação de dados na gestão de recursos hídricos.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar estatisticamente as variáveis físico-químicas da água dos mananciais superficiais e subterrâneo do estudo;
- Verificar a concordância dos parâmetros analisados com a qualidade da água requerida para o abastecimento público, de acordo com as Resoluções CONAMA 357/2005 e 396/2008;
- Determinar o Índice de Estado Trófico para os mananciais superficiais, identificando o grau de trofia dos mesmos;
- Aplicar o Índice de Qualidade de Água – CCME para os mananciais superficiais e subterrâneo;

3 REVISÃO DE LITERATURA

A água que cai na superfície da Terra em forma de precipitação pode escoar na superfície, formando rios e lagos, ou infiltrar no solo originando as águas subterrâneas, que contribuem para a alimentação dos corpos d'água principalmente em períodos de estiagem (VON SPERLING, 1996).

3.1 Mananciais superficiais e subterrâneos

Ecossistemas de águas doces superficiais podem ser classificados em dois tipos: lânticos ou lóticos. Os ambientes lânticos são ambientes aquáticos com água parada, como lagos, lagoas e represas, apresentando como características principais a alta solubilização de compostos orgânicos, gradientes verticais e capacidade de sedimentação. Já os ambientes lóticos são os ambientes aquáticos de água corrente, tendo como exemplo os rios, riachos, nascentes e canais, possuindo como características principais o fluxo hídrico e a intensa troca entre os ambientes terrestre e aquático que influenciam as variáveis físicas, químicas e biológicas (BRASIL - ANA, 2019).

Mananciais são fontes de águas superficiais e subterrâneas usadas para o atendimento de diversos usos (abastecimento público, indústria, agricultura, dentre outros). Isso inclui, por exemplo, rios, lagos, represas e lençóis freáticos. Para captar água de um manancial devem ser considerados aspectos relacionados à quantidade de água, à facilidade de adução e à proteção do manancial e para isto deve ser dada atenção à necessidade de conhecimento da bacia hidrográfica onde o manancial se localiza, incluindo fatores físicos, bióticos e socioeconômicos, aspectos relacionados à geologia, ao relevo, ao solo, à vegetação, à fauna e às atividades humanas ali desenvolvidas. (BRASIL - FUNASA, 2014).

As represas, também denominadas reservatórios ou barragens, são estruturas construídas com a função de armazenar a água de um curso d'água com uma ou mais finalidades, tais como o abastecimento da população, irrigação, navegação, controle de cheias e geração de energia. As represas brasileiras em sua maioria possuem

baixa profundidade relativa, sendo suscetíveis a processos de eutrofização, com potencial para misturas completas da massa de água. (BRASIL – ANA, 2019).

Os rios são cursos naturais de água que se deslocam de um ponto mais alto, a nascente, até desembocar na foz, no mar, lago ou até em outro rio. A grande maioria dos rios são perenes e sua alimentação acontece pelo escoamento superficial e subsuperficial (BRASIL - ANA, 2019).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da NBR 12.212 – Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea – Procedimento, define a água subterrânea como: “Uma fase do ciclo hidrológico em que a água em subsuperfície encontra-se na zona saturada, em um único ou em sistemas de reservatórios naturais – aquíferos – cuja capacidade e volume total dos poros ou interstícios das rochas estejam repletos de água com capacidade de suprir poços, rios e fontes” (ABNT, 2017, p. 2). As águas subterrâneas representam a maior reserva de água doce mundial, estando sua disponibilidade hídrica e qualidade natural relacionada à formação geológica na qual se localiza (TUCCI e MENDES, 2006).

3.2 Aspectos legais relacionados aos recursos hídricos

As políticas públicas devem prezar a promoção do uso racional e sustentável de nossos recursos hídricos, possibilitando proteger a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, em que a gestão ambiental integrada às leis possui importante papel, conforme apresentado a seguir.

3.2.1 Política Nacional do Meio Ambiente e Código Florestal

A legislação ambiental brasileira possui como principal marco, a Lei nº 6.938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, a qual tem como objetivo preservar, recuperar e melhorar a qualidade ambiental propícia à vida (BRASIL – PNMA, 1981). Estabelece como princípio o uso racional dos recursos naturais, visando a manutenção do equilíbrio ecológico, tendo em vista o uso coletivo e considerando o meio ambiente como um patrimônio público. Ainda, traz em seu Art. 3º, importantes

entendimentos que norteiam e guiam as normas e legislações posteriores. Entende-se por meio ambiente, “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas” (BRASIL – PNMA, 1981).

As alterações adversas das características do meio ambiente denominam-se degradação da qualidade ambiental. Outro conceito de suma relevância é o de poluição, que se apreende como as alterações indesejáveis nas características físicas, químicas ou biológicas do ar, solo ou água, ou seja, degradação da qualidade ambiental, resultante das atividades que de forma direta ou indireta: prejudiquem a população, por meio de sua saúde, segurança e bem-estar; proporcionem adversidades às atividades sociais e econômicas, bem como afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente e ainda, lancem matérias e energia em desconformidade com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL – PNMA, 1981).

O novo código florestal, instituído pela Lei 12.651, de 25 de maio de 2012 declara em seu artigo 1º, parágrafo único, que possui como objetivo o desenvolvimento sustentável, bem como possui como princípio, dentre outros, a preservação da vegetação e dos recursos hídricos (BRASIL, 2012). Conservar e restaurar a cobertura vegetal do solo relaciona-se diretamente com a qualidade da água, principalmente próximo aos cursos d’água, onde a vegetação existente, denominada de mata ciliar e, quando presente, minimiza os processos erosivos que carreiam partículas para os mananciais, preservando a qualidade da água (PEREIRA *et. al.*, 2016).

Compatibilizar e harmonizar o uso produtivo da terra e a preservação da água, do solo e da vegetação vai de encontro aos princípios anteriormente citados, pois é de conhecimento que a atividade agrícola ocorre muitas vezes próximo aos mananciais, interferindo significativamente nas características das águas superficiais e subterrâneas, principalmente quando o manejo do solo não preconiza técnicas de conservação do mesmo. (MENEZES *et. al.*, 2016).

Outro conceito a ser ressaltado e se relaciona diretamente com a qualidade de nossas águas, é o de Área de Preservação Permanente (APP), definida como a “área coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações

humanas” (BRASIL, 2012). Cada curso d’água possui, de acordo com a largura de seu leito regular, respectiva faixa de APP, visando protegê-lo.

3.2.2 Política Nacional de Recursos Hídricos

O Brasil possui 12% da disponibilidade de água doce superficial do mundo (BRASIL - ANA, 2012), representando um patrimônio de grande importância, tendo em vista a vasta extensão do território, bem como as peculiaridades de cada Região por consequência. A disponibilidade de água não se resume apenas ao seu aspecto quantitativo, mas também aos requisitos de qualidade demandados pelos diversos usos da água, que quando não atendidos significam limitações para o aproveitamento.

De modo a atender a necessidade de proteção dos recursos hídricos, foi instituída em 08 de janeiro de 1997 a Política Nacional de Recursos Hídricos pela Lei 9.433, que tem como fundamentos que a água é um recurso natural limitado; dotada de valor econômico e um bem de domínio público (BRASIL, 1997), dentre outros. Aliado a isso, a mesma Lei possui como um dos objetivos: “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (BRASIL, 1997). Os usos das águas superficiais e subterrâneas requerem, portanto, diferentes requisitos de qualidade segundo a sua finalidade, determinados pelos padrões legais estabelecidos para variados parâmetros.

3.2.3 Qualidade das águas

3.2.3.1 Superficiais

No que diz respeito à qualidade de água no Brasil, um dos instrumentos de planejamento ambiental advindo da PNRH é o enquadramento dos corpos d’água, regulamentado pelo CONAMA ao publicar a Resolução 357/2005, que classifica as águas doces, salobras e salinas, conforme a qualidade da água requerida para os usos preponderantes.

Desta forma, as águas superficiais são divididas em treze classes de qualidade, com limites de valores dos parâmetros adotados para cada classe (BRASIL - CONAMA, 2005). Na Tabela 1 é possível visualizar o nível de tratamento requerido da água destinada ao consumo humano de acordo com a classe.

Tabela 1. Classes possíveis de utilização para abastecimento destinado ao consumo humano.

Água	Classe	Uso da água
Doce	Classe Especial	Abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
Doce	Classe 1	Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
Doce	Classe 2	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
Doce	Classe 3	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
Salobra	Classe 2	Abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado;

Fonte: Adaptado de Resolução CONAMA 357/2005.

Cabe ressaltar que em bacias hidrográficas que ainda não elaboraram seus planos de bacia hidrográfica, portanto não possuem metas de enquadramento estabelecidas, a referida resolução estabelece que a classificação adotada para os cursos d'água superficiais é a classe 2 (BRASIL - CONAMA, 2005).

3.2.3.2 Subterrâneas

A classificação é uma forma de relatar e controlar a poluição em regiões monitoradas (AZHAR, 2015). Quanto menor a classe de enquadramento do corpo d'água, melhor a qualidade da água que se espera dele e menor a interferência de origem antrópica. Ocorre que eventualmente os padrões não são atingidos e quanto pior a qualidade do corpo d'água frente ao uso a que se destina, maiores devem ser os esforços envidados na gestão destes recursos hídricos (CETESB, 2017).

A Resolução 396, de 03 de abril de 2008, publicada pelo CONAMA, divide as águas subterrâneas em 6 classes de qualidade, das quais 4 são passíveis de uso para consumo humano exigindo ou não tratamento (BRASIL - CONAMA, 2008), conforme

Tabela 2. Importante citar, que para proteger a qualidade da água subterrânea, a referida Resolução estabelece que os órgãos ambientais, em conjunto com os órgãos gestores de recursos hídricos e de saúde, devem promover e implantar as Áreas de Proteção dos Aquíferos e Perímetros de Proteção de Poços de Abastecimento, além de ser executado pelos órgãos competentes, o monitoramento das águas subterrâneas com frequência mínima semestral (BRASIL - CONAMA, 2008).

Tabela 2. Classes de uso de águas subterrâneas.

Classes	Uso da água
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 hidrogeoquímicas naturais;
Classe 2	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
Classe 3	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
Classe 4	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo.

Fonte: Adaptado de Resolução CONAMA 396/2008.

3.2.3.3 Destinadas ao consumo humano

O instrumento legal regulamentador do monitoramento das características da água dos mananciais utilizados para o abastecimento das populações é a Portaria de Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017, a qual dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, bem como os padrões de potabilidade (BRASIL - MS, 2017).

A água potável deve atender às premissas estabelecidas nesta legislação e seu consumo não pode causar danos à saúde ou rejeição de caráter organoléptico. Precisa ainda, atender ao valor máximo permitido (VMP) para diversas substâncias químicas, radioativas e estar isenta de microrganismos patogênicos. O cumprimento destes padrões exige um controle operacional elevado, bem como conhecimento e acompanhamento das características dos mananciais, tendo em vista que suas variações são dinâmicas e podem implicar em riscos à saúde, elevando o nível de tratamento requerido, bem como maior eficiência de remoção para adequar os constituintes da água (MELO, 2019).

A Portaria de Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017, traz diversas atribuições do responsável pelo sistema de abastecimento de água para consumo humano, como por exemplo, análises laboratoriais da água em amostras provenientes das diversas partes do sistema, bem como o controle operacional do ponto de captação, adução, tratamento, reservação e distribuição, de modo a controlar a qualidade da água. Ainda, a referida portaria estabelece a exigência do monitoramento semestral completo no ponto de captação da água bruta para avaliação de riscos à saúde humana, estabelecendo plano de amostragem e observação quanto ao histórico do uso de agrotóxicos na bacia de contribuição do manancial, bem como o monitoramento do histórico das características das águas e ocupação da bacia contribuinte do manancial (BRASIL - MS, 2017).

3.2.4 Monitoramento da qualidade das águas

De acordo com Brasil - ANA (2017), há vários pontos distribuídos nos cursos d'água, que visam controlar a situação da disponibilidade de água, seja em termos de qualidade ou quantidade, de forma a subsidiar tomadas de decisão em quesitos relacionados à gestão dos recursos hídricos objetivando garantir por exemplo, o abastecimento público, além de permitir verificar a compatibilidade das características das águas com o sistema de tratamento existente. Existem estações pluviométricas, fluviométricas, poços de monitoramento de águas subterrâneas, pontos de monitoramento de águas superficiais, controle de nível de reservatórios distribuídos em todo território nacional.

O monitoramento da qualidade da água dos mananciais permite avaliar a conformidade com a legislação ambiental e acompanhar a evolução temporal dos parâmetros que são analisados. Diante disto, fornece resultados que possibilitam identificar áreas com comprometimento da qualidade da água e que requerem, portanto, atuação por meio de medidas preventivas e corretivas pelos órgãos envolvidos (CETESB, 2017).

A gestão das águas está intrinsecamente relacionada ao monitoramento das variáveis de qualidade de água, tendo em vista que permite obter informações para atualização dos bancos de dados, bem como acompanhar a situação de uso dos recursos hídricos, que causam efeitos nas características das águas (MEDEIROS, SILVA e LINS, 2018), fornecendo condições para avaliação das alterações, bem como subsidiando a execução de Planos de Bacia Hidrográfica, principalmente no que diz respeito ao enquadramento.

O Brasil possuía em 2016 mais de 2.700 pontos de monitoramento de qualidade de água operando em 19 estados. Estas redes estaduais possuem muitos dados, entretanto a comparação enfrenta a falta de padronização dos dados, pois operam de forma independente, demandando análises laboratoriais, requerendo aplicação de recursos que nem sempre estão disponíveis. Visando possibilitar a construção de históricos, as redes estaduais estão sendo integradas a uma Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água (RNQA) através do programa Qualiágua, bem como há previsão de expansão dos pontos de monitoramento (BRASIL-ANA, 2019).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) realiza monitoramento das águas superficiais de rios e reservatórios desde 1974, sendo exemplo no Brasil no diagnóstico de qualidade das águas, divulgando anualmente seus relatórios. Importante citar que também avalia as condições por meio do cálculo do Índice de Qualidade das Águas para Fins de Abastecimento Público (IAP) e monitora as águas subterrâneas, para as quais ainda não há uma rede nacional de monitoramento (BRASIL-ANA, 2019; CETESB, 2017).

No Rio Grande do Sul, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM) desenvolve o monitoramento semestral da qualidade dos recursos hídricos superficiais desde 1992, disponibilizando de forma pública os dados obtidos até 2013. A partir de 2016, a FEPAM passou a integrar a rede básica de monitoramento da qualidade da água superficial, por meio de contrato com a Agência

Nacional de Águas, contando com 157 estações de monitoramento e previsão de expansão para 215 em 2020, divulgando relatórios anuais de qualidade das águas superficiais elaborados com os resultados dos parâmetros OD, DBO₅, PT, *Escherichia Coli* e nitrogênio amoniacal (FEPAM, 2019).

3.3 Variáveis de qualidade da água em mananciais

A qualidade das águas é de suma importância para as atividades humanas, definida como um conjunto de características físicas, químicas e biológicas, que podem ser associadas às interações e ao uso e ocupação que ocorrem no corpo hídrico e na bacia de drenagem (BRASIL - FUNASA, 2014; LIBÂNIO, 2010; VON SPERLING, 1996). A caracterização das águas envolve diversos parâmetros, que são indicadores da qualidade da água e se constituem não conformes quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso (BRASIL - FUNASA, 2014).

Levando em consideração o fato de que a água é um solvente universal, ocorrem diversas interações entre a água e o solo que podem causar poluição nos mananciais, evidenciado em diversos estudos de avaliação da qualidade das águas. Em reservatórios, Rocha e Pereira (2016), encontrou maior correlação entre as variáveis cor, ferro, oxigênio dissolvido, turbidez, condutividade elétrica, fósforo total e cloretos e reportaram que o Fe, na ausência de OD, apresenta-se em sua forma dissolvida, podendo se oxidar e precipitar, causando coloração na água, alterando de forma intrínseca, a turbidez. Os autores associaram ainda, presença do PT em pequena escala ao tipo de solo, mas também aos fertilizantes, detergentes, esgotos e excrementos de animais.

Bucci *et. al* (2015), ao analisarem a qualidade da água da represa Dr. João Penido, principal manancial que abastece Juiz de Fora em Minas Gerais, encontraram resultados de metais abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução 357/05 do CONAMA, com exceção de Fe e zinco. Averiguaram que a ocorrência de Fe dissolvido está associada ao intemperismo de rochas e lixiviação dos solos. Com relação aos agrotóxicos, os referidos autores obtiveram resultados abaixo dos limites de quantificação dos métodos, diferentemente dos altos teores de carga orgânica e PT.

Rocha, Silva e Freitas (2016) ao analisarem os dados da represa São Pedro, outro manancial superficial que abastece Juiz de Fora em Minas Gerais, encontraram maior expressividade nos parâmetros manganês, DBO₅, turbidez, cor, dureza e alcalinidade, relacionando à presença de sólidos, íons e matéria orgânica proveniente do escoamento superficial e lixiviação dos solos ocasionada pela precipitação. Ainda, Martins *et. al.* (2017) reportaram resultados de Fe e turbidez acima dos limites preconizados pela Resolução de enquadramento de cursos d'água, associando a possível fenômeno de estratificação térmica na barragem estudada.

Já para rios, Medeiros, Silva e Lins (2018), observaram maior concentração de PT em períodos chuvosos associado à lixiviação de solos bem como aumento da turbidez, devido principalmente à falta de vegetação nas margens dos cursos d'água. Menezes *et. al.* (2016) também verificaram aumento de sólidos na água associados à pontos com maior ocupação agrícola e urbana e maiores concentrações de PT, nitrato e Cl⁻ após área urbanizada.

Ao estudarem trecho de bacia hidrográfica no Amapá, Oliveira e Cunha (2014), encontraram correlação entre a precipitação mensal e os parâmetros cor, turbidez, alumínio, Mn e *Escherichia Coli*. De Souza e Gastaldini (2014), ao analisarem a bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, no Rio Grande do Sul, encontraram maiores valores de sólidos totais em locais com atividade agrícola próxima ao leito dos rios e matas nativas devastadas, bem como alterações em concentrações de fosfatos devido ao uso urbano. Ainda, Abreu e Cunha (2017), ao monitorarem o Baixo Rio Jari, Amapá, encontraram correlação de vários parâmetros, como cor, turbidez, temperatura, OD, potencial hidrogeniônico, Cl⁻, amônia, magnésio, DBO₅, sulfato, *Escherichia Coli*, coliformes totais e clorofila-*a* com o ciclo hidrológico ou período sazonal, estes, influenciando ainda, o comportamento sazonal do IET.

Diversos autores também realizaram análises de parâmetros de qualidade de águas subterrâneas. Da Franca *et. al.* (2018) aplicaram técnicas estatísticas para dados de 11 poços responsáveis pelo abastecimento de Juazeiro do Norte, Ceará, encontrando alta correlação entre o período seco e os parâmetros de turbidez, cor, NO₃⁻ e NH₃, bem como no período chuvoso com os parâmetros CE, NO₃⁻, dureza total e Cl⁻, reportando provável relação ao lançamento de efluentes não tratados em rios e riachos na área. Gomes e Cavalcante (2017), ao analisarem os poços de Fortaleza, Ceará, encontraram 3 componentes principais, sendo um deles relacionado à

salinidade e poluição, por meio dos parâmetros potássio, cálcio, Mg, NO₃⁻, dureza, CE e sólidos totais dissolvidos.

Expõe-se então, a importância dos estudos de avaliação da qualidade das águas, que possibilitam verificar se os corpos d'água superficiais e subterrâneos sofrem degradação. Para isso, o monitoramento direto dos parâmetros para atendimento a referência legal, a aplicação de índices de qualidade de água e o uso de ferramentas estatísticas, que podem ser utilizados de forma conjunta, produzem resultados que embasam a gestão de recursos hídricos, permeando a relevância deste estudo.

3.4 Fatores que influenciam na qualidade das águas superficiais e subterrâneas

A qualidade das águas sofre alterações decorrentes de diversos fatores naturais ou antrópicos e podem interferir nos usos e atividades para os quais necessitam de requisitos de qualidade e quantidade, de forma equilibrada.

Nos ecossistemas aquáticos, a heterogeneidade da qualidade da água pode ser influenciada principalmente pela contribuição natural da bacia hidrográfica (conhecidas como *background*, concentrações naturais afetadas pelas características geológicas e pedológicas do local), e pela magnitude dos impactos antrópicos como o consumo de água, lançamento de efluentes domésticos e industriais, escoamento superficial de áreas urbanas e rurais (MEDEIROS, SILVA e LINS, 2018; KARTHIKEYAN, 2017). Do ponto de vista temporal, as oscilações de qualidade da água podem refletir as formas de uso e ocupação do solo (MEDEIROS, SILVA e LINS, 2018).

Os reservatórios são ambientes vulneráveis, pois suas bacias hidrográficas sofrem impactos pelo uso do solo, recebendo água, sedimentos, contaminantes e nutrientes provenientes dos rios, escoamento superficial, águas subterrâneas e atmosfera, sendo o aporte de sedimentos um dos principais responsáveis (BUCCI *et al.*, 2015; ANTENEH, ZELEKE e GEBREMARIAM, 2018). Da mesma forma, os rios também sofrem com as alterações nos ecossistemas, pois são parte integrante da paisagem e suas características físico-químicas demonstram a configuração geológica que drenam quanto os insumos da bacia contribuinte (VOZA, 2015).

A utilização e ocupação irregular de APPs, segundo Pereira *et. al* (2016), também é um dos fatores que acarreta em piora da qualidade das águas. Os impactos antrópicos e os efeitos sobre os mananciais podem ser associados por meio da avaliação dos indicadores de qualidade das águas. A aplicação de agrotóxicos na atividade agrícola contribui para a degradação na qualidade da água, pois as substâncias químicas podem ser carreadas para os mananciais, principalmente nas épocas de plantio e desenvolvimento das culturas (ALBERTONI *et. al.*, 2017).

Já entre os fatores climáticos, a radiação solar é de suma importância, já que distribui calor na massa de água, influenciando nos processos de evaporação, estratificação e desestratificação térmica. A precipitação atua na dinâmica dos ambientes, aportando nutrientes e material particulado, ocasionando alterações sazonais nas características físico-químicas da água, variando a qualidade da água de acordo com a intensidade da precipitação (BRASIL - ANA, 2019).

A agricultura e o lançamento de efluentes também podem ser responsáveis por elevar as concentrações de diversas substâncias, dentre elas os nutrientes, principalmente nitrogênio e PT, que em cursos d'água dão início ao processo de eutrofização e que possui como consequências geração de maus odores e mortandade de peixes, além de contaminar a água destinada ao abastecimento público por liberação de toxinas quando as algas entram em decomposição (CUNHA, 2013; PEREIRA e ROCHA, 2016).

3.5 Índice de Estado Trófico

O crescimento excessivo de algas que ocorre em rios, lagos, estuários e represas é denominado eutrofização. O mesmo é causado pelo enriquecimento de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, e acarreta problemas na qualidade da água em mananciais. Pode ocorrer naturalmente, sendo rapidamente acelerado pelas atividades humanas como lançamento de esgotos, atividades agrícolas, mudança no uso do solo, criação de reservatórios, entre outros (SILVA *et. al.*, 2018).

De forma a mensurar a tendência que o corpo d'água possui à eutrofização foi desenvolvido por Carlson (1977) o Índice de Estado Trófico (IET), modificado por Toledo Jr. *et al* (1983) para ambientes lênticos de clima tropical, e adaptado por Lamparelli (2004) para ambientes lênticos e lóticos (BARRETO *et. al*, 2014). Para o

cálculo do IET, faz-se uso as variáveis clorofila *a* e PT, sendo a média aritmética dos valores obtidos de cada componente, obtido por equação específica (CETESB, 2018).

Estes métodos desenvolvidos pelos diferentes autores citados acima, classificam os corpos d'água superficiais em diversos graus de trofia e permitem avaliar a qualidade da água levando em consideração o enriquecimento de nutrientes e o efeito relacionado ao crescimento excessivo de algas e cianobactérias (ANA, 2019; CETESB, 2017; LAMPARELLI, 2004; ARAÚJO, MENDONÇA E REIS, 2018; PAVLUK, 2017). Na Tabela 3 verifica-se a classificação dos níveis tróficos e suas características.

Tabela 3. Classificação do estado trófico e suas características.

Categories	Faixas	Características
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	Corpos de água limpos, produtividade muito baixa e concentrações de nutrientes insignificantes. Não prejudicam os usos da água.
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	Corpos de água limpos, baixa produtividade, sem interferências indesejáveis sobre os usos da água, pela presença de nutrientes.
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	Corpos de água com produtividade intermediária e possíveis implicações sobre a qualidade da água, em níveis aceitáveis na maioria dos casos.
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, redução da transparência, afetados por atividades antrópicas, com alterações indesejáveis na qualidade da água por maior concentração de nutrientes e interferência nos múltiplos usos.
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	Corpos de água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de florações de algas.
Hipereutrófico	$IET > 67$	Corpos d'água afetados significativamente por elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento dos usos, associado a episódios de florações de algas e mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Fonte: Adaptado de SAAD, 2013.

O índice de estado trófico funciona como um registro das atividades humanas nas bacias hidrográficas e oferece subsídios para a formulação de planos de manejo e gestão de ecossistemas aquáticos, por meio de estratégias que visem à sustentabilidade dos recursos hídricos e que garantam os usos múltiplos da água, em médio e longo prazo (CASTRO, 2016). Para a utilização dos corpos d'água como mananciais para o abastecimento de água potável, Von Sperling (1996) vincula como grau de trofia desejável o oligotrófico e tolerável o mesotrófico.

3.6 IQA - CCME

Há diversas formas de obter comparabilidade e representatividade dos resultados na amostragem para o monitoramento da qualidade da água (*in natura*, captada, produzida ou distribuída) que possibilitam demonstrar ou comunicar os padrões de qualidade do produto por meio da utilização de indicadores de qualidade (ALBERTONI, 2019), sendo o IQA-CCME um dos mais recentes.

O IQA-CCME foi proposto pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) em 2001, através do trabalho da subcomissão técnica formada por dois grupos, *CCME Water Quality Guidelines Task Group* e *CCME State of the Environment Task Group*. O desenvolvimento desse índice se deu a partir da análise dos diferentes índices utilizados nas jurisdições e instituições no Canadá, com o intuito de simplificar os relatórios de qualidade da água deste país (CCME, 2001). A metodologia da sua aplicação é estatística e baseia-se na frequência das falhas relacionadas às condições de qualidade da água que se espera, sendo recomendada a utilização de quatro parâmetros amostrado pelo menos quatro vezes cada (SILVEIRA, 2018).

Este índice combina matematicamente três medidas de variância (espectro, frequência e magnitude) e também produz um número único sem unidade que representa a qualidade global da água em um local. O Alcance (espectro) é o percentual de parâmetros de qualidade da água não conformes com os respectivos padrões, pelo menos uma vez durante o período de tempo monitorado; a Frequência é o percentual de padrões que foram violados; e a Amplitude é o valor pelo qual os

padrões foram violados, para mais quando o padrão exigir um valor máximo permitido ou para menos quando o padrão exigir um valor mínimo permitido (ALMEIDA, 2014).

A aplicação da equação produz um número entre 0 (pior qualidade de água) e 100 (melhor qualidade de água). Essa faixa 0 – 100 está dividida em cinco categorias descritivas para simplificar a apresentação (CCME, 2001). Os valores calculados são divididos em cinco categorias descritivas, conforme Tabela 4. A descrição das categorias na metodologia do IQA-CCME trata de “condições naturais” da água, como esse índice pode ser aplicado para verificar se as condições de qualidade da água monitorada atende a determinadas condições pré-estabelecidas, a depender do uso pretendido para a água (ALMEIDA, 2014).

Tabela 4. Escala de categorias do IQA-CCME

Categoria	Intervalo	Condições de qualidade para o uso pretendido da água
Excelente	95-100	Alcançadas durante todo o tempo.
Bom	80-94	Esporadicamente se afastam.
Mediana	65-79	Eventualmente se afastam.
Marginal	45-64	Frequentemente se afastam.
Ruim	0-44	Sempre ou quase sempre se afastam.

Fonte: Adaptado de CCME, 2001.

Os Índices de Qualidade de Água existentes, como o IQA-CETESB e o IQA-NSF adotam parâmetros fixos, o que os tornam limitados na avaliação da qualidade das águas utilizadas para o abastecimento público, visto que parâmetros impactantes para este uso não fazem parte da composição destes métodos, tais como metais, cianobactérias, compostos orgânicos (TELLES, 2013). A vantagem do IQA-CCME é sua flexibilidade no que diz respeito ao tipo e número de variáveis a serem testadas, ao período de aplicação, bem como aos diferentes ambientes aquáticos a serem testados e aos diferentes propósitos de utilização da água, como por exemplo o consumo humano (FORTES, 2018).

Esse índice também permite avaliar quão longe um corpo hídrico está das metas propostas pelo enquadramento previsto pelo Plano de Bacia Hidrográfica, podendo ser as metas finais ou intermediárias, já que é possível adotar em função da classe escolhida os limites de um dado parâmetro (SILVEIRA, 2018).

3.7 Ferramentas estatísticas no tratamento de dados ambientais

A análise descritiva, ou síntese numérica, é a etapa inicial de qualquer estudo, podendo também ser considerada a mais importante, visto que é a partir dela que se define como e qual análise será utilizada (MANCUSO, 2018). A estatística descritiva, cujo objetivo básico é o de sintetizar uma série de valores de mesma natureza, permite que se tenha uma visão global da variação desses valores, organizando e descrevendo os dados de três maneiras: por meio de tabelas, de gráficos e de medidas descritivas (GUEDES *et al.*, 2015).

A utilização de métodos estatísticos é bastante empregada como auxiliar no monitoramento e análise de corpos hídricos. Segundo De Sousa (2016) para uma melhor compreensão dos sistemas aquáticos é imprescindível o uso de ferramentas estatísticas multivariadas, pois apresentam uma visão global dos fenômenos ambientais envolvidos, os quais, na maioria das vezes, não são percebidos por ferramentas convencionais. Em estudos ambientais com muitas amostras e variáveis, sejam elas físico-químicas, biológicas e/ou temporais, é possível avaliar integradamente um complexo de dados com o emprego da metodologia estatística multivariada, em que as variáveis podem ser analisadas de forma conjunta. A decisão sobre quais variáveis são importantes é feita geralmente, com base na intuição química ou na experiência, ou seja, baseado em critérios que são mais subjetivos que objetivos. Desta forma, as ferramentas estatísticas mostram-se eficazes na interpretação de resultados de estudos ambientais (BERNARDI, 2012).

Ainda, a própria legislação determina que os resultados do monitoramento devem ser analisados estatisticamente, facilitando a interpretação dos conjuntos de dados obtidos (BRASIL - CONAMA, 2005; 2008). Diversos autores utilizam métodos estatísticos multivariados visando extrair diferenças e semelhanças entre períodos de amostragem de corpos d'água, identificando parâmetros responsáveis pelas variações da qualidade da água, reconhecendo as fontes contribuintes permitindo relacionar por exemplo, a química da água com o uso e ocupação do solo e a geologia (MEDEIROS, SILVA e LINS, 2018; MENEZES *et al.*, 2016; ROCHA, SILVA e FREITAS, 2016; ROCHA e PEREIRA, 2016, SABINO, LAGE e ALMEIDA, 2014).

4 METODOLOGIA

4.1 Áreas de estudo

O Estado do Rio Grande do Sul foi dividido pela Lei Estadual nº 10.350/94 da Política Estadual de Recursos Hídricos em três Regiões hidrográficas: do Guaíba, do Uruguai e das bacias Litorâneas. Estas regiões hidrográficas foram subdivididas em 25 bacias hidrográficas, instituídas pelo Decreto Estadual nº 53.885, de 18 de janeiro de 2017. Cada bacia possui um Comitê de Gerenciamento, denominado Comitê de Bacia, para gestão dos recursos hídricos. As bacias hidrográficas (Figura 1) que correspondem aos locais de estudos são a do Camaquã, a qual compreende ao código L030 da Região Hidrográfica do Litoral e, a da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo, as quais correspondem ao código L040, da Região Hidrográfica do Litoral (RS - SEMA, 2019).

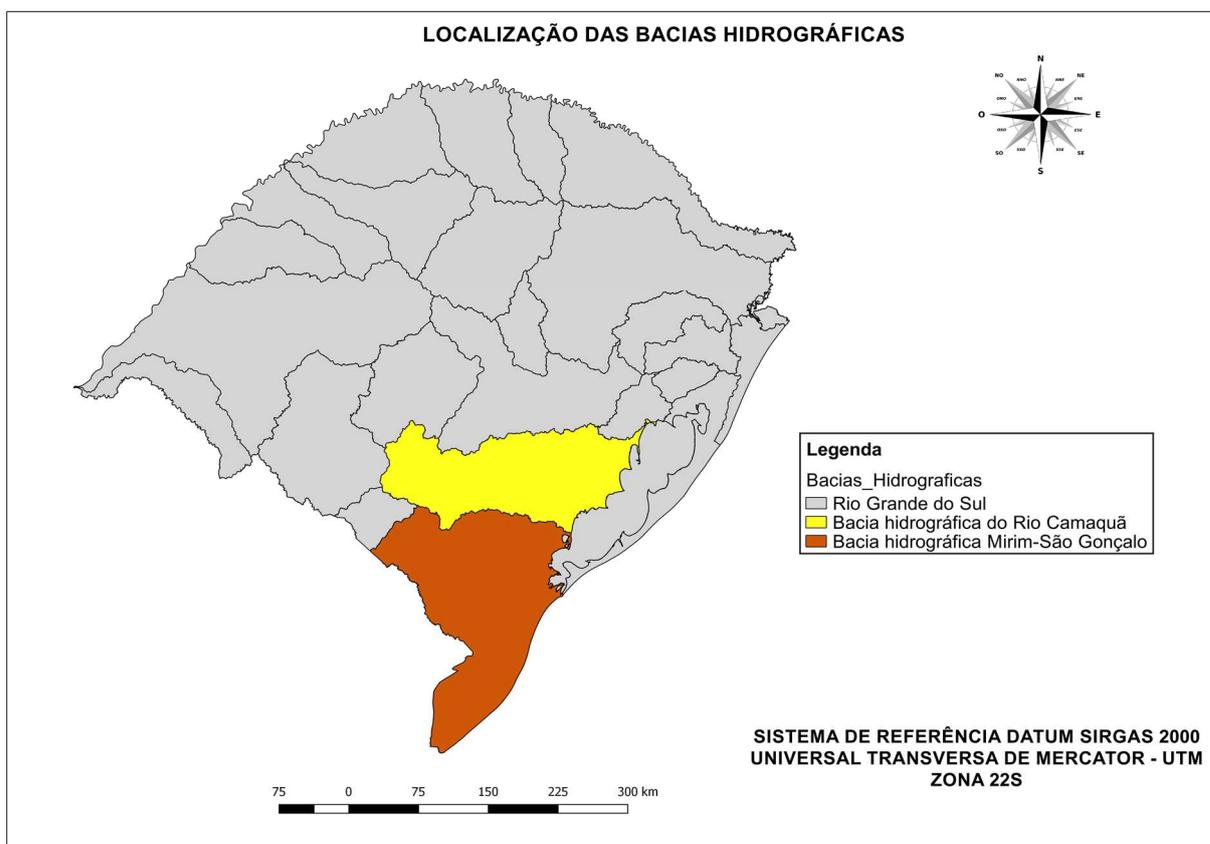


Figura 1. Localização das bacias hidrográficas utilizadas no estudo. Fonte: Autora.

Os locais do estudo são mananciais utilizados para o abastecimento de água destinada ao consumo humano e que exemplificam as diferentes opções disponíveis

para captação de água bruta. Mananciais subterrâneos abastecem o município de Cristal, por meio de captação de água em poços freáticos próximos ao Rio Camaquã, sendo a água destes, destinadas a Estação de Tratamento de Água, cuja tecnologia empregada é o tratamento simplificado com o uso de filtros lentos, pré-desinfecção e pós-desinfecção.

Os mananciais superficiais estudados são os que abastecem os municípios de Capão do Leão, Camaquã e Rio Grande, tendo suas captações localizadas em arroio, barragem e canal, respectivamente (BRASIL - ANA, 2010). Nestes mananciais superficiais a tecnologia adotada é o tratamento de água em ETA convencional de ciclo completo, ou tratamento tipo C (ABNT, 1992) que contempla as etapas de clarificação, composta pela coagulação, floculação e decantação. Após segue para filtração, fluoretação e desinfecção, sendo armazenada em reservatórios para distribuição à população. O ponto de análise, dos laudos disponibilizados para o estudo, localiza-se na entrada da estação.

Na Tabela 5 é possível visualizar a área de cada município, população total e abastecida, bem como a vazão média de água captada dos mananciais de cada município.

Tabela 5. Informações dos municípios de estudo.

	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
Área ¹ (Km ²)	682,1	1.680,2	785,4	2.704,8
População ²	7.280	66.034	24.298	197.228
População abastecida ³	5.509	51.933	23.194	195.736
Vazão média ³ (m ³ /s)	0,015	0,21	0,062	0,9

Fonte: ¹IBGE (2010), ²IBGE (2018) e ³Companhia Riograndense de Saneamento (2019).

Cristal e Camaquã possuem território totalmente inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã e são limítrofes, assim como Capão do Leão e Rio Grande, porém, estes em território totalmente inserido na Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo (RS - SEMA, 2019). A classificação climática de Köppen-Geiger dos municípios é do tipo subtropical úmido (Cfa).

4.1.1 Cristal

O manancial que abastece o município de Cristal situa-se na Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) denominada Baixo Camaquã-Duro, sendo a irrigação o principal uso de água dessa região, em conjunto com abastecimento público (GAMA, 2015). Para o fornecimento de água à população, faz-se uso de dois poços freáticos (Figura 2), os quais situam-se próximos à ponte sobre a BR 116 (captação 1) e próximo ao leito do Rio Camaquã (captação 2), com 36 e 41 metros de profundidade, respectivamente. As principais atividades econômicas do município são a agricultura, pecuária, silvicultura e a mineração de areia e saibro.

Do ponto de vista hidrogeológico, os poços pertencem ao aquífero poroso livre, bem como à feição geomorfológica da planície fluvial, constituída de depósitos arenoargilosos a argiloarenosos, localizando-se na formação geológica dos depósitos litorâneos e aluvionares (BRASIL – CPRM, 2019). De acordo com a classificação pedológica, o solo dominante na região do manancial é o planossolo nátrico órtico, que possui grande susceptibilidade à erosão, favorecida pela baixa permeabilidade do horizonte B devido à alta concentração de sódio típica (SANTOS, *et. al*, 2018).

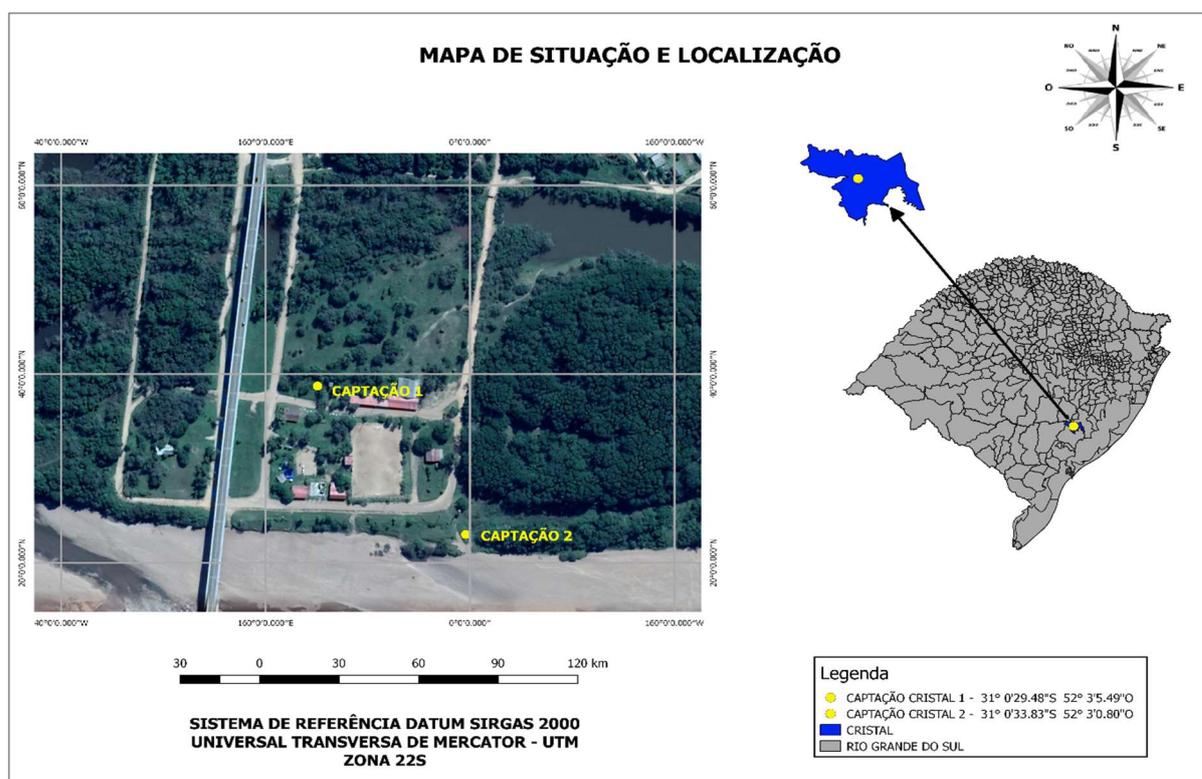


Figura 2. Localização do manancial (poços) que abastece a ETA de Cristal, RS. Fonte: Autora.

Embora as águas subterrâneas sejam a principal fonte de água no Brasil, na bacia hidrográfica do Rio Camaquã não houve classificação nem foram definidas metas de enquadramento para as águas subterrâneas (GAMA, 2015), demonstrando a importância deste estudo para conhecimento da situação do manancial utilizado para o consumo humano do município de Cristal.

4.1.2 Camaquã

A barragem do Arroio Duro, localizada em Camaquã, foi inaugurada em 1967, possuindo como objetivos regularizar a vazão do Arroio Duro, controlar cheias e inundações e drenar o Banhado do Colégio, localidade situada próxima à BR 116. Possui como características construtivas capacidade de armazenamento do reservatório de 170.000.000 m³ e bacia de captação abrangendo área de 290 km². Desde 1992 é administrada pela Associação dos Usuários do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro, a qual utiliza suas águas para irrigação (GAMA, 2015). Além deste, outro uso das águas deste manancial destina-se ao consumo humano da população.

As principais atividades econômicas deste município são a silvicultura e a agropecuária, com ênfase para a fumicultura e a orizicultura. O solo dominante na região do manancial pertence à classe dos argissolos vermelho-amarelo distrófico, que possui como características a baixa fertilidade e propensão à erosão por ocorrer em relevo acidentado, trazendo um alerta quanto a preocupação com relação à proteção dos solos objetivando minimizar o assoreamento do rio e reservatório (GAMA, 2015; SOUZA, *et. al.*, 2018).

Periodicamente, ocorre no reservatório (Figura 3) o processo de eutrofização, devido a carga de nutrientes aportada pela atividade agrícola que se desenvolve nas propriedades ao redor do perímetro do mesmo. Um dos inconvenientes causados por este fenômeno, é a presença de odor e sabor que causam objeção da população ao consumo da água tratada. De forma a remover as toxinas liberadas pelas algas durante o processo de decomposição, assim como melhorar as características organolépticas da água distribuída pela concessionária de saneamento, faz-se necessária a dosagem do produto químico carvão ativado, bem como controle analítico quanto as cianotoxinas presentes na água bruta e tratadas com a frequência estabelecida pela Portaria de Consolidação 05/2017, do Ministério da Saúde.

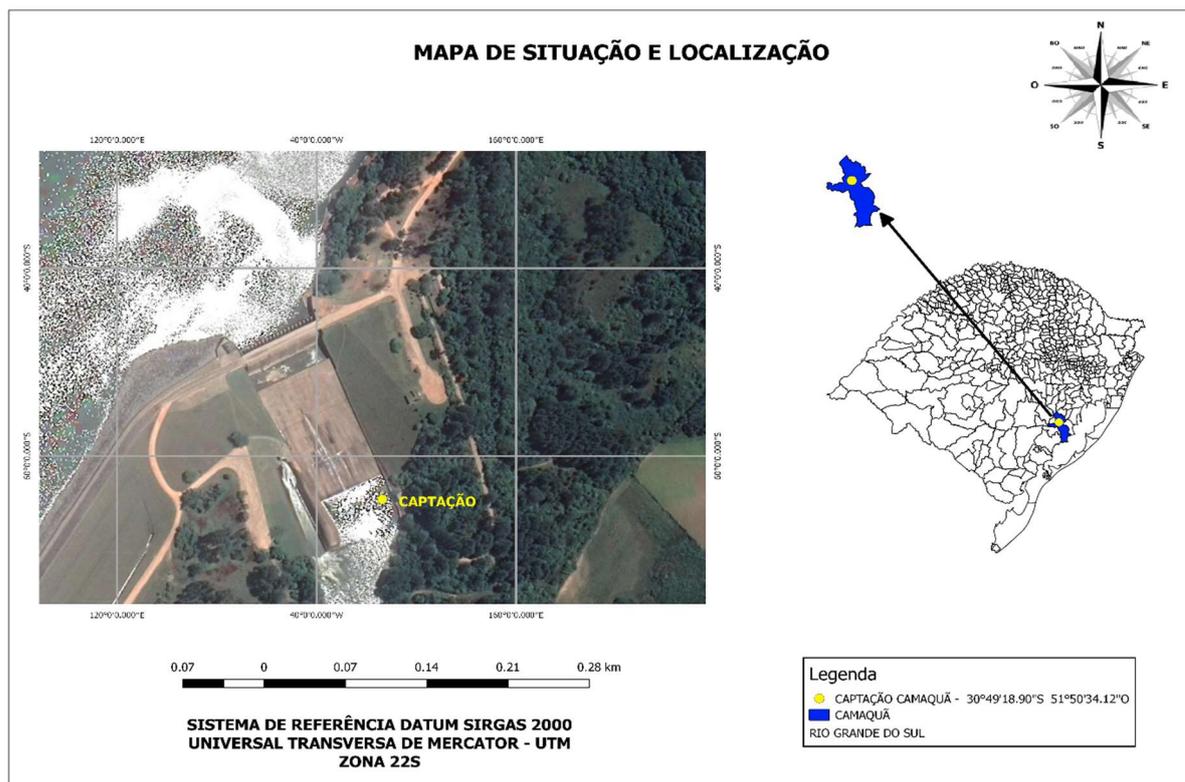


Figura 3. Localização do manancial (barragem) que abastece a ETA de Camaquã, RS. Fonte: Autora.

Ainda, segundo Gama (2015), responsável pela elaboração do enquadramento da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, na única campanha de amostragem, realizada no ano de 2015, o ponto de coleta na represa e o ponto à jusante da mesma foram enquadrados na classe 4 devido ao resultado do parâmetro P total. Esta classe não deve ser destinada ao abastecimento para consumo humano, alertando para a necessidade de ações imediatas para melhoria da qualidade das águas deste manancial, de modo a preservar a saúde pública, bem como aos diversos usos a que se destina o mesmo e, ainda, visando ao alcance da meta de enquadramento aprovada para 2035, que é atingir os valores dos parâmetros da classe 2.

4.1.3 Capão do Leão

O manancial que abastece o município de Capão do Leão (Figura 4) é o Arroio Padre Doutor, pequeno curso d'água que abastece também a ETA Terras Baixas, responsável pelo fornecimento de água potável a aproximadamente 5 mil pessoas que frequentam o Campus Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas. As

principais atividades econômicas desenvolvidas no município são a mineração, a orizicultura, a pecuária e o plantio de pinus e eucalipto.

De acordo com a classificação pedológica, o solo na região em que se localiza o manancial pertence à classe dos gleissolos, que possuem como características serem mal drenados naturalmente, podendo precipitar, reduzir e solubilizar compostos ferrosos, assim como ocorre ausência de oxigênio dissolvido em razão da saturação por água em boa parte do ano (SANTOS *et. al.*, 2018).

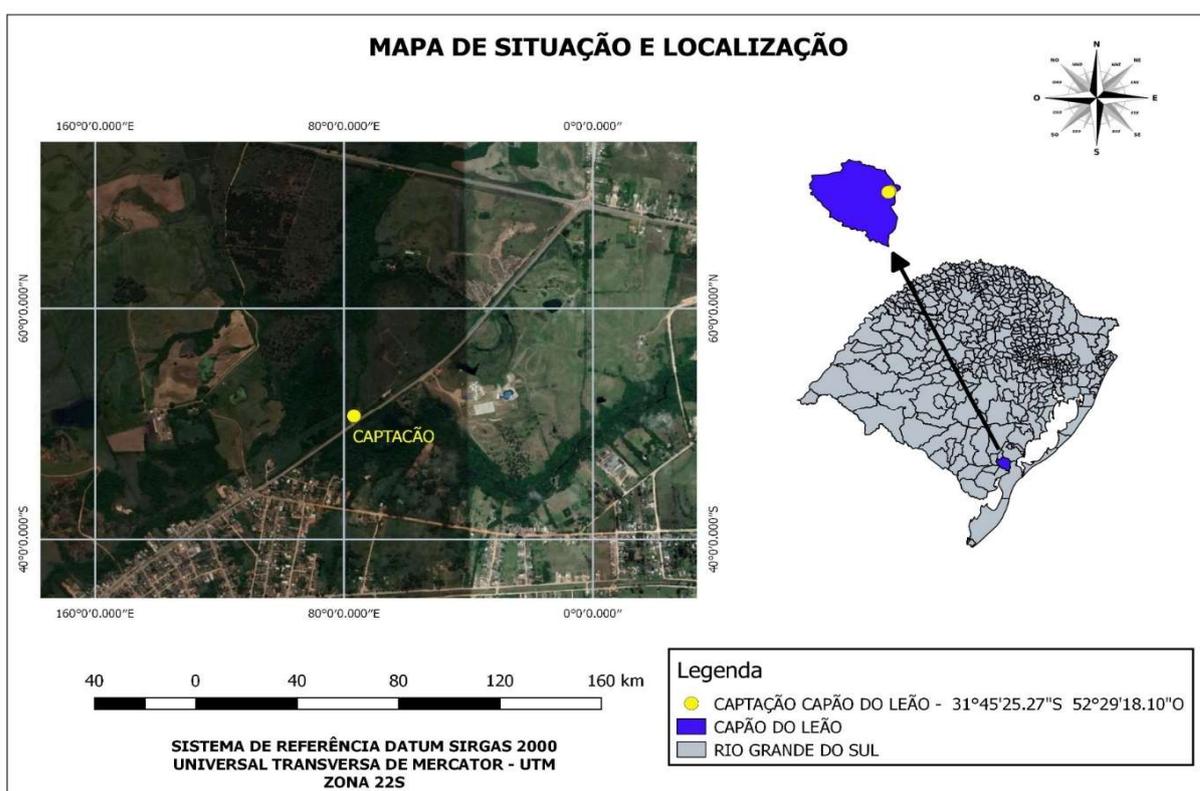


Figura 4. Localização do manancial (arroyo) que abastece a ETA do município de Capão do Leão, RS. Fonte: Autora.

O enquadramento da bacia hidrográfica na qual o manancial está inserido ainda está em elaboração pelo Comitê de Bacia (AGÊNCIA DA LAGOA MIRIM, 2019; SEMA, 2019) e, embora esse manancial não tenha sido elencado na elaboração do plano de bacia hidrográfica, entende-se como representativo pelo fato de abastecer o município e uma universidade pública. Assim, como representar mananciais de menor porte na avaliação dos dados de qualidade de água, visto que, as águas superficiais deste arroio possuem concentrações de ferro e manganês que dificultam o tratamento da água bruta captada neste, passível de ocorrer em outros mananciais, embora já existam tecnologias adequadas de remoção, estas esbarram em dificuldades operacionais, envidando atenção para o tratamento eficaz destas águas.

4.1.4 Rio Grande

O município de Rio Grande é abastecido pelas águas oriundas do Canal São Gonçalo (Figura 5), que possui 76 km de extensão, aproximadamente 240 metros de largura e faz a ligação entre a Lagoa Mirim e a Lagoa dos Patos, sendo um escoadouro natural das águas da Lagoa Mirim com sentido de escoamento dependendo de uma série de fatores físicos. Para evitar a intrusão de água salina, foi construído na década de 1970, no Canal São Gonçalo, um barramento próxima à cidade de Pelotas, permitindo atender aos diversos usos (AGÊNCIA DA LAGOA MIRIM, 2019). As principais atividades econômicas do município são a agricultura extensiva, principalmente de arroz, pecuária e indústria, além da atividade portuária e o refino de petróleo.

Dentre os usos a que se destinam suas águas, citam-se principalmente a irrigação, dessedentação animal e abastecimento humano, estando o enquadramento da Bacia Hidrográfica ainda em elaboração (RS-SEMA, 2019). Os solos dominantes da área são os gleissolos háplicos e o relevo possui feição deposicional atrelado à dinâmica flúvio-lacustre (SANTOS *et. al.*, 2018; SIMON e DA SILVA, 2016).

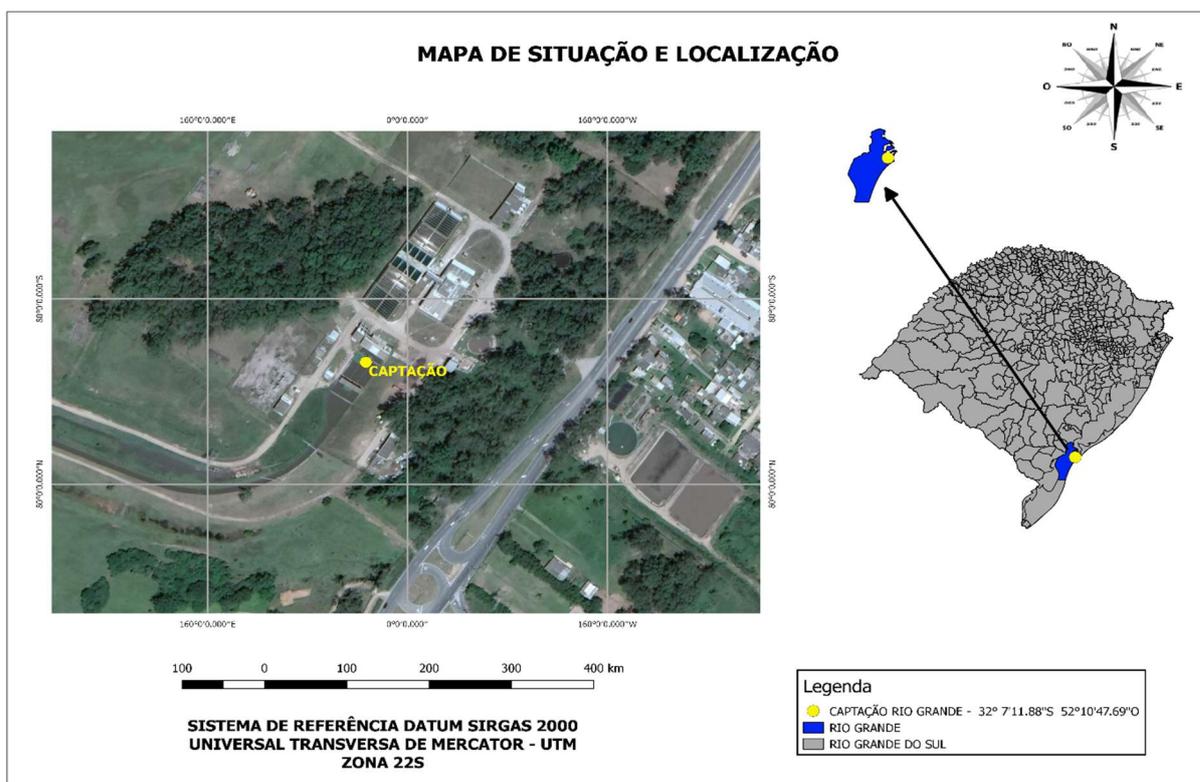


Figura 5. Localização do manancial (canal) que abastece a ETA do município de Rio Grande, RS. Fonte: Autora.

Dada a importância deste manancial na região, diversos trabalhos de monitoramento da qualidade de suas águas vêm sendo realizados no curso principal do Canal, analisando diversas variáveis, visando verificar os impactos causados pelas atividades desenvolvidas em seu entorno, principalmente a atividade agrícola. Entretanto, o Plano de Bacia Hidrográfica em que o Canal São Gonçalo está inserido ainda não foi finalizado, sendo de suma importância sua conclusão para estabelecimento de metas e uma gestão adequada deste recurso hídrico.

4.2 Obtenção dos dados

A tipologia de pesquisa adotada neste estudo foi a pesquisa descritiva por meio de análise documental de fonte secundária (GIL, 2008), visto que os dados utilizados para o desenvolvimento deste foram disponibilizados pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), correspondendo aos relatórios dos ensaios analíticos realizados no período de 2013 a 2018 dos diferentes mananciais.

As campanhas de amostragem para o monitoramento da água bruta dos mananciais são realizadas pela concessionária de saneamento, com periodicidade semestral, seguindo as metodologias das edições vigentes do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. As análises são realizadas em laboratório próprio ou terceirizado e atendem à exigência de frequência estabelecida pela Portaria de Consolidação 05/2017 - MS.

Para a escolha das variáveis (Tabela 6) a serem analisadas neste estudo considerou-se dois fatores: a importância de cada variável na tratabilidade das águas brutas e potencial da variável para indicar a degradação da qualidade das águas.

Tabela 6. Principais variáveis analisadas no estudo.

Variáveis			
Temperatura do ar	Alcalinidade	Magnésio total	Fe Dissolvido
Temperatura da água	Cálcio total	Matéria orgânica	Nitrato
Alumínio total	Cor	pH	Cloretos
Ferro total	Dureza	Sólidos totais	Alumínio dissolvido
Manganês total	Fósforo total	Turbidez	Agrotóxicos

Para a identificação de fatores que podem gerar degradação da qualidade da água em seu entorno, procedeu-se a caracterização geográfica dos pontos de amostragem por meio da elaboração de mapas com a localização dos mananciais. Visando identificar se há relação entre as alterações das variáveis e a precipitação, consultou-se os dados mensais do período 2013-2018 do portal Hidroweb – ANA referente à estação pluviométrica mais próxima de cada um dos mananciais.

Os resultados dos laudos foram convertidos em planilhas excel, organizados por manancial para possibilitar as análises estatísticas, a geração das tabelas e figuras de resultados dos parâmetros e valores limites das classes das Resoluções CONAMA 357/2005 e 396/2008, a aplicação das fórmulas de cálculos de IET e IQA-CCME de modo a alcançar os diferentes objetivos específicos.

4.3 Ferramentas estatísticas para interpretação dos resultados

O desenvolvimento do estudo foi realizado de acordo com as etapas elencadas na Figura 6, sendo comum aos métodos descritos nos itens 4.4 a 4.6, as etapas 1 a 5. Os programas utilizados no estudo foram o Excel 2016 e o IBM SPSS *Statistics* 24.

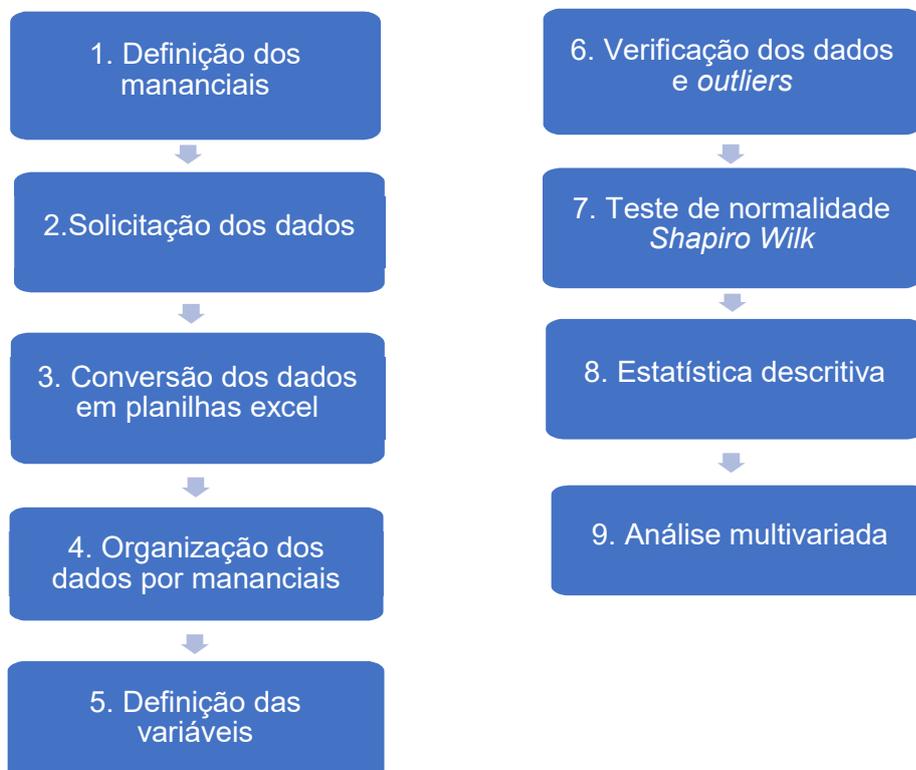


Figura 6. Esquema com as etapas de desenvolvimento da pesquisa.

De posse dos dados organizados em planilhas, utilizou-se nos testes estatísticos as variáveis descritas na Tabela 6, com exceção dos agrotóxicos, já que os resultados destes variaram entre não detectado e abaixo do limite de quantificação do método. Procedeu-se a avaliação da qualidade dos dados obtidos, verificando a coerência entre as variáveis, como por exemplo, se a concentração de ferro dissolvido era igual ou inferior a concentração de ferro total encontrada na mesma amostra, conforme Lamparelli (2004).

Outro procedimento importante e necessário na aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados ambientais é a análise de valores discrepantes, conhecidos como *outliers*. O método exploratório utilizado foi o da amplitude interquartil (GRUBBS E BECK, 1972; LAMPARELLI, 2004; NAGHETTINI E PINTO, 2007; FREITAS, 2017) em que para cada parâmetro criou-se um gráfico no excel do tipo *Box-Plot*, que possibilitou a observação da faixa de variação dos dados e visualização de possíveis valores extremos. Para isso, o programa utiliza as fórmulas dos valores “admissíveis” dentro dos limites superior (LS) e inferior (LI), em que $Q1$ =primeiro quartil, $Q3$ = terceiro quartil, e IIQ =intervalo interquartil ($Q3-Q1$):

$$LI=Q1-1,5x IIQ \quad LS=Q3+1,5 x IIQ \quad \text{Equação (1)}$$

Após a identificação dos *outliers*, realizou-se a análise individual destes, confrontando-os com as demais variáveis da coleta, como se a mesma foi efetuada em período seco ou chuvoso, visando compreender o motivo da variação encontrada, resultando em alguns valores removidos e outros mantidos, considerando que os dados mantidos podem ocorrer naturalmente nas águas.

Outra importante etapa para análises estatísticas ambientais é o estudo da distribuição das variáveis, se as mesmas seguem uma distribuição normal ou não, possibilitando escolher de forma adequada os testes estatísticos. No presente trabalho, aplicou-se o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* (SW), considerando um nível de 5% significância, empregado por Abreu e Cunha (2018) e Freitas (2017). O teste SW baseia-se nos valores amostrais ordenados elevados ao quadrado, e é considerado o melhor teste de aderência à normalidade por Leotti *et al* (2016). Ao obter valor de $p < 0,05$ indica que a distribuição não é normal.

De modo a possibilitar a execução do teste de normalidade, segundo Hair (2009), faz-se necessário padronizar os dados, eliminando o viés gerado pelas

diferenças de escalas das variáveis usadas na análise. A forma mais usada é a conversão de cada variável em escores padrão ou Z, como também são conhecidos. A padronização se dá pela subtração da média e divisão pelo desvio-padrão de cada variável. Este procedimento transforma os dados brutos em valores padronizados com média zero e desvio padrão um.

Obteve-se o perfil das variáveis de qualidade da água por meio da estatística descritiva (média, mínimo e máximo), além do coeficiente de variação e desvio padrão das variáveis para os diferentes mananciais, com o intuito de compreender o comportamento das séries de dados dos diferentes tipos de mananciais, segundo Freitas (2017).

Para verificar se houve melhora ou piora na qualidade da água dos mananciais realizou-se a análise temporal dos dados, por meio de comparação entre os anos no período de estudo. Para testar as diferenças entre períodos utilizou-se o teste não-paramétrico *Kruskal-Wallis*, com nível de significância de 5%.

Para quantificar o grau de associação entre variáveis da qualidade da água os dados de cada manancial foram submetidos à análise de correlação de *Spearman*, que por ser uma técnica que opera com o ranqueamento dos dados e relativamente insensível aos *outliers*, não requer que os dados tenham sido coletados em intervalos regulares (Trindade *et. al.*, 2017).

Com o intuito de avaliar a tendência de agrupamento das variáveis, realizou-se a análise de *cluster* hierárquico, método exploratório que tem por finalidade agrupar elementos baseados em características que estes têm. Utilizou-se o método *Ward* como critério hierárquico de agrupamento, que possui como particularidade a formação de dendogramas. A medida de similaridade adotada foi a da distância euclidiana, empregada quando as variáveis são quantitativas, caso dos dados ambientais de qualidade de água (FRANCA, 2018; GOMES e CAVALCANTI; 2017; HAIR, 2009).

4.4 Classificação de acordo com as Resoluções do Conama 357/05 e 396/08

Tendo em vista que nos anos de 2013 e 2014 alguns destes parâmetros não foram analisados, adotou-se o período entre 2015 a 2018 para esta avaliação. O

levantamento da ocorrência de agrotóxicos nas amostras foi realizado verificando-se individualmente cada laudo.

Para verificar se os mananciais possuem a classe requerida para o abastecimento de água destinado ao consumo humano e se a tecnologia de tratamento está adequada, os resultados das análises foram confrontados com os parâmetros estabelecidos pela Resolução 357/2005 para os mananciais superficiais e pela Resolução 396/2008 para o manancial subterrâneo.

Para os mananciais superficiais, a comparação ocorreu por meio da elaboração de gráficos e tabelas com os resultados obtidos e os limites dos valores estabelecidos para as respectivas classes, considerando os parâmetros da Tabela 7.

Tabela 7. Parâmetros dos mananciais superficiais utilizados para comparação com a Resolução CONAMA 357/2005.

Parâmetros		
pH	Ferro dissolvido	Cloretos
Turbidez	Fósforo total	Nitrato
Manganês total	Alumínio dissolvido	Nitrito

Para o manancial subterrâneo, desenvolveram-se gráficos e tabela com os resultados obtidos para os parâmetros constantes na Tabela 8, realizando a comparação com os limites de valores estabelecidos para o uso destinado ao consumo humano, uso preponderante destes poços.

Tabela 8. Parâmetros do manancial subterrâneo utilizados para comparação com a Resolução CONAMA 396/2008.

Parâmetros	
Alumínio total	Nitrato
Ferro total	Nitrito
Manganês total	Cloretos

4.5 Cálculo do Índice de Estado Trófico

O IET foi calculado utilizando os resultados das análises do parâmetro PT dos mananciais superficiais, adotando-se a metodologia desenvolvida por Lamparelli (2004) que desenvolveu duas equações, conforme o regime de ambiente:

$$\text{Rios: IET(PT)} = 10 \times (6 - ((0,42 - 0,36 \times (\ln \text{PT})) / \ln 2)) - 20 \text{ Equação (2)}$$

$$\text{Reservatórios: IET (PT)} = 10 \times (6 - ((1,77 - 0,42 \times (\ln \text{PT})) / \ln 2)) \text{ Equação (3)}$$

De posse dos valores, a interpretação do estado trófico dos corpos aquáticos, enquadraram-se os resultados conforme os limites apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Índice de Estado Trófico (IET) para rios e reservatórios.

CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO	
CATEGORIA	INTERVALO
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59
Eutrófico	59 < IET ≤ 63
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67
Hipereutrófico	IET > 67

Fonte: Adaptado de Lamparelli (2004).

4.6 Determinação do IQA-CCME

Neste trabalho foram selecionados 9 parâmetros para realizar o cálculo do IQA-CCME, sendo eles: Mn total, PT, pH, turbidez, Fe dissolvido, nitrato, nitrito, cloretos e Al dissolvido, para os quais existem valores de referência na Resolução Conama 357/2005 para os mananciais superficiais e Resolução CONAMA 396/2008 para o manancial subterrâneo.

O IQA-CCME foi calculado conforme sua proposta metodológica, baseada em uma fórmula desenvolvida pela *British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks* e modificada por *Alberta Environment* (CCME, 2001). Essa fórmula incorpora três fatores, designados como: Alcance (F1); Frequência (F2) e Amplitude (F3).

- Cálculo do Alcance (F1):

$$F1 = \frac{\text{n}^\circ \text{ de parâmetros não conformes}}{\text{n}^\circ \text{ total de parâmetros}} \times 100 \quad \text{Equação (4)}$$

- Cálculo da Frequência (F2):

$$F2 = \frac{\text{n}^\circ \text{ de amostras não conformes}}{\text{n}^\circ \text{ total de amostras}} \times 100 \quad \text{Equação (5)}$$

- Cálculo da Amplitude (F3):

Calculada em três passos: discrepâncias (Δ); soma normalizada das discrepâncias ($\sum n\Delta$), e por fim o cálculo da amplitude (F3).

Cálculo das discrepâncias (Δ):

$$\text{Discrepância}_i = \left(\frac{\text{Valor da análise não conforme}_i}{\text{Padrão}_i} \right) - 1 \quad \text{Equação (6)}$$

Cálculo da soma normalizada das discrepâncias ($\sum n\Delta$):

$$\sum n^\Delta = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Discrepância}_i}{\text{n}^\circ \text{ total de análises}} \quad \text{Equação (7)}$$

$$F3 = \left(\frac{\sum n^\Delta}{0,01 \times \sum n^\Delta + 0,01} \right) \quad \text{Equação (8)}$$

- Cálculo do IQA-CCME:

$$\text{IQA-CCME} = 100 - \left[\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right] \quad \text{Equação (9)}$$

Os valores calculados são divididos em cinco categorias descritivas, onde 0 representa a pior qualidade da água e 100 representa a melhor qualidade da água, conforme apresentado anteriormente na Tabela 4 (seção de revisão).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor compreensão da variação da qualidade das águas dos mananciais, a apresentação dos resultados deu-se primeiramente pelas análises estatísticas descritivas e multivariadas, seguindo para a comparação com a Resolução CONAMA 357/2005 e posterior aplicação do IET e IQA-CCME.

A estatística descritiva das variáveis utilizadas no estudo, explicada a seguir, consistiu no cálculo da média, mínima, máxima, desvio padrão e coeficiente de variação. Em estudos com dados de monitoramento da qualidade da água, tanto o desvio padrão quanto o coeficiente de variação costumam apresentar altos valores (BATISTA, 2016; DE SOUZA e GASTALDINI, 2014). Expôs-se a estatística descritiva na forma de tabelas, buscando evidenciar o comportamento das variáveis nos diferentes tipos de mananciais durante o período de 2013 a 2018. Na Tabela 10 é possível visualizar a estatística descritiva da temperatura do ar e da água.

Tabela 10. Estatística descritiva das variáveis Temperatura do ar e água para os diferentes mananciais.

FV	Temperatura do ar (°C)			
<i>Estatística descritiva</i>	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Mín.</i>	11,00	9,00	9,00	14,00
<i>Média</i>	22,42	23,08	14,00	21,58
<i>Máx.</i>	29,00	24,00	20,00	31,00
<i>D_p</i>	5,84	7,02	3,67	6,20
<i>C_v (%)</i>	26,04	30,43	26,2	28,73
FV	Temperatura da água (°C)			
<i>Estatística descritiva</i>	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Mín.</i>	17,00	14,00	10,00	14,00
<i>Média</i>	21,16	20,33	14,63	21,16
<i>Máx.</i>	27,00	26,00	18,00	29,00
<i>D_p</i>	2,88	5,14	2,46	6,40
<i>C_v (%)</i>	13,63	25,28	16,81	30,27

Sendo: FV: fonte de variação; Mín: valores mínimos; Máx: valores máximos; D_p: desvio padrão; C_v: coeficiente de variação em %.

A temperatura (T) é uma variável que desempenha papel importante no meio aquático, condicionando as influências em uma série de variáveis físico-químicas (CETESB, 2017). Sua variação pode ocorrer por agentes naturais, sazonais e diurnos, e pela interferência com não naturais, como o lançamento nos cursos d'água de efluentes com temperaturas elevadas (ANA, 2010).

As temperaturas do ar e da água refletiram as variações correspondentes às estações em que foram realizadas as amostragens, sendo que a temperatura do ar variou entre 9°C de mínima, para Capão do Leão e Camaquã e, máxima de 31 °C, para Rio Grande. Já para a temperatura da água, a mínima foi de 10°C no Capão do Leão e a máxima também ocorreu em Rio Grande, atingindo 29°C.

O alto coeficiente de variação da temperatura do ar ocorre devido a amplitude térmica comum no estado, onde as estações são bem definidas. Já para a variável temperatura da água, a menor amplitude ocorreu para o manancial de Capão do Leão, devido ao período de programação das coletas, que ocorreram nas estações de outono e inverno. O menor coeficiente de variação ocorreu para o manancial subterrâneo, visto que as águas subterrâneas possuem temperaturas mais constantes, sofrendo menor interferência de variáveis físicas, como a radiação solar.

O alumínio (Al) é o elemento metálico mais abundante na crosta terrestre, ocorrendo naturalmente no solo, ar na água, sendo redistribuído ou movido através de atividades naturais ou humanas (BATISTA, 2018). Embora seja um metal com potencial bioacumulativo, não há indicação de carcinogenicidade em seres humanos, mas é extremamente tóxico aos animais e plantas ao escoar para os corpos hídricos. Na Tabela 11, visualizam-se os resultados encontrados para as variáveis Al total e Al dissolvido. Para o manancial subterrâneo não houve presença de Al dissolvido, sendo apresentada a sua concentração nos mananciais superficiais.

Tabela 11. Estatística descritiva das variáveis Al total e dissolvido para os diferentes mananciais.

FV	Alumínio total (mg/L)			
<i>Estatística descritiva</i>	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Mín.</i>	0,00	0,09	0,92	0,34
<i>Média</i>	0,04	2,59	2,62	4,64
<i>Máx.</i>	0,24	6,7	12	11
<i>D_P</i>	0,09	2,25	3,04	3,14
<i>Cv (%)</i>	213,89	85,76	115,53	67,8
FV	Alumínio dissolvido (mg/L)			
<i>Estatística descritiva</i>	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Mín.</i>	0,00	0,06	0,08	0,09
<i>Média</i>	0,00	0,36	0,17	0,52
<i>Máx.</i>	0,00	1,64	0,36	2,54
<i>D_P</i>	0,00	0,08	0,5	0,77
<i>Cv (%)</i>	0,00	50,42	69,60	56,32

Sendo: FV: fonte de variação; Mín: valores mínimos; Máx: valores máximos; D_p: desvio padrão; Cv: coeficiente de variação em %.

As concentrações de Al total variaram de zero para o manancial subterrâneo de Cristal a 12 mg/L para o manancial de Capão do Leão. O maior coeficiente de variação ocorreu para a água subterrânea, tendo em vista que o valor máximo obtido foi de 0,24 mg/L. Verificou-se que as elevadas concentrações obtidas em Capão do Leão e Rio Grande, acima de 10 mg/L, vão ao encontro de outros estudos que estabelecem relação com períodos chuvosos e altos valores de turbidez (BATISTA, 2018; CETESB, 2017). As concentrações de Al dissolvido variaram entre 0,06 mg/L para a barragem de Camaquã a 2,54 mg/L para o manancial de Rio Grande.

Sua concentração em águas com pH neutro varia de 0,001 mg/L a 0,05 mg/L, porém aumentam para a faixa de 0,5 mg/L a 1,0 mg/L em águas com características ácidas ou abundantes em matéria orgânica (CETESB, 2017; LIBÂNIO, 2010). Na água potável sua presença é constante, seus níveis variam de acordo com a fonte de água e com os coagulantes à base de Al usados no tratamento de água, com concentração média de 0,16 mg/L (CETESB, 2017). Tendo em vista que o Al é um metal presente em concentrações elevadas nas águas brutas e os coagulantes utilizados nas ETAs possuem como principal componente o Al, há de se acompanhar a eficácia de sua remoção. Assim, a relação do coagulante com a alcalinidade deve estar finamente ajustada, de modo a não incrementar Al residual acima do VMP pela Portaria de Consolidação 05/2017, o que pode trazer riscos à população (BRASIL, 2017).

Outra variável, refere-se ao Ferro (Fe), o 4º elemento mais abundante na Terra, sendo incorporado com minerais, de forma natural às águas pela dissolução das rochas, com concentrações em águas superficiais e subterrâneas variando de 3 a 15 mg/L (KATHRI, TYAGI E RAWTANI, 2017, p. 1). Seu nível aumenta nas estações chuvosas pelo carreamento de solos e pelos processos erosivos que ocorrem em margens sem proteção (CETESB, 2017). Já pela ação antrópica seu aumento está associado ao despejo de efluentes industriais (VON SPERLING, 1996). Em águas subterrâneas, é um minério que aparece pela sua dissolução na reação com o gás carbônico da água, sendo comum, assim como o Al e o Mn alcançando altas concentrações em depósitos aluvionares (MENEZES, SILVA JR e PRADO, 2013). Na Tabela 12 é possível visualizar a estatística descritiva para as variáveis Fe total e dissolvido.

Tabela 12. Estatística descritiva das variáveis Fe total e dissolvido para os diferentes mananciais.

FV	Ferro total (mg/L)			
<i>Estatística descritiva</i>	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Mín.</i>	0,73	0,04	1,00	0,22
<i>Média</i>	1,95	1,52	1,98	2,62
<i>Máx.</i>	4,49	3,00	7,20	5,40
<i>D_P</i>	1,04	0,99	1,69	1,56
<i>Cv (%)</i>	53,24	65,14	85,22	59,32
FV	Ferro dissolvido (mg/L)			
<i>Estatística descritiva</i>	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Mín.</i>	0,05	0,15	0,15	0,07
<i>Média</i>	1,16	0,42	0,45	0,46
<i>Máx.</i>	2,73	1,58	0,96	1,49
<i>D_P</i>	0,92	0,44	0,24	0,46
<i>Cv (%)</i>	79,16	56,29	54,32	98,74

Sendo: FV: fonte de variação; Mín: valores mínimos; Máx: valores máximos; D_P: desvio padrão; Cv: coeficiente de variação em %.

Os resultados de Fe total variaram entre 0,07 mg/L de mínimo para o manancial de Rio Grande a 7,20 mg/L de máximo para o manancial de Capão do Leão. Esta variável apresentou o maior coeficiente de variação, tornando possível inferir, assim como para o Al, que as maiores concentrações ocorreram em períodos de maior precipitação. Já para a variável Fe dissolvido, evidencia-se a maior concentração encontrada em mananciais subterrâneos, relacionada à formação geológica local.

Em outros mananciais, Pimenta *et. al.* (2015) obteve resultados de Fe e Al abaixo do limite de detecção do método, em córregos urbano e rural no entorno de Brasília, Distrito Federal. Bucci *et. al.* (2015) encontrou em águas de represa de Minas Gerais concentrações de Fe dissolvido entre 0,03 mg/L a 1,1 mg/L, próximo ao encontrado neste estudo para a barragem de Camaquã, sendo possível associar aos tipos de solos existentes em ambos locais, propensos a erosão, em que partículas são carregadas para o corpo d'água por meio do escoamento superficial causado pela precipitação.

O Manganês (Mn) é um elemento essencial ao metabolismo dos seres vivos e sua presença pode ocorrer devido a atividades antrópicas, por ser um metal utilizado na indústria e na fabricação de diversos produtos (TELLES, 2013). A origem natural em águas é atribuída às características dos diferentes tipos de solos, pela dissolução nas águas superficiais sendo comum ocorrer concentrações abaixo de 0,2 mg/L, porém acréscimo pela atividade antrópica traz risco de contaminação das águas (CETESB, 2017). Na Tabela 13 encontra-se a estatística desta variável.

Tabela 13. Estatística descritiva da variável Mn total para os diferentes mananciais.

FV	Manganês total (mg/L)			
<i>Estatística descritiva</i>	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Mín.</i>	0,07	0,03	0,06	0,00
<i>Média</i>	0,23	0,14	0,35	0,06
<i>Máx.</i>	0,42	0,48	2,80	0,14
<i>D_p</i>	0,08	0,13	0,77	0,04
<i>Cv (%)</i>	34,89	95,62	221,11	72,16

Sendo: FV: fonte de variação; Mín: valores mínimos; Máx: valores máximos; D_p: desvio padrão; Cv: coeficiente de variação em %.

Os valores encontrados de Mn total variaram de zero para o manancial de Rio Grande a 2,80 mg/L de concentração máxima para o manancial de Capão do Leão, para o qual se obteve o maior coeficiente de variação. Este valor máximo encontrado para o Mn total, coincide com coleta realizada em período de chuvas, embora as demais variáveis não tenham sofrido alterações na mesma proporção, permitindo inferir que tenha ocorrido solubilização do manganês. No Rio Jari, em Amapá, Cunha e Oliveira (2014), encontraram resultados abaixo de 0,09 mg/L de Mn total. Em represa, Bucci *et. al.* encontrou valores que variaram de 0,002 mg/L a 0,04 mg/L, significativamente inferiores aos encontrados na represa analisada neste trabalho.

É comum ocorrer a condição de ausência de oxigênio dissolvido nas camadas mais profundas dos reservatórios, propiciando a solubilização dos compostos de ferro e manganês e que devido à inversão térmica, atingem as camadas superficiais dos corpos d'água, chegando muitas vezes aos pontos de captação de água bruta (LIBÂNIO, 2010; VON SPERLING, 1996). Na água tratada, o padrão organoléptico para o Mn é de 0,1 mg/L, exigindo assim como o Fe, alta eficiência de remoção. Ainda, conforme Libânio (2010), o manganês após sua oxidação, forma flocos pequenos de difícil sedimentabilidade, dificultando sua retenção no meio filtrante, resultando em um problema recorrente nas ETAs que captam água bruta com concentrações elevadas deste metal, tais como os mananciais estudados, possibilitando concluir que suas águas se encontram impactadas por este metal.

A alcalinidade de uma amostra de água pode ser definida como sua capacidade de reagir quantitativamente com um ácido forte até um valor definido de pH. Os principais componentes da alcalinidade são os sais do ácido carbônico, ou seja, bicarbonatos e carbonatos, e os hidróxidos (CETESB, 2017). Valores elevados de alcalinidade estão associados a decomposição da matéria orgânica, atividade de

microrganismos liberando gás carbônico na água e ao lançamento de efluentes industriais (LIBÂNIO, 2010). Esta variável das águas naturais possui importância na tratabilidade das águas brutas, visto que é necessária a alcalinidade para reação completa com o coagulante à base de alumínio (BRASIL - FUNASA, 2014). Na Tabela 15 visualiza-se os resultados da estatística descritiva para esta variável.

Tabela 14. Estatística descritiva da variável alcalinidade para os diferentes mananciais.

FV	Alcalinidade (mg/L)			
<i>Estatística descritiva</i>	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Mín.</i>	32,00	18,00	16,00	19,00
<i>Média</i>	70,81	25,66	25,33	34,66
<i>Máx.</i>	99,00	35,00	35,00	45,00
<i>D_p</i>	16,08	6,50	6,64	8,23
<i>Cv (%)</i>	22,71	25,32	26,20	23,73

Sendo: FV: fonte de variação; Mín: valores mínimos; Máx: valores máximos; D_p: desvio padrão; Cv: coeficiente de variação em %.

Verifica-se que a alcalinidade obteve o valor mínimo de 16 mg/L para o manancial de Capão do Leão e o maior valor no manancial subterrâneo que abastece Cristal, alcançando 99 mg/L. As concentrações encontradas nos mananciais superficiais indicam, em situações que demandam maior dosagem do coagulante, tais como períodos de maior precipitação em que o pH tende a ficar baixo, a cor e turbidez altas, torna-se necessária a aplicação de produtos que elevem a alcalinidade para a sua completa reação do sulfato de alumínio, além de ajustar o pH à faixa ideal para a coagulação e atendendo ainda, o intervalo de pH exigido pela legislação.

A alcalinidade não possui valor de referência na legislação nem significado sanitário relevante, embora possua relação direta com outras variáveis, como a cor, em que águas com elevada cor verdadeira geralmente a alcalinidade natural é baixa (LIBÂNIO, 2010). Pimenta (2015) encontrou valores de alcalinidade em córrego rural variando entre 2,43 mg/L a 45,90 mg/L em período chuvoso e entre 12,35 mg/L a 71,28 mg/L em período seco, evidenciando a influência da precipitação na redução de alcalinidade nos corpos d'água superficiais. Águas subterrâneas, devido a suas características geoquímicas, possuem alcalinidade elevada. Gomes e Cavalcanti (2017) encontraram valores altos de alcalinidade em seu estudo, chegando a 81 mg/L em poços situados em Fortaleza, Ceará. O valor máximo encontrado no manancial de Cristal coincide com alterações na turbidez, indicando influência da precipitação.

Os sais de Cálcio (Ca^{+2}) e Magnésio (Mg^{+2}), presentes nas águas superficiais e subterrâneas originados pela dissolução das rochas são responsáveis pela dureza da água, sendo esta a capacidade de precipitar sabão. Na Tabela 15 encontram-se os resultados da estatística descritiva destas variáveis.

Tabela 15. Estatística descritiva das variáveis dureza, Ca^{+2} e Mg^{+2} para os diferentes mananciais.

FV	Dureza (mg/L)			
<i>Estatística descritiva</i>	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Mín.</i>	39,50	12,00	14,00	20,00
<i>Média</i>	44,16	17,30	19,30	30,68
<i>Máx.</i>	53,00	24,00	25,00	42,00
<i>D_P</i>	4,29	3,69	3,79	7,28
<i>Cv (%)</i>	9,72	21,34	19,65	23,72
FV	Cálcio total (mg/L)			
<i>Estatística descritiva</i>	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Mín.</i>	9,20	2,00	2,30	4,80
<i>Média</i>	11,14	3,53	3,68	7,28
<i>Máx.</i>	13,10	5,50	5,00	9,76
<i>D_P</i>	1,15	0,90	0,87	1,77
<i>Cv (%)</i>	10,33	25,67	23,57	24,28
FV	Magnésio total (mg/L)			
<i>Estatística descritiva</i>	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Mín.</i>	3,00	0,80	1,80	0,56
<i>Média</i>	3,96	2,02	2,50	2,98
<i>Máx.</i>	5,40	3,00	4,70	5,00
<i>D_P</i>	0,71	0,67	0,23	1,32
<i>Cv (%)</i>	17,81	33,39	32,32	44,26

Sendo: FV: fonte de variação; Mín: valores mínimos; Máx: valores máximos; D_p: desvio padrão; Cv: coeficiente de variação em %.

Em relação a tabela acima, pode-se observar que os menores valores de dureza e Ca^{+2} foram obtidos no manancial que abastece Camaquã e para o Mg^{+2} no Canal São Gonçalo, manancial utilizado pelo município de Rio Grande. Já o valor máximo foi encontrado no manancial subterrâneo de Cristal para as três variáveis.

Do ponto de vista sanitário não oferecem riscos pela presença em águas destinadas ao consumo humano, embora a presença de cálcio e magnésio em maiores quantidades esteja associada a presença de fertilizantes utilizados na agricultura. Souza (2015) ao analisar amostras do Canal São Gonçalo, encontrou valores médios de cálcio de 17 mg/L (período chuvoso) e 24 mg/L (período seco).

A cor é associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la pela presença de sólidos dissolvidos, com origem nos colóides orgânicos, como ácidos húmicos e fúlvicos oriundos da decomposição de matéria orgânica, proveniente de compostos inorgânicos, como óxidos de Fe e Mn (CETESB, 2017).

Já a turbidez de uma amostra de água refere-se ao grau de atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido a presença de sólidos em suspensão, como areia, silte e argila, bem como plâncton em geral. Manejo inadequado dos solos intensificam a erosão dos solos em períodos chuvosos e aumentam a turbidez dos cursos d'água, além de influenciar as comunidades aquáticas (BATISTA, 2018).

Em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura durante um tempo. A entrada de sólidos nas águas ocorre de forma natural por meio dos processos erosivos, organismos e detritos orgânicos ou de forma antrópica pelo lançamento de lixo e esgoto, ou ainda pelo uso do solo no entorno (ÁVILA, 2017, SANTOS *et. al.*, 2018). A análise descritiva encontra-se na Tabela 16.

Tabela 16. Estatística descritiva das variáveis cor aparente, turbidez e sólidos totais para os diferentes mananciais.

FV	Cor aparente (uH)			
<i>Estatística descritiva</i>	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Mín.</i>	15,00	10,00	2,00	52,00
<i>Média</i>	35,32	70,29	62,75	98,43
<i>Máx.</i>	100,00	140,00	186,00	135,00
<i>D_P</i>	25,18	44,06	41,70	33,40
<i>Cv (%)</i>	71,29	62,68	66,46	33,93
FV	Turbidez (uT)			
<i>Estatística descritiva</i>	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Mín.</i>	3,20	1,60	8,50	9,80
<i>Média</i>	11,21	24,47	25,96	38,57
<i>Máx.</i>	48,00	60,00	113,00	84,00
<i>D_P</i>	12,43	19,17	28,22	19,41
<i>Cv (%)</i>	110,87	78,35	39,12	50,33
FV	Sólidos totais (mg/L)			
<i>Estatística descritiva</i>	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Mín.</i>	126,00	57,00	73,00	70,00
<i>Média</i>	156,67	85,83	97,75	130,67
<i>Máx.</i>	180,00	127,00	182,00	216,00
<i>D_P</i>	15,41	17,46	28,67	19,41
<i>Cv (%)</i>	9,83	20,35	29,34	30,60

Sendo: FV: fonte de variação; Mín: valores mínimos; Máx: valores máximos; D_p: desvio padrão; Cv: coeficiente de variação em %.

No manancial subterrâneo, a cor variou entre 15 uH e 100 uH, resultado da presença de Fe e Mn no aquífero. Para a variável cor o menor e maior resultados encontrados, 2 uH e 186 uH, respectivamente, ocorreram no manancial de Capão do Leão, provavelmente por maior aporte de matéria orgânica no curso d'água. Oliveira e Cunha (2014) ao analisarem as águas do Rio Jari, no Amapá, encontraram valores de cor variando entre 21 uH e 163 uH, com predominância das alterações em período chuvoso, que podem prejudicar os processos biogeoquímicos pela redução da passagem de luz, interferindo na fotossíntese no meio aquático.

A cor verdadeira, que se diferencia da cor aparente por ser determinada em amostras após a filtração, em águas naturais varia de 0 a 200 uH, corroboram com os encontrados para os mananciais superficiais (LIBÂNIO, 2010). Águas com cor elevada e baixa turbidez são mais difíceis de tratar, já que os flocos obtidos são mais leves e pequenos, dificultando a sedimentação. Cabe salientar ainda que, Libânio (2010) recomenda a determinação conjunta entre pH e cor, pois a menores valores de pH relacionam-se maior intensidade de cor verdadeira, sendo esta indicadora da concentração de matéria orgânica.

O VMP da cor aparente para a água destinada ao consumo humano é de 15 uH e seu significado sanitário relaciona-se principalmente com a manutenção da concentração residual de cloro na rede de distribuição e ao potencial de formação subprodutos com potencial cancerígeno. A Resolução do Conama 357/2005 faz referência somente a cor verdadeira, motivo pelo qual não foi possível realizar a comparação dos mananciais com os limites para cada classe, pois as ETAs analisam a cor aparente, parâmetro legal de referência e de fácil determinação operacional.

Já para a turbidez e para os sólidos totais o menor valor foi observado na barragem utilizada como manancial de Camaquã, visto que o ambiente lótico favorece a sedimentação das partículas que compõem estas variáveis. Contudo, verificou-se o maior valor para turbidez no manancial de Capão do Leão e para a variável sólidos totais o maior valor ocorreu no manancial de Rio Grande. Turbidez elevada implica em maior consumo de produtos químicos nas ETAs, elevando o custo de tratamento das águas.

Segundo De Souza (2015) encontrou valores semelhantes de turbidez no ponto da entrada do Canal adutor de Rio Grande, variando entre 30 a 60 uT, no período de baixa e alta pluviosidade, respectivamente, para o ano de 2013. Para as águas subterrâneas, Libânio (2010) relata que é comum encontrar turbidez abaixo de 1,0 uT,

o que não ocorreu para este manancial, visto que os valores variaram entre 3,2 uT a 48 uT, ratificando a necessidade da eficaz adequação deste parâmetro, visto que a turbidez da água na saída do tratamento não deve exceder a 1,0 uT, de acordo com a Portaria de Consolidação 05/2017-MS.

O pH é um parâmetro de suma relevância no campo do saneamento ambiental devido a sua influência no equilíbrio químico e nos processos unitários do tratamento de água, como a coagulação e a floculação, que dependem do pH ideal para que as partículas coloidais possuam menor quantidade de carga superficial eletrostática. Contribui de forma direta sobre os ecossistemas aquáticos naturais e indireta pois pode, em determinadas faixas de pH, favorecer a precipitação de metais pesados e interferir na solubilidade de nutrientes (CETESB, 2017; FREITAS, 2017; SOUZA, 2015). A seguir (Tabela 17) verifica-se a estatística descritiva para os diferentes mananciais.

Tabela 17. Estatística descritiva para a variável pH para os diferentes mananciais.

FV	pH			
	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Estatística descritiva</i>				
<i>Mín.</i>	6,70	7,00	6,80	6,60
<i>Média</i>	7,09	7,35	7,16	7,39
<i>Máx.</i>	8,10	7,70	7,60	8,20
<i>D_P</i>	0,43	0,23	0,29	0,40
<i>Cv (%)</i>	35,74	3,12	4,06	5,36

Percebe-se que a faixa de pH encontrada nos mananciais do estudo variou entre os valores 6,6 de mínimo e 8,2 de máximo, ambos resultados obtidos no manancial que abastece Rio Grande. O maior coeficiente de variação foi encontrado para o manancial subterrâneo de Cristal. A menor variação de pH foi encontrada no manancial do tipo represa, que abastece Camaquã.

Souza (2015) ao realizar análises de água no Canal São Gonçalo, encontrou valores médios de 6,8 no período de alta pluviosidade e 7,6 no período de baixa pluviosidade, corroborando com este estudo. Melo (2019), ao analisar dados de ETAs em 3 estados encontrou resultados de pH da água bruta na faixa de 6 a 8. De acordo com Libânio (2010) os resultados se encontram dentro do intervalo que as águas naturais de superfície apresentam, que é de 6,0 a 8,5.

Outra variável estudada, refere-se a matéria orgânica em águas naturais, composta de substâncias húmicas (ácidos húmicos e fúlvicos de origem vegetal) e

não húmicas (proteínas, carboidratos, algas, aminoácidos, ácidos carboxílicos e hidrocarbonetos). Em mananciais menos impactados por atividades antrópicas ou em que não há florações de algas prevalecem as substâncias húmicas na composição da matéria orgânica, sendo os ácidos fúlvicos presentes na matéria orgânica menos susceptíveis à etapa de coagulação no tratamento da água (LIBÂNIO, 2010). Na Tabela 18 encontra-se a estatística descritiva para esta variável.

Tabela 18. Estatística descritiva da variável matéria orgânica para os diferentes mananciais.

FV	Matéria orgânica (mg/L)			
	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Estatística descritiva</i>				
<i>Mín.</i>	0,80	3,00	3,00	2,00
<i>Média</i>	1,15	4,25	5,25	8,58
<i>Máx.</i>	2,00	7,00	10,00	12,00
<i>D_P</i>	0,41	0,96	2,42	2,61
<i>Cv (%)</i>	35,74	22,71	46,03	30,40

Sendo: FV: fonte de variação; Mín: valores mínimos; Máx: valores máximos; D_p: desvio padrão; Cv: coeficiente de variação em %.

A menor concentração de matéria orgânica foi encontrada no manancial subterrâneo de Cristal, com aproximadamente 0,80 mg/L, enquanto que a máxima foi encontrada para o manancial de Rio Grande, chegando a 12 mg/L, por conta do transbordo para o Canal São Gonçalo de água das áreas alagadiças que ocorrem em períodos de maior precipitação e transbordam para dentro do Canal São Gonçalo, ocasionando aumento na matéria orgânica e cor, pela decomposição vegetal, com consequente redução de pH.

Em Minas Gerais, no manancial de Juiz de Fora, Rocha e Pereira (2016) na determinação do oxigênio consumido, outra forma que a variável matéria orgânica é conhecida, encontraram resultados entre 2,39 mg/L e 3,03 mg/L, bem inferiores aos obtidos nos mananciais analisados, indicando elevada presença de matéria orgânica nos cursos d'água.

Não há na legislação valor de referência para esta variável diretamente, embora a determinação do oxigênio consumido em meio ácido seja relevante nas ETAs, pois sua presença além de ter potencial de formação de subprodutos como os trihalometanos, pode conferir odor e sabor nas águas, interferir na remoção de ferro e manganês e ainda, contribuir para o desenvolvimento de biofilmes na rede de distribuição (LIBÂNIO, 2010).

O fósforo é um macronutriente essencial ao desenvolvimento biológico e seus compostos surgem nas águas superficiais por meio do arraste de fertilizantes agriculturáveis e pelo lançamento de efluentes domésticos e industriais e, em conjunto com as diferentes formas de nitrogênio, é responsável pela eutrofização de cursos d'água e reservatórios, tornando-o um parâmetro imprescindível no monitoramento da qualidade das águas, embora sem padrões para águas destinadas ao consumo humano (CETESB, 2017; LIBÂNIO, 2010). Na Tabela 19 segue a estatística descritiva para esta variável.

Tabela 19. Estatística descritiva da variável PT para os diferentes mananciais.

FV	Fósforo total (mg/L)			
	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Estatística descritiva</i>				
<i>Mín.</i>	0,06	0,02	0,04	0,02
<i>Média</i>	0,18	0,06	0,15	0,08
<i>Máx.</i>	0,58	0,32	0,30	0,17
<i>D_P</i>	0,13	0,08	0,07	0,04
<i>Cv (%)</i>	73,97	31,05	45,03	48,76

Sendo: FV: fonte de variação; Mín: valores mínimos; Máx: valores máximos; D_p: desvio padrão; Cv: coeficiente de variação em %.

Os menores valores para a variável PT foram verificados nos mananciais de Camaquã e Rio Grande, enquanto que o valor máximo ocorreu no manancial subterrâneo de Cristal. Embora o PT não possua padrão de potabilidade, sua mensuração se relaciona diretamente com parâmetros da água que se destina ao consumo humano, como a frequência de monitoramento das cianobactérias nos mananciais de abastecimento de água e as cianotoxinas, visto que é o principal nutriente responsável pela eutrofização, fenômeno em que há o crescimento excessivo de algas e cianobactérias, que em decomposição, liberam saxitoxinas e microcistinas, neurotóxicas e hepatóxicas, respectivamente, que representam sérios riscos à saúde (LIBÂNIO, 2010).

Em outros mananciais, como a Represa São Pedro, em Minas Gerais, foram encontrados valores médios de 0,40 mg/L em período chuvoso a 1,04 mg/L em período seco, atribuindo a elevada concentração encontrada a fontes pontuais, como esgotos. Já na Represa João Penido, as concentrações variaram entre 0,009 mg/L e 0,07 mg/L relacionados a falta de medidas de proteção ao manancial, como a mata ciliar (ROCHA, SILVA e FREITAS, 2017).

Souza (2015) encontrou concentrações de fosfato no Canal São Gonçalo que alcançaram 2,5 mg/L na área urbana de Pelotas, em local de confluência de afluente que recebe aporte de efluente doméstico. Segundo Libânio (2010), nas águas subterrâneas a percolação e o armazenamento nos interstícios do solo em áreas com menor interferência pela ação antrópica, as concentrações de fosfato podem ser maiores que em águas superficiais, corroborando com o encontrado neste estudo.

O nitrogênio é o gás mais abundante na atmosfera terrestre e assim como o fósforo, é um macronutriente indispensável para o crescimento de organismos aquáticos, entretanto, dependendo dos seus teores traz diversas consequências nocivas ao meio aquático e também aos seres humanos. Pode ser encontrado nas formas de nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato, dependendo do seu estado de oxidação (CETESB, 2017), sendo que nos mananciais estudados utilizou-se o nitrato (Tabela 20), parâmetro que em concentrações acima de 10 mg/L se torna tóxico e pode causar a doença metahemoglobinemia infantil, letal para crianças.

Tabela 20. Estatística descritiva da variável nitrato para os diferentes mananciais.

FV	Nitrato (mg/L)			
	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Estatística descritiva</i>				
<i>Mín.</i>	0,00	0,00	0,40	0,04
<i>Média</i>	0,04	0,44	0,58	0,30
<i>Máx.</i>	0,08	1,48	1,00	1,01
<i>D_P</i>	0,03	0,42	0,19	0,34
<i>Cv (%)</i>	67,04	94,59	32,73	115,44

De acordo com os valores, pode-se verificar que estes variaram de zero no manancial subterrâneo e no reservatório a 1,48 mg/L para o reservatório de Camaquã. Com isso, constata-se que os mananciais não estão impactados por esta variável, que quando presente em maiores concentrações, indica poluição remota principalmente por efluentes domésticos.

Souza (2015) encontrou valores médios de 15,84 mg/L em período chuvoso e 2,69 mg/L em período seco no Canal São Gonçalo, considerando os pontos de coleta em áreas urbanas. Martins *et. al.* (2017) ao analisar amostras do reservatório construído no Rio Setúbal, Minas Gerais, encontrou valores de 0,40 mg/L a 3,1 mg/L. Medeiros *et. al.* (2018) analisaram as águas do Rio Longá, Piauí, encontrando médias

entre 0,72 mg/L e 0,93 mg/L em diferentes períodos, indicando ausência de contaminação significativa.

O cloreto é um ânion que se apresenta em águas subterrâneas através da percolação das águas através de solos e rochas e em águas superficiais seu incremento ocorre pelas descargas de esgotos sanitários, que apresentam valores superiores a 15 mg/L (CETESB, 2017). Na Tabela 21 encontra-se a estatística descritiva para essa variável nos diferentes mananciais.

Tabela 21. Estatística descritiva para a variável cloretos para os diferentes mananciais.

FV	Cloretos (mg/L)			
<i>Estatística descritiva</i>	Cristal	Camaquã	Capão do Leão	Rio Grande
<i>Mín.</i>	14,00	3,24	6,2	3,29
<i>Média</i>	15,44	3,97	7,6	10,96
<i>Máx.</i>	16,90	4,71	9,3	14,60
<i>D_P</i>	0,87	0,46	1,02	3,08
<i>Cv (%)</i>	5,66	11,68	13,37	28,08

Segundo os resultados apresentados acima a o valor mínimo de 3,24 mg/L na barragem que abastece Camaquã e o valor máximo de 16,90 mg/L para o manancial subterrâneo. Valores superiores foram encontrados por Rocha e Pereira (2016), entre 9,10 mg/L (seca) a 10,85 mg/L (chuva) em manancial do tipo represa utilizado em Minas Gerais, em que a associação do cloreto com o PT indicou lançamento de efluentes domésticos.

Em águas subterrâneas utilizadas para o consumo humano em Macapá, no Amapá, Grott *et. al.* (2018) encontraram valores máximos de 300 mg/L de cloretos, com poços vulneráveis ao período chuvoso, evidenciando situação precária para esta variável naquele local o que não foi detectado para o manancial de Cristal na análise desta variável.

Os padrões de referência tanto para água potável, quanto para o enquadramento dos cursos d'água superficiais e subterrâneos limitam em 250 mg/L a concentração de cloretos, não havendo indicação de impactos desta variável nos mananciais analisados.

5.1 Análise multivariada

Para avaliar a distribuição dos dados, realizou-se o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk*, sendo apresentados na Tabela 22 os resultados encontrados.

Tabela 22. Teste de normalidade *Shapiro-Wilk* para os diferentes mananciais.

Variáveis	Teste de Normalidade			
	Cristal valor p	Camaquã valor p	Capão do Leão valor p	Rio Grande valor p
Temperatura do ar	0,100	0,282	<u>0,017</u>	0,350
Temperatura da água	0,481	<u>0,023</u>	0,282	<u>0,020</u>
Al Total	<u>0,000</u>	<u>0,016</u>	<u>0,000</u>	0,988
Fe Total	<u>0,048</u>	0,181	<u>0,000</u>	0,968
Mn Total	0,181	0,143	<u>0,004</u>	0,537
Alcalinidade	<u>0,002</u>	0,293	0,563	0,335
Ca Total	0,271	0,230	0,926	0,315
Cor	<u>0,002</u>	0,279	<u>0,001</u>	<u>0,009</u>
Dureza	0,114	0,530	0,965	0,811
P Total	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	0,753	0,222
Mg Total	0,437	0,867	<u>0,002</u>	0,619
Matéria Orgânica	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,016</u>	0,239
pH	<u>0,003</u>	0,531	0,262	0,190
Sólidos Totais	0,277	0,243	<u>0,032</u>	0,404
Turbidez	<u>0,000</u>	0,097	<u>0,000</u>	0,206
Fe Dissolvido	0,493	<u>0,016</u>	0,421	<u>0,019</u>
Nitrato	0,135	<u>0,040</u>	0,503	<u>0,001</u>
Cloretos	0,966	0,699	0,747	0,052
Alumínio dissolvido	NA	<u>0,015</u>	<u>0,000</u>	<u>0,001</u>

*Valores sublinhados apontam distribuição não-normal. NA: Não analisado.

O Al dissolvido não foi detectado no manancial subterrâneo e, portanto, não fez parte deste teste. Grande parte das variáveis apresentou comportamento assimétrico, ou seja, a distribuição encontrada foi a não-normal, com exceção das variáveis cálcio total, dureza e cloretos, justificando, portanto, o emprego de testes não paramétricos neste trabalho.

O resultado obtido pela aplicação do teste de *Kruskal-Wallis* não apresentou variação estatisticamente significativa entre os anos para nenhum dos mananciais. Já entre as estações, para o manancial subterrâneo de Cristal as variáveis temperatura da água e do ar apresentaram variação estatisticamente significativa. Para o manancial de Capão do Leão, não houve variação significativa. Já para o manancial

do tipo barragem que abastece Camaquã, somente apresentaram variação estatisticamente significativa as variáveis temperatura da água e do ar, manganês e cálcio. Ainda, para o manancial que fornece água ao município de Rio Grande, as variáveis manganês, temperatura da água e do ar apresentaram variação estatisticamente significativa. Verifica-se de acordo com os resultados encontrados, que a influência sazonal praticamente não ocorreu para os diferentes tipos de mananciais deste estudo, o que pode estar relacionado com o período em que as coletas são realizadas e pela regularidade da distribuição de chuvas.

O coeficiente de correlação de *Spearman* foi aplicado tendo em vista que as variáveis não seguiram uma distribuição normal, podendo ser aplicado a um número pequeno de amostras, permitindo detectar a dependência estatística e a tendência monotônica de concentrações químicas entre duas variáveis. A intensidade da correlação varia de -1 a 1, se o resultado for zero, indica ausência de correlação. Quanto mais próximo de 1, representa correlação positiva e maior é a associação entre as variáveis, indicando que, quando uma variável aumenta, a outra também aumenta. Já a correlação próxima de -1, evidencia que quando uma variável aumenta, a outra diminui. Considerou-se na avaliação valores acima de 0,5 para indicar forte correlação entre as variáveis (FREITAS, 2017; RIBEIRO *et. al.*, 2017). Na Tabela 23 é possível verificar os resultados encontrados para a matriz de correlação do manancial subterrâneo de Cristal.

Tabela 23. Correlação entre as variáveis do manancial subterrâneo de Cristal, RS.

Parâmetros	Estação	Ano	T ar	T água	Al Total	Fe Total	Mn Total	Alcalinidade de	Ca Total	Cor	Dureza	P Total	Mg Total	MO	pH	Sólidos Totais	Turbidez	Fe Dissolvido	Nitrato	Cloretos
Estação	1,000																			
Ano	-	1,000																		
T ar	-0,828	-	1,000																	
T água	-0,852	-	0,872	1,000																
Al Total	-	-	-	-	1,000															
Fe Total	-	-	-	-	0,561	1,000														
Mn Total	-	-	-	-	0,506	0,870	1,000													
Alcalinidade	-	0,828	-	-	-	-	-	1,000												
Ca Total	-	-	-	-	-	0,553	0,588	-	1,000											
Cor	-	0,591	-	-	-	-	0,536	-	0,561	1,000										
Dureza	-	-	-	-	-	-	0,587	-	0,729	0,692	1,000									
P Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000								
Mg Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,615	-	1,000							
Matéria Orgânica	-	-	-	-	0,509	0,667	0,512	-	-	-	-	-	-	1,000						
pH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,518	-	-	-	-	1,000					
Sólidos Totais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000				
Turbidez	-0,531	-	0,501	0,526	-	-	0,518	-	-	0,760	-	-	-	-	-	-	1,000			
Fe Dissolvido	-	-	-	-	-	-	-	-	0,640	0,542	-	-	-	-	-	-0,515	-	1,000		
Nitrato	-	-	-	0,523	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,555	-	-	-	1,000	
Cloretos	-0,520	-	0,638	0,768	0,548	-	-	-	-0,595	-	-	-	-	-	0,608	-	-	-0,583	0,619	1,000

Das variáveis analisadas, apenas a variável PT não apresentou correlação com nenhuma outra variável. É possível verificar que houve aumento na cor e na alcalinidade no decorrer dos anos. A temperatura do ar e da água se correlacionaram de forma positiva e elevada, o que já era esperado, visto que intrinsecamente, quando a temperatura do ar sobe, a da água se comporta da mesma forma. Com relação a estação, esta obteve correlação negativa com as temperaturas do ar e da água, turbidez e cloretos, permitindo inferir que as mesmas tiveram suas concentrações reduzidas nas coletas realizadas nas estações frias.

O nitrato possui alta mobilidade em sistemas aeróbios de águas subterrâneas, como em aquíferos onde os níveis estáticos apresentam-se pouco profundos, como no caso deste manancial. Em correlação com os cloretos, podem indicar fonte de contaminação por atividade antrópica (DA FRANCA *et. al.*, 2018; GOMES e CAVALCANTE, 2017). Estas variáveis ainda se correlacionaram de forma positiva com o pH e com a temperatura da água, possibilitando inferir uma maior disponibilidade desses íons em virtude do aumento da temperatura.

A cor e a turbidez apresentaram correlação com o Mn total, indicando que este metal contribuiu para os valores elevados encontrados, o que comumente ocorre pela presença de Fe dissolvido, que resultou em correlação positiva somente com a cor e negativa com os sólidos totais (LIBÂNIO, 2010). A turbidez se correlacionou de forma positiva com as temperaturas do ar e da água, evidenciando aumento nas amostras coletadas na estação do verão e com a cor, demonstrando fragilidade na proteção do poço, visto que seus perímetros de proteção possuem predominância de solo exposto, corroborando com os resultados nos poços analisados por Franca (2018).

A matéria orgânica demonstrou correlação com os metais Al total, Fe total e Mn total, sendo relacionada à sua capacidade de complexação com estes metais. A dureza, que indica a concentração de cátions multivalentes na água e é ocasionada pela combinação preponderante dos íons Ca total e Mg total, e em menor magnitude com o manganês, apresentou correlação positiva entre estas variáveis, o que pode ocorrer devido ao comportamento geoquímico semelhante das mesmas. Apresentou correlação positiva com a cor, provavelmente em função do Mn.

O Al total apresentou correlação com o Fe e o Mn total, podendo estar relacionado ao tipo de solo, visto que não se verificou interferência da precipitação.

Na Tabela 24 encontra-se a correlação entre as variáveis para o manancial superficial utilizado para o abastecimento do município de Capão do Leão.

Tabela 24. Correlação entre as variáveis do manancial superficial de Capão do Leão, RS.

Parâmetros	Estação	Ano	T ar	T água	Al Total	Fe Total	Mn Total	Alcalinidade	Ca Total	Cor	Dureza	P Total	Mg Total	MO	pH	Sólidos Totais	Turbidez	Fe Dissolvido	Nitrato	Cloretos	Al dissolvido
Estação	1,000																				
Ano	-	1,000																			
T ar	-	-	1,000																		
T água	-	-	0,528	1,000																	
Al Total	-	-	-	-	1,000																
Fe Total	-	0,666	-	-	0,784	1,000															
Mn Total	-	-	-	-	-	-	1,000														
Alcalinidade	-	0,525	-	-	-	-	0,733	1,000													
Ca Total	-	-	-	0,517	-	-	-	-	1,000												
Cor	-0,535	-	-	-	0,818	0,801	-	-	-	1,000											
Dureza	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000										
P Total	-	-	-	-	-	0,658	-	-	-	0,725	-	1,000									
Mg Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,734	-	1,000								
Matéria Orgânica	-	0,509	-	-	0,758	0,906	-	-	-	0,907	-	0,751	-	1,000							
pH	-	-	-	-0,612	-0,516	-	-	-	-0,549	-0,548	-	-	-	-	1,000						
Sólidos Totais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000					
Turbidez	-	0,772	-	-	0,725	0,921	-	-	-	0,677	-	0,578	-	0,780	-	-	1,000				
Fe Dissolvido	-0,693	-	0,570	-	0,667	-	-	-	-	0,627	-	-	-	0,597	-0,551	-	-	1,000			
Nitrato	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,517	-	0,653	0,615	-	-	-	-	1,000		
Cloretos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,567	-	0,743	-	-	-	-	0,750	1,000	
Alumínio dissolvido	-	-	0,826	0,786	-	-	-	-	-	-	-0,686	-	-0,592	-	-	-	0,500	-	-	-	1,000

De acordo com os resultados apresentados acima, apenas a variável sólidos totais não apresentou correlação com nenhuma outra variável. Encontrou-se correlação positiva do ano com as variáveis Fe total, alcalinidade, matéria orgânica e turbidez, demonstrando incremento temporal destas substâncias. A temperatura do ar apresentou correlação com a temperatura da água e com o Fe dissolvido e Al dissolvido, sendo associada a influência que exerce na solubilização destes metais.

Já o Al total e o Fe total se correlacionaram de forma positiva e forte entre si, e ambas com a matéria orgânica, visto que esta variável se associa formando complexos com os íons metálicos. Ocorreu relação também entre estes metais com a cor e a turbidez, associando sua origem a períodos de coleta com maior precipitação, evidenciado também no estudo de Oliveira e Cunha (2014).

Verificou-se correlação positiva da cor com o P total, matéria orgânica, turbidez e Fe dissolvido e negativa com o pH, demonstrando predominância de ácidos na composição da matéria orgânica. Houve correlação da matéria orgânica com o Fe dissolvido, turbidez, nitrato e cloretos, assim como o PT demonstrou estar fortemente associado com as variáveis matéria orgânica, turbidez, cor e cloretos, o que pode associado ao carreamento de material alóctone para o curso d'água, oriundo dos processos erosivos.

A dureza, o nitrato e o Mg total se correlacionaram positivamente, assim como a alcalinidade com a variável Mn total e o Mg total com o nitrato. Este, por sua vez, apresentou correlação moderada com o cloreto, demonstrando influência de fontes antropogênicas, assim como encontrado por Souza e Gastaldini (2014) e Rocha, Silva e Freitas (2017).

Na Tabela 25 é possível visualizar a correlação entre as variáveis para o manancial superficial de Camaquã.

Tabela 25. Correlação entre as variáveis do manancial superficial de Camaquã, RS.

Parâmetros	Estação	Ano	T ar	T água	Al Total	Fe Total	Mn Total	Alcalinidade	Ca Total	Cor	Dureza	P Total	Mg Total	MO	pH	Sólidos Totais	Turbidez	Fe Dissolvido	Nitrato	Cloretos	Al dissolvido
Estação	1,000																				
Ano	-	1,000																			
T ar	-0,799	-	1,000																		
T água	-0,877	-	0,851	1,000																	
Al Total	-	-	-	-	1,000																
Fe Total	-	-	-	-	0,902	1,000															
Mn Total	-0,869	-	0,551	0,765	-	-	1,000														
Alcalinidade	-	-	-	-	-	-	-	1,000													
Ca Total	-0,653	-	-	-	-0,515	-	0,813	0,608	1,000												
Cor	-	-	-0,625	-	0,853	0,765	-	-	0,517	1,000											
Dureza	-	-	-	-	-	-	-	-	0,518	-	1,000										
P Total	-	-0,525	-	-	0,716	0,730	-	-	-	0,706	-	1,000									
Mg Total	-	-	-	-	-	-	-	-0,520	-	-	-	-	1,000								
Matéria Orgânica	-	-	-	-	0,661	0,514	-	-	-	-	-	0,649	-	1,000							
pH	-	-	-	-	-	-	-	0,549	-	-	-	-	-	-	1,000						
Sólidos Totais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000					
Turbidez	-	-	-0,547	-	0,888	0,790	-	-	-0,599	0,849	-	0,765	-	0,578	-	-	1,000				
Fe Dissolvido	-	-0,638	-	-	-	0,515	0,503	-	-	-	-	-	-	-	-0,610	-	-	1,000			
Nitrato	-	-	-0,530	-	0,518	-	-	-	-	0,525	-0,532	-	-0,541	-	-	0,555	0,800	-	1,000		
Cloretos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,560	-	0,579	-	-	-	-	1,000	
Alumínio dissolvido	-	-	-	-	0,721	0,745	-	-0,590	-	0,523	-	0,626	-	0,623	-0,814	-	0,636	0,709	-	-	1,000

Para este manancial todas as variáveis apresentaram correlação entre si. Não houve correlação positiva das variáveis com a estação e com os anos. A estação influenciou nas temperaturas do ar e da água, assim como na redução das concentrações de Mn total e Ca total nas amostras coletadas no período de inverno. As temperaturas se correlacionaram com o Mn total, indicando influência da temperatura na concentração do Mn total e sua distribuição no reservatório.

Houve correlação positiva entre a alcalinidade, o Ca total e o pH, bem como entre a dureza e o cálcio, visto que estes sais compõem ambas variáveis, podendo ter origem na dissolução das rochas.

O P total apresentou correlação com o Al total e dissolvido, Fe total, cor, matéria orgânica e turbidez, possibilitando relacionar a ligação destas variáveis com a atividade agrícola, uma fonte potencial de PT devido ao uso de fertilizantes, visto que a exposição do solo permite o carreamento destas substâncias, comprometendo a qualidade do manancial, evidenciado por Bucci *et. al.* (2015) ao analisar as águas da Represa João Penido, em Minas Gerais.

O Al total associou-se ao Fe total, e ambas demonstraram correlação com as variáveis cor, matéria orgânica, turbidez e com o Al dissolvido, que por sua vez se correlacionou com o Fe dissolvido, matéria orgânica, cor e turbidez. Verificou-se também correlação entre o nitrato com a cor, turbidez e sólidos totais, da turbidez com a cor e a matéria orgânica, além do Fe dissolvido com o Fe total e Mn total. Tais associações de variáveis permitem relacionar a facilidade de erosão característica do tipo de solo existente na região do reservatório, incrementada pela falta de mata ciliar, aportando material alóctone ao reservatório. Ainda, o pH se correlacionou de forma negativa com o Al dissolvido e Fe dissolvido e positiva com o nitrato, evidenciando que quanto maior o pH, menor as concentrações destes metais e maior do nitrato.

Para o manancial superficial de Rio Grande os resultados da análise de correlação entre as variáveis encontram-se na Tabela 26.

Tabela 26. Correlação entre as variáveis do manancial superficial de Rio Grande, RS.

Parâmetros	Estação	Ano	T ar	T água	Al Total	Fe Total	Mn Total	Alcalinidade	Ca Total	Cor	Dureza	P Total	Mg Total	MO	pH	Sólidos Totais	Turbidez	Fe Dissolvido	Nitrato	Cloretos	Al dissolvido
Estação	1,000																				
Ano	-	1,000																			
T ar	-0,874	-	1,000																		
T água	-0,888	-	0,883	1,000																	
Al Total	-	-	-	-	1,000																
Fe Total	-0,605	-	-	0,582	0,891	1,000															
Mn Total	-0,869	-	0,728	0,850	0,529	0,725	1,000														
Alcalinidade	-0,752	-	-	0,627	-	0,616	0,721	1,000													
Ca Total	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000												
Cor	-	-	-0,508	-	-	-	-	-	-	1,000											
Dureza	-	-	-	-	-	-	-	-	0,690	-	1,000										
P Total	-	0,721	-	-	0,644	0,525	-	0,675	-	-	-	1,000									
Mg Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,872	-	1,000								
Matéria Orgânica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000							
pH	-	-	-0,567	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,527	1,000						
Sólidos Totais	-	-	-	-	0,778	0,680	-	-	-	-	-	0,566	-	-	-	1,000					
Turbidez	-	0,610	-	-	0,865	0,671	-	-	-	-	-	0,870	-	-	-	0,772	1,000				
Fe Dissolvido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000			
Nitrato	-0,637	-	0,564	-	-	0,557	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,633	1,000		
Cloretos	-	-	-	-	-	-	-0,555	-	-	-	-	-	-	-0,603	-	-	-	-	-	1,000	
Alumínio dissolvido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,500	-	-	-	-	-	-	-	0,814	-	-	1,000

Para o manancial de Rio Grande todas as variáveis demonstraram correlação com no mínimo uma outra variável. A estação apresentou correlação negativa com as variáveis temperatura do ar e da água, Fe total e Mn total, além da alcalinidade e do nitrato, possibilitando inferir que nas amostras coletadas na estação do inverno as concentrações destas substâncias reduziram. Ainda o Fe dissolvido se correlacionou com o nitrato e com o Al dissolvido. Já a variável ano se correlacionou positivamente com o PT e a turbidez, evidenciando tendência de acréscimo temporal em suas concentrações.

Com relação aos metais, verificou-se correlação positiva do Al e Fe total com o Mn total, P total, sólidos totais e turbidez, associando seu incremento ao corpo d'água através do escoamento superficial. Ainda, os sólidos totais se correlacionaram com a turbidez, o que não ocorreu para os demais mananciais, corroborando com o estudo de Souza (2015), que também evidenciou aporte de sólidos no manancial, principalmente próximo da Lagoa Mirim.

A dureza apresentou correlação com os minerais cálcio e magnésio, visto que estes fazem parte da sua composição. Já a alcalinidade demonstrou correlação positiva com o Fe total, Mn total e PT. O PT se correlacionou com a turbidez e sólidos totais, sendo relacionado comumente aos processos erosivos que contribuem para o incremento de partículas de solo aos corpos d'água, conforme encontrado por Malheiros (2012).

Com o intuito de compreender a grande quantidade de variáveis estudadas, realizou-se a análise de *cluster* que agrupa as variáveis de acordo com as suas similaridades dentro da classe e dissimilaridades entre as diferentes classes, exibindo alta homogeneidade dentro do *cluster* e alta heterogeneidade entre os *clusters*. Foi aplicada levando em consideração os dados das variáveis utilizados nas etapas anteriores, já padronizados e separados por manancial, conforme pode-se visualizar nas Figuras 7, 8, 9 e 10 a seguir.

concentrações de Fe total e Mn total. Ainda, pode-se inferir que na dureza e alcalinidade deste manancial prevalecem cátions multivalentes, como Ca total, Fe total e Mn total.

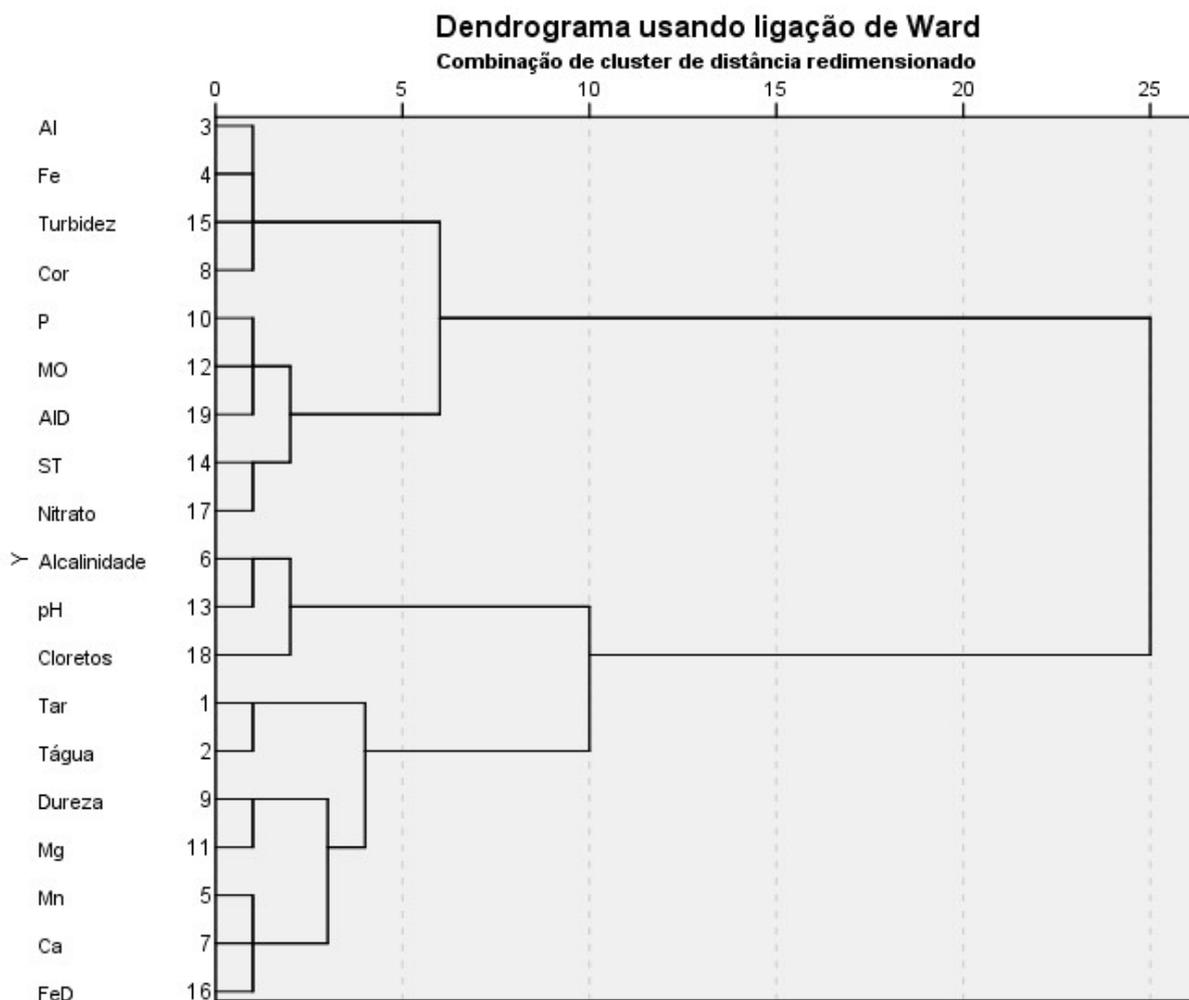


Figura 8. Análise de *cluster* para o manancial superficial de Camaquã.

Para a barragem do Arroio Duro as variáveis temperatura do ar e da água, Mn total, alcalinidade, Ca total, dureza, Mg total, pH e Fe dissolvido pertenceram ao grupo 1, em que predominaram os minerais. Já no grupo 2 as variáveis alocadas foram Al total, Fe total, cor, PT, MO, sólidos totais, turbidez, nitrato e Al dissolvido, geralmente associadas às alterações antropogênicas como a atividade agrícola existente ao redor da barragem, que possui áreas de seu perímetro sem mata ciliar, carreando substâncias para o seu interior, além da propensão de erosão do tipo de solo da região, conforme evidenciado também no Plano de Bacia Hidrográfica por Gama (2015).

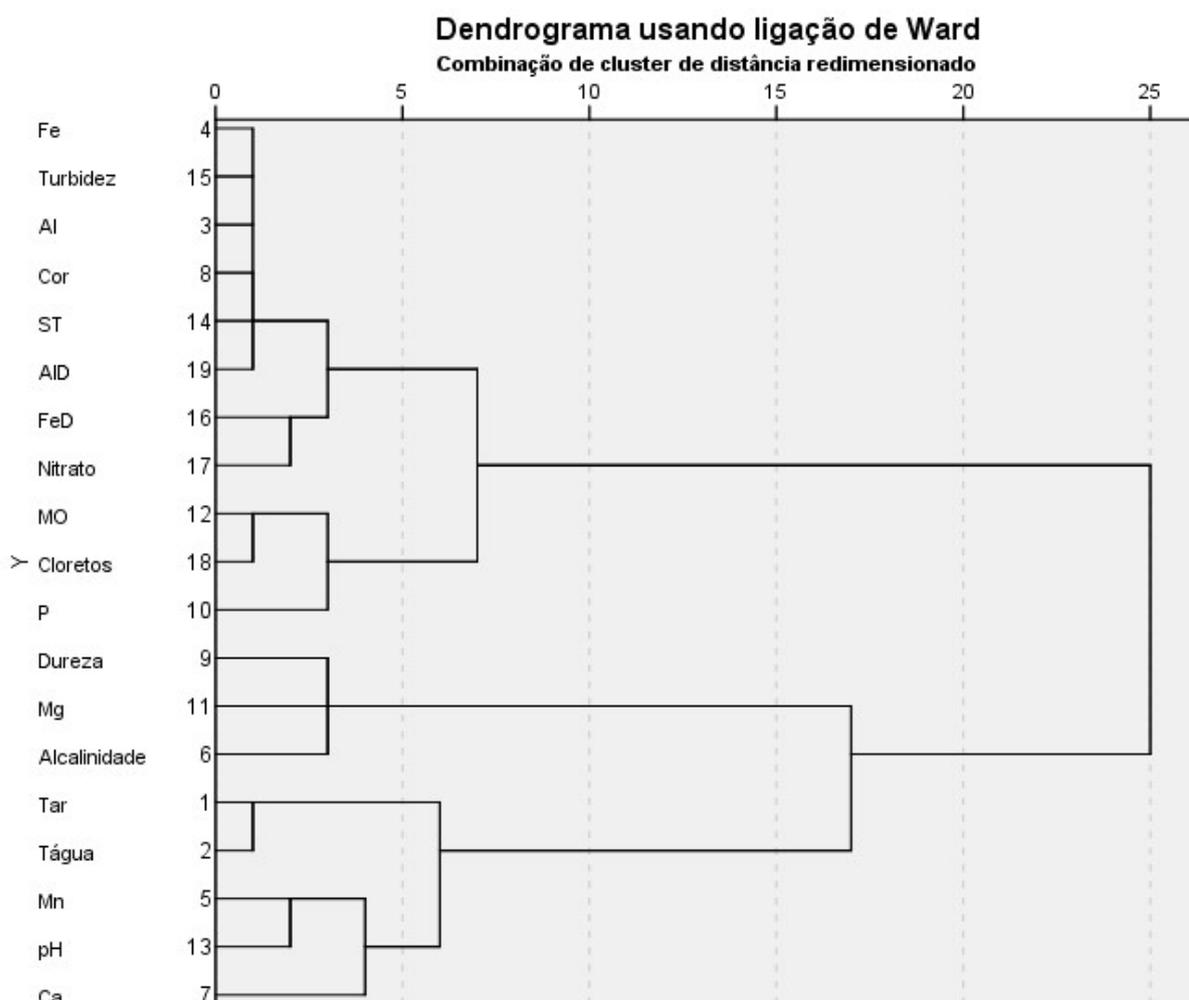


Figura 9. Análise de *cluster* para o manancial superficial de Capão do Leão.

No manancial de Capão do Leão as variáveis temperatura do ar e da água, Mn total, alcalinidade, Ca total, Mg total, dureza e pH pertenceram ao primeiro grupo, preponderando elementos minerais que compõe a alcalinidade e a dureza. No grupo 2 se situaram o Al total, Fe total, cor, PT, MO, sólidos totais, turbidez, Fe dissolvido, nitrato, cloretos e Al dissolvido, sendo que neste grupo preponderam as variáveis associadas a degradação da qualidade das águas por atividades antrópicas, como o arraste de fertilizantes usados na atividade agrícola, escoamento superficial e que também indicam possível contaminação por esgotos.

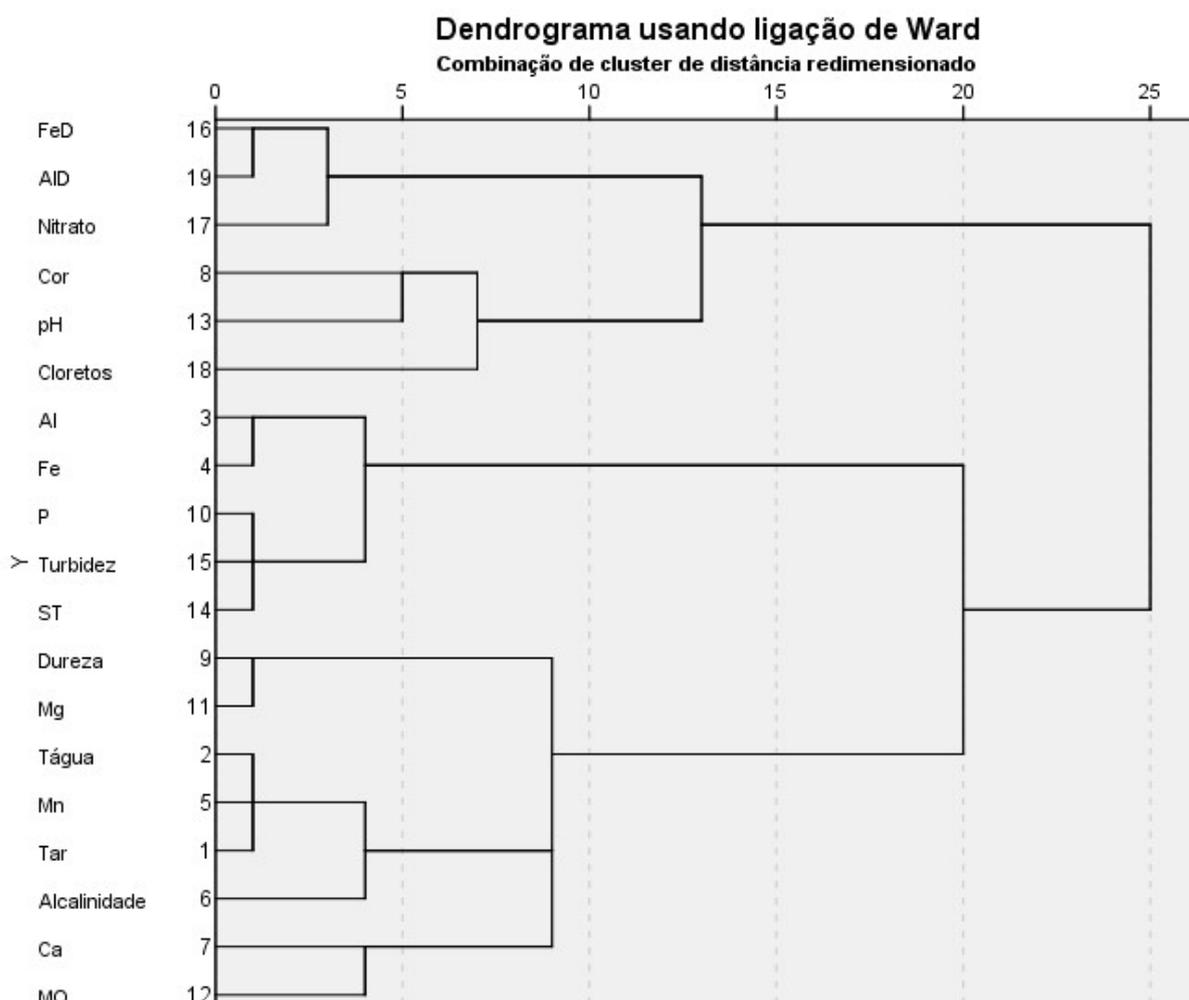


Figura 10. Análise de *cluster* para o manancial superficial de Rio Grande.

O agrupamento das variáveis no manancial de Rio Grande se distribuiu da seguinte forma: no grupo 1 enquadraram-se as variáveis temperatura do ar e da água, Al total, Fe total, Mn total, alcalinidade, Ca total, dureza, P total, Mg total, MO, turbidez e sólidos totais, preponderando neste grupo os minerais, metais totais e um dos principais parâmetros indicativos de degradação ambiental, o P total. No grupo 2 estão a cor, pH, Fe dissolvido, Al dissolvido, nitrato e cloretos.

Os mananciais superficiais apresentaram grupos semelhantes quanto à suas composições. No grupo 1 geralmente predominaram os minerais e metais presentes na dureza e alcalinidade, enquanto que no grupo 2 verificou-se a prevalência de variáveis que indicam algum tipo de degradação ambiental no corpo hídrico, associada principalmente ao manejo dos solos que já possuem potencial erosivo e que acabam carreando partículas e nutrientes para os corpos d'água.

5.2 Classificação dos mananciais superficiais

Para análise dos resultados e verificar o percentual de conformidade dos mananciais com a legislação, observou-se a Resolução CONAMA nº 357/05, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água trazendo valores para diversos parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Esta resolução, dispõe em seu Art. 15 que os valores máximos para a classe 2 são os mesmos aplicados à classe 1, com exceção de alguns parâmetros, tais como turbidez e P total para ambientes lênticos, dentre outros.

Embora a legislação estabeleça as faixas de valores para cada classe, ela não determina como classificar o corpo hídrico quando os parâmetros se encontram em diferentes classes. Portanto, neste estudo, levando em conta que o uso preponderante é o consumo humano, considerou-se a pior classe encontrada para cada parâmetro.

5.2.1 pH

Para os pontos amostrados correspondentes ao manancial que abastece o Capão do Leão, a barragem de Camaquã e o canal, que leva água bruta até Rio Grande, os resultados dos valores de pH estão apresentados na Figura 11.

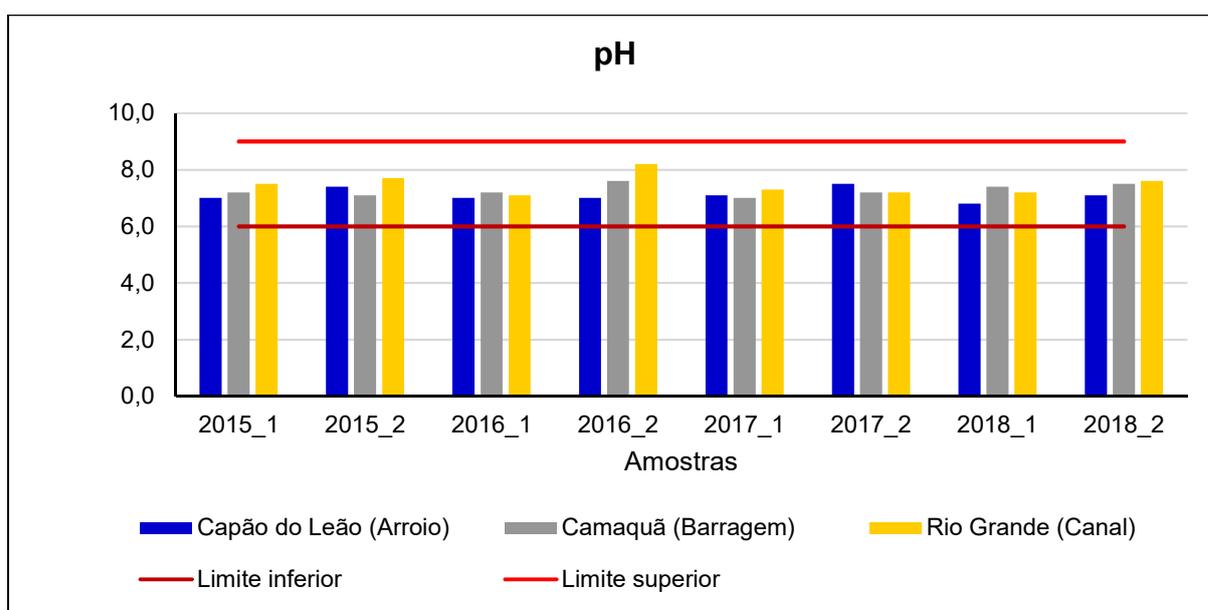


Figura 11. Valores de pH obtidos para os mananciais no período 2015 a 2018.

Percebe-se que para todos os pontos o pH permaneceu dentro da faixa estabelecida pela Resolução CONAMA 357/2005, que é entre 6,0 a 9,0 para as

classes 1, 2 e 3, atingindo 100% de conformidade para este parâmetro. Embora pareça aparentemente simples, o pH possui grande relevância para a manutenção de ecossistemas, é determinante para os processos de coagulação e desinfecção, influenciando ainda na durabilidade das redes de distribuição, já que as mesmas podem sofrer corrosão ou incrustação, dependendo do pH da água bruta e tratada.

5.2.2 Turbidez

A presença de turbidez além de afetar de forma adversa as comunidades biológicas aquáticas pela redução da passagem da luz, podendo prejudicar a fotossíntese. Mudanças bruscas em seus valores requerem maiores dosagens de coagulantes e auxiliares da coagulação para tornar a água potável ao consumo humano, aumentando os custos do processo de tratamento por consequência (VON SPERLING, 1996; CETESB, 2017).

Na Figura 12 pode-se verificar os resultados obtidos para os mananciais de Capão do Leão, Rio Grande e Camaquã para o parâmetro turbidez.

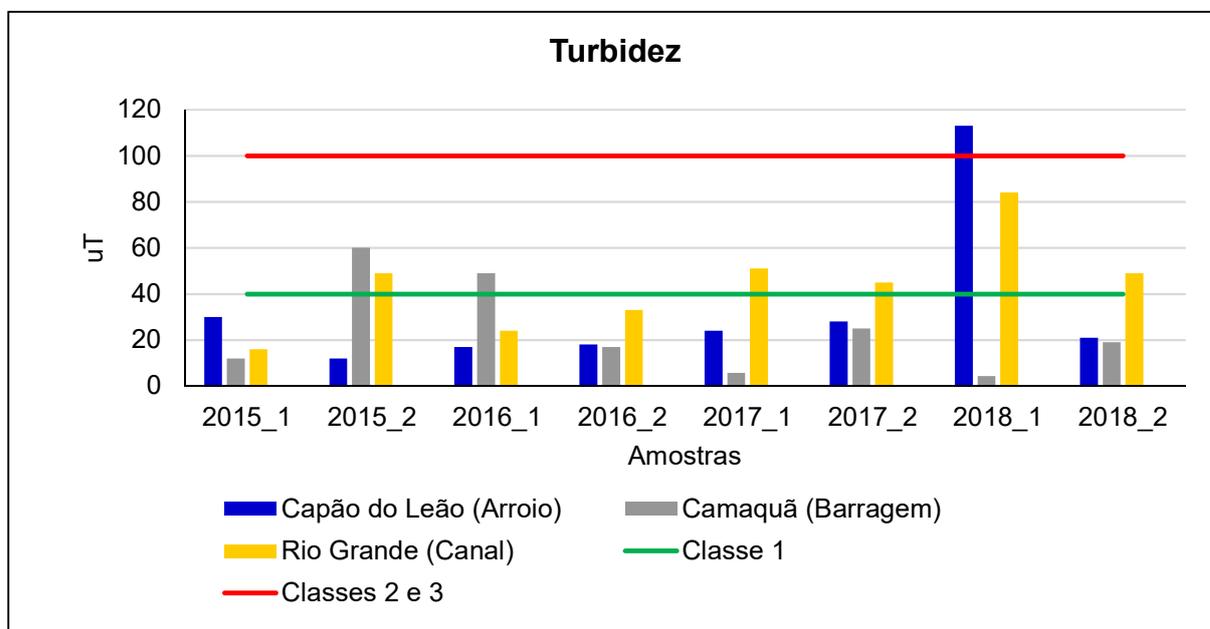


Figura 12. Valores de turbidez encontrados para os mananciais superficiais no período 2015 a 2018.

O maior valor encontrado foi no manancial de Capão do Leão, chegando a 113 uT, ultrapassando em uma das amostras, o limite estabelecido para as classes 2 e 3, que é de 100 uT. Portanto, para este manancial há predominância na classe 1, embora presente percentual de inconformidade de 12,5%. A turbidez alta encontrada ocorreu

na mesma amostra com o menor pH, sendo esta redução associada ao aumento da matéria orgânica introduzida nas águas pelo escoamento superficial causado pela precipitação (SOUZA, 2015).

Para o manancial de Rio Grande, predominou a classe 2, não sendo encontrada nenhuma amostra acima do limite da Resolução 357/2005, assim como para a barragem do Arroio Duro, em que a maioria dos resultados permaneceu na classe 1. Para águas naturais de superfície, conforme Libânio (2010), a turbidez natural de águas naturais geralmente varia entre 3 a 500 uT, corroborando com os resultados encontrados para os ambientes lóticos.

Já para represas, este mesmo autor relata turbidez frequente menor que 10 uT, o que não ocorreu para o manancial de Camaquã, em que 75% das amostras superaram este valor. Rocha, Silva e Freitas (2016) encontraram em uma represa de Minas Gerais valores variando entre 8,56 uT a 11,56 uT em período seco e chuvoso, respectivamente. Bucci *et. al.* obteve resultados que variaram de 0,10 uT a 7,73 uT em outra represa do mesmo estado, possibilitando inferir que o manancial de Camaquã possui elevada turbidez em virtude do solo propenso a erosão, intensificada pela falta de vegetação ciliar.

5.2.3 Manganês

Quando presente, o manganês desenvolve coloração negra na água e apresenta-se nos estados de oxidação Mn^{+2} , forma solúvel, e Mn^{+4} , forma insolúvel (CETESB, 2017). A água com presença de Mn em contato com o ar, proporciona sua oxidação à forma insolúvel, provocando alterações organolépticas, nos parâmetros cor, sabor e odor, principalmente, podendo causar objeção da população ao consumo da água distribuída (VON SPERLING, 1996). A Figura 13 mostra os resultados encontrados nas análises dos mananciais.

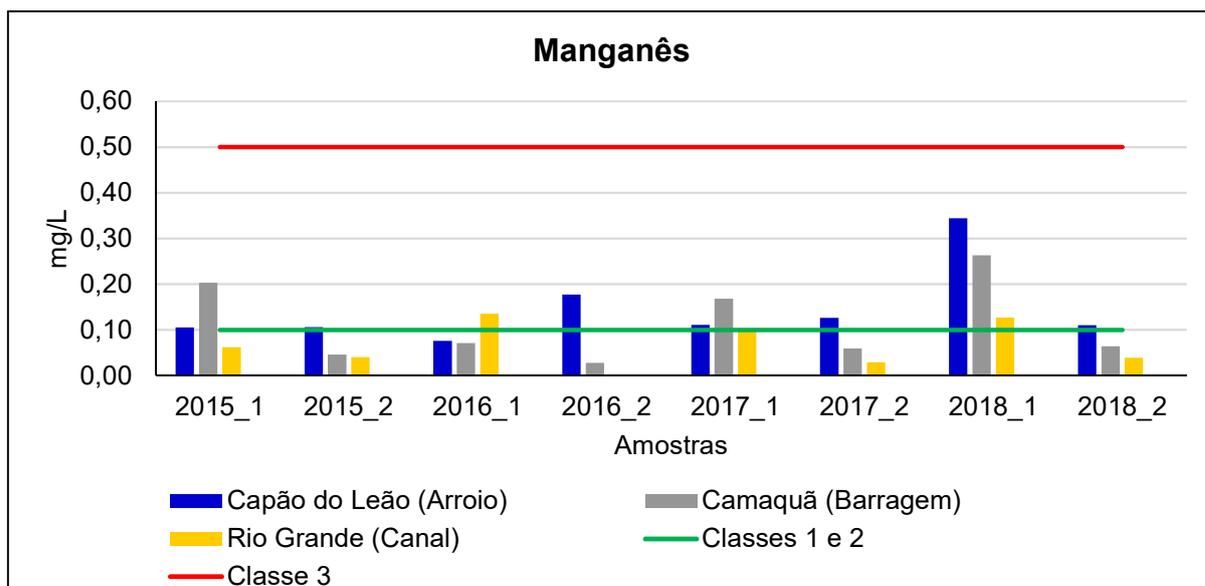


Figura 13. Valores de Mn obtidos para os mananciais superficiais no período 2015 a 2018.

De acordo com os resultados encontrados, todos ficaram abaixo do limite da classe 3, atendendo a classificação limite para o uso destinado ao consumo humano após tratamento convencional.

Quanto ao percentual de atendimento a classe de enquadramento, é possível verificar que 87,5% das amostras do Arroio Padre Doutor apresentaram resultado inconforme, superando o limite da classe 2, ratificando uma das hipóteses deste estudo, de que o manancial possui altas concentrações deste metal. Para a barragem de Camaquã, o percentual inconforme foi de 25% e para o Canal São Gonçalo 37,5% dos resultados não atenderam ao limite de valor estabelecido para a classe 2.

5.2.4 Ferro dissolvido

No que diz respeito ao tratamento de águas com presença de Fe, este exerce influência nas etapas de coagulação e decantação, podendo causar problemas que requer atenção dos responsáveis pelo tratamento de água (CETESB, 2017). Se presente juntamente com o Mn, causa inconvenientes de ordem estética e econômica, já que acima de 0,01 mg/L causam sabor adstringente e acima de 0,05 mg/L é possível que apareçam manchas em vestes e aparelhos sanitários (LIBÂNIO, 2010). A Figura 14 mostra os valores encontrados para o parâmetro Fe dissolvido.

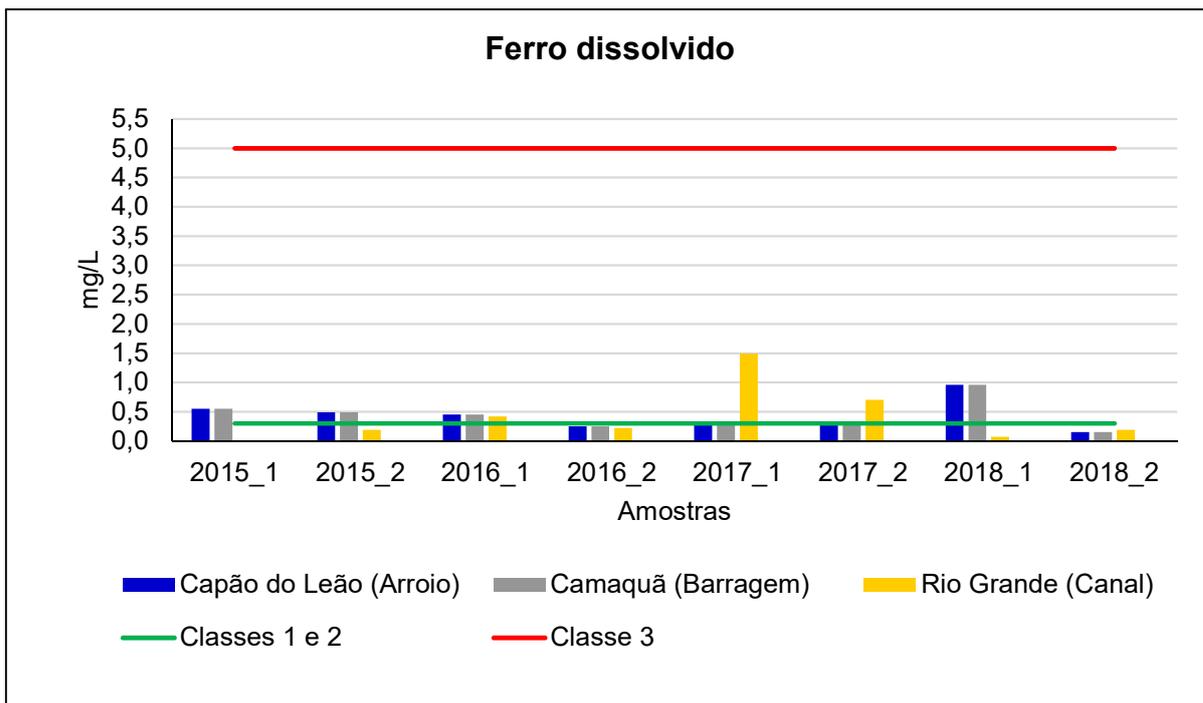


Figura 14. Valores de Fe dissolvido obtidos para os mananciais superficiais no período 2015 a 2018.

A concentração de Fe dissolvido para os mananciais variou de 0,2 mg/L a 1,0 mg/L para o Capão do Leão e de 0,1 mg/L a 0,7 mg/L para a barragem do Arroio Duro em Camaquã. Já para o manancial de Rio Grande os resultados apresentaram valores entre 0,1 mg/L a 1,5 mg/L, sendo este o manancial em que houve a maior diferença entre os extremos. O Fe dissolvido resultou em 100% de atendimento quanto ao uso destinado ao consumo humano após tratamento convencional, regado pela Resolução 357/2005. Entretanto, levando em conta a classificação desejada com o enquadramento, 50% das amostras encontraram-se inconformes para o arroio Padre Doutor, 37,5% para o Canal São Gonçalo e 37,5% para a barragem do Arroio Duro.

Souza (2015) também identificou a presença de ferro dissolvido em todos os pontos coletados no Canal São Gonçalo, encontrando valores abaixo de 0,7 mg/L. Oliveira *et. al.*, encontrou 88% das amostras analisadas acima do VMP para a classe 2 no Rio Jari, no Amapá, durante 12 meses de estudo.

A remoção desse metal no processo de tratamento de água, ocorre pela sua oxidação com o uso de produto químico, formando o hidróxido de ferro, que sedimenta no decantador ou é retido no meio filtrante. Quando complexado à matéria orgânica, pode ser envolvido por ela, dificultando sua remoção por meio da oxidação com o oxigênio, tornando-se necessária a aplicação de permanganato de potássio ou

compostos de cloro (LIBÂNIO, 2010). Entretanto, cabe salientar que a dosagem deve ser meticulosa, visto que o permanganato de potássio pode incrementar residual de manganês à água tratada, assim como o cloro, que ao reagir com determinadas variáveis, como a matéria orgânica, pode formar trihalometanos, compostos potencialmente cancerígenos.

5.2.5 Fósforo total

A resolução CONAMA 357/2005 estabelece valores máximos para o PT em ambientes lóticos e lênticos, possuindo diferentes implicações de acordo com a concentração (LAMPARELLI, 2004). Nas Figuras 15 e 16 podem-se visualizar os resultados encontrados para o parâmetro fósforo total nos ambientes lóticos e lêntico, respectivamente.

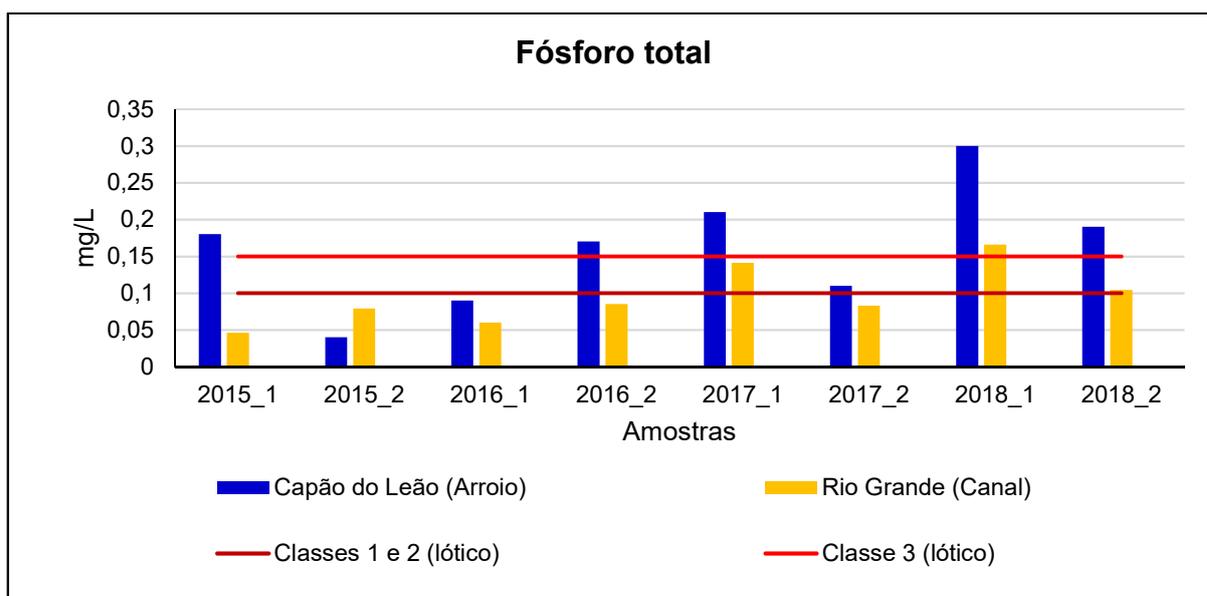


Figura 15. Valores de PT obtidos para os mananciais de ambiente lótico no período 2015 a 2018.

Para os ambientes lóticos são estabelecidos os valores de 0,10 mg/L para as classes 1 e 2 e 0,15 mg/L para a classe 3. De acordo com os resultados obtidos para o PT, verifica-se que para o manancial do Capão do Leão, os valores variaram entre 0,04 mg/L a 0,30 mg/L, totalizando 62,5% de amostras na classe 4, que excederam o padrão de referência para o consumo humano e, considerando a classe 2, 75% das amostras estiveram inconformes. Para o canal São Gonçalo que abastece Rio Grande

a concentração ficou em uma faixa de 0,05 mg/L a 0,17 mg/L, com uma amostra na classe 4, totalizando 25% de amostras não-conformes com a classe atual.

Ao estudar a bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim em Santa Maria, no Rio Grande do Sul, Souza e Gastaldini (2014) encontraram concentrações de fosfato de 0,1 mg/L a 0,38 mg/L e relacionaram os maiores valores às atividades agrícolas nas áreas rurais. Em outra bacia hidrográfica, no litoral do Sergipe, a concentração de PT variou entre a não detecção e a máxima de 0,54 mg/L, com média de 0,06 mg/L, também associado pela atividade agrícola no entorno, com constante extrapolação do limite para a classe 2 (SANTOS *et. al.*, 2018).

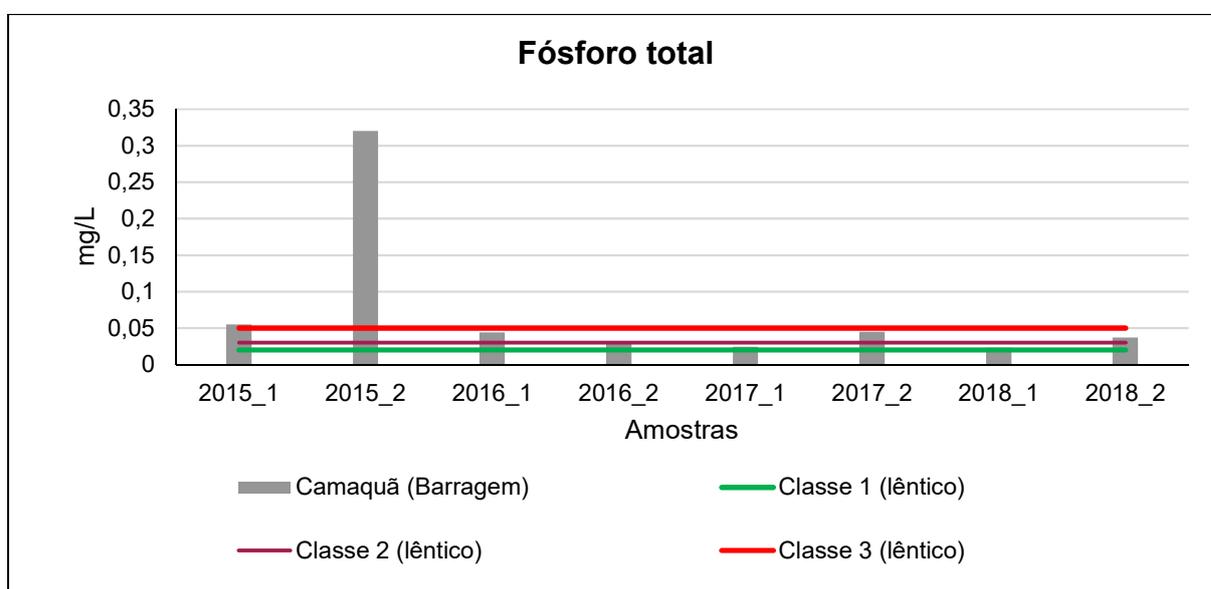


Figura 16. Valores de P total obtidos para o manancial de ambiente lêntico no período 2015 a 2018.

Para os ambientes lênticos os valores máximos são de 0,02 mg/L para a classe 1, 0,03 mg/L para a classe 2 e 0,05 mg/L para a classe 3. Para a barragem que abastece o município de Camaquã os valores mínimo e máximo encontrados foram 0,02 mg/L a 0,32 mg/L. Do total de coletas, 25% situou-se na classe 4, em desacordo com a classe limite para o abastecimento destinado ao consumo humano. Já 62,5% das amostras resultaram em inconformidade com a classe determinada como meta do enquadramento, que é a classe 2.

No verão de 2015, em 30 de janeiro, ocorreu a mortandade de centenas de peixes e presença de manchas com coloração diferenciada na barragem do Arroio Duro, episódio associado à eutrofização do local, de acordo com Gama (2015). O resultado encontrado para o PT na amostra coletada nesta data, identificada neste

estudo como amostra 1 foi de 0,06 mg/L, acima do limite estabelecido para a classe 3, assim como ocorrido para a amostra 2, sendo a maior concentração encontrada na mesma, coletada no inverno de 2015, permanecendo o manancial nas duas coletas realizadas na classe 4, resultado também encontrado por Gama (2015), que chegou a 0,84 mg/L, no interior do reservatório, relacionando as alterações encontradas neste parâmetro com a atividade agrícola intensa ao redor do reservatório. Von Sperling (1996) traz que em reservatórios é comum ocorrer o fenômeno de estratificação da coluna d'água, podendo ocorrer anaerobiose no hipolímnio, resultando em solubilização de compostos como ferro, manganês e fósforo, o que pode ter ocorrido no ano de 2015.

5.2.6 Alumínio dissolvido

O aumento da concentração de alumínio é associado ao período de chuvas, possuindo relação em função disso com a turbidez. Ainda, quando ocorre sua dissolução no solo para neutralizar a entrada de ácidos vindos da chuva ácida, torna-se tóxico à vegetação e pode escoar para os corpos d'água (CETESB, 2017). Na água ocorre em diferentes formas e sofre influência de algumas variáveis pH, temperatura, sulfatos e matéria orgânica. Na Figura 17 visualiza-se os resultados encontrados para os mananciais na análise de Al dissolvido.

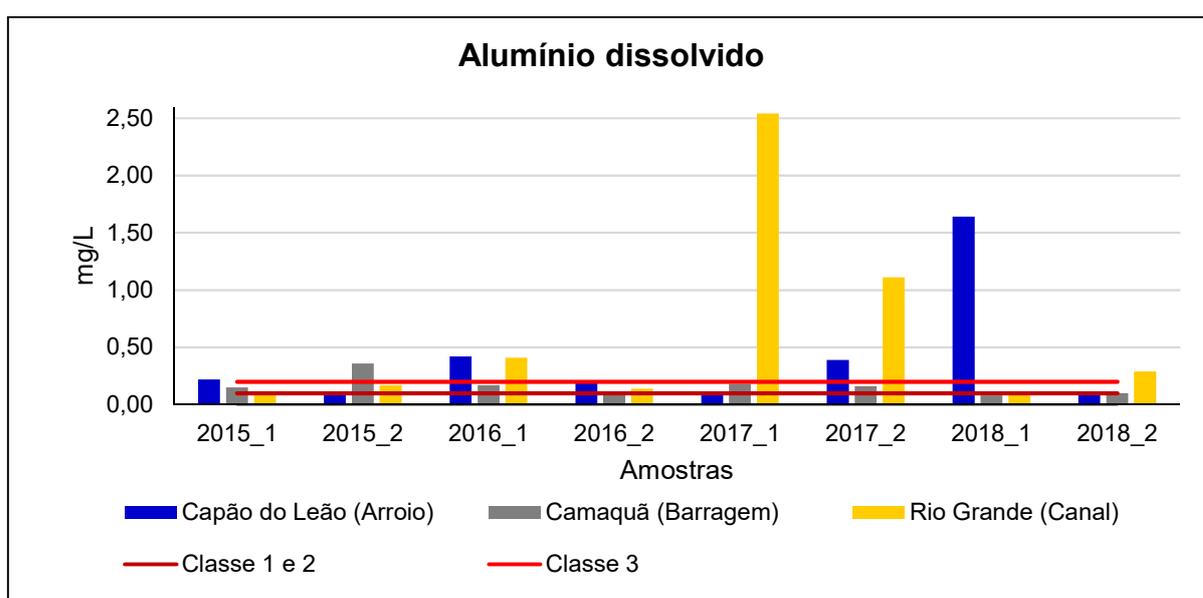


Figura 17. Valores de Al dissolvido obtidos para os mananciais superficiais no período 2015 a 2018.

No que diz respeito ao uso destinado ao consumo humano após tratamento convencional, 62,5% das amostras excederam o limite da classe 3 para o Capão do Leão, 50% para o Rio Grande e 12,5% para Camaquã.

Levando em consideração os valores limite da classe 2 para o enquadramento dos mananciais, o percentual de inconformidades é elevado, atingindo 75% para o arroio de Capão do Leão, 62,5% para a barragem de Camaquã e 87,5% para o Canal São Gonçalo que abastece Rio Grande, evidenciando que estes mananciais encontram-se com concentração elevada deste metal, alertando para a necessária iniciativa para redução desse parâmetro na água bruta e na água tratada que se destina ao consumo humano, tendo em vista que em grande parte das amostras, esse parâmetro permaneceu nas classes 3 e 4.

Na elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, diversos cursos d'água analisados registraram concentrações elevadas de Al dissolvido, resultando em classe 3 ou 4 para muitos trechos. Gama (2015) ao discutir o motivo pelo qual este parâmetro resultou tão alterado, citou a influência da presença de minerais alumino-silicatados nos trechos em que as águas percorreram.

De acordo com o acima exposto, foi possível observar que os parâmetros com maior contribuição na degradação da qualidade das águas superficiais dos mananciais foram o PT e o Al dissolvido, resultado corroborado por CETESB (2017) no relatório que avalia os dados de qualidade de água do estado de São Paulo. Quanto ao uso destinado ao consumo humano das águas destes mananciais, na grande maioria das amostras, os diversos parâmetros atenderam ao limite da classe 3, que requer a tecnologia por meio de tratamento convencional, adotada nos mananciais estudados.

5.2.7 Cloretos, nitratos e nitritos

Para os parâmetros cloretos, nitratos e nitritos não foram elaborados gráficos tendo em vista os valores encontrados, muito abaixo dos limites estabelecidos pela resolução 357/2005 para classe 1, indicando que a qualidade da água dos mananciais superficiais não sofre degradação significativa por efluentes domésticos, principal fonte de alteração antrópica destes parâmetros.

5.2.8 Agrotóxicos

A Portaria de Consolidação 05/2017-MS determina que devem ser analisados diversos agrotóxicos nas águas brutas superficiais e subterrâneas destinadas ao consumo humano. Na verificação individual dos dados disponibilizados, não foi detectada a presença de agrotóxicos nos diferentes mananciais acima do limite de detecção do método. Sendo assim, observou-se que nenhum parâmetro superou o valor máximo permitido de agrotóxicos para a classe 1 de acordo com as Resoluções 357/05 e 396/08. Entretanto, há indicativo que podem haver traços destes elementos, sendo importante a contínua verificação, minimizando os riscos de contaminação.

5.3 Classificação do manancial subterrâneo

Para análise dos resultados, observou-se a Resolução CONAMA nº 396/08, que dispõe sobre a classificação e enquadramento das águas subterrâneas trazendo valores para diversos parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Conforme Feitosa *et. al.* (2008), os mananciais subterrâneos com frequência têm sido omitidos nos planos de gerenciamento de recursos hídricos, embora constituam o maior volume de água doce da Terra.

Na elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã não houve classificação e enquadramento das águas subterrâneas, embora alguns municípios pertencentes ao território da bacia façam uso deste tipo de manancial para o abastecimento de suas populações.

5.3.1 Alumínio total, ferro total e manganês total

A presença de íons metálicos em águas subterrâneas é de difícil ocorrência, embora quando detectados em determinadas concentrações, podem causar odor e sabor, além de causar manchas em roupas e aparelhos sanitários, bem como causar objeção ao consumo, visto que alteram as características organolépticas da água, exigindo desta forma, tratamento adequado para efetiva remoção de modo a atender os valores permitidos para o consumo humano. Nas Figuras 18, 19 e 20 estão representados os resultados encontrados para o Al total, Fe total e Mn total.

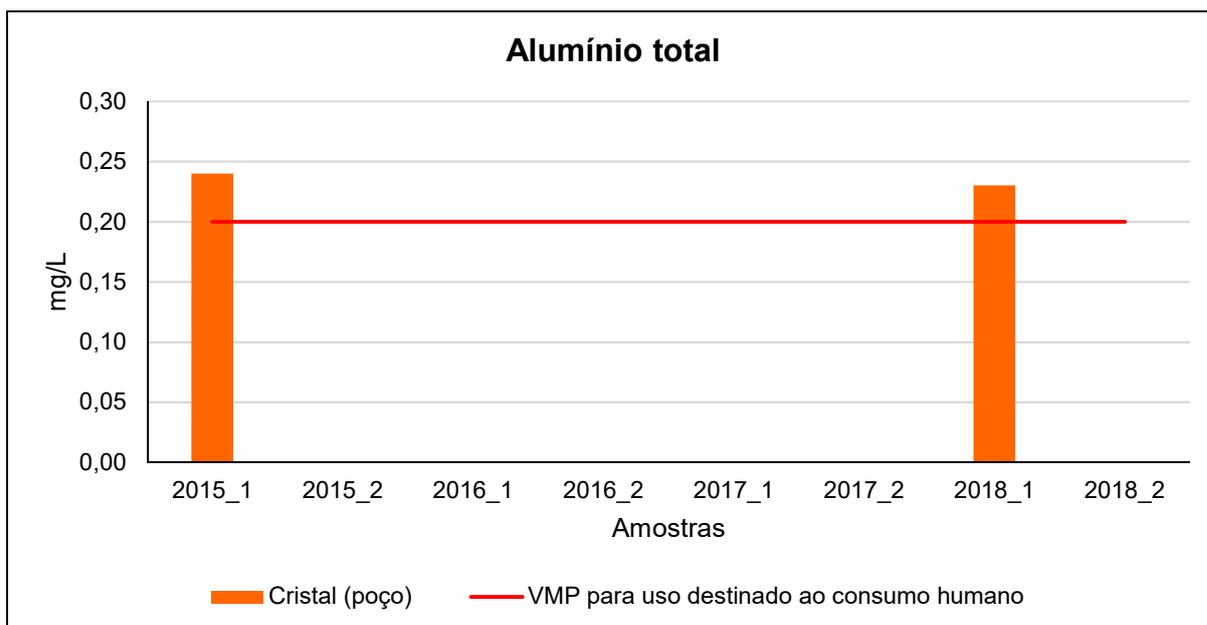


Figura 18. Variação temporal do parâmetro Al total no manancial subterrâneo no período 2015 a 2018.

Do período analisado, é possível verificar que duas amostras excederam o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008, que determina como VMP a concentração de 0,2 mg/L. Não observou-se tendência de elevação, visto que os resultados inconformes ocorreram nas amostras coletadas no verão de 2013 e de 2018, respectivamente, totalizando 25% de não conformidades com a classe destinada ao consumo humano.

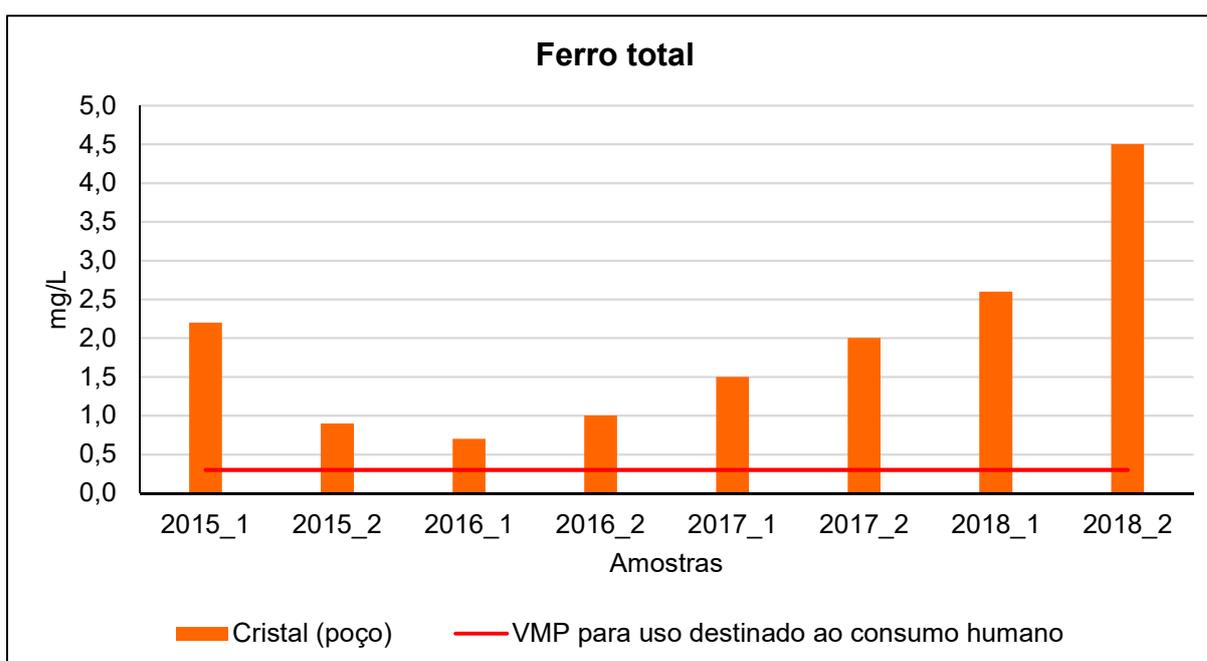


Figura 19. Variação temporal do parâmetro Fe total no manancial subterrâneo no período 2015 a 2018.

No que se refere aos resultados encontrados para o Fe total, a Figura acima demonstra um resultado preocupante visto que 100% das amostras apresentaram resultados acima do VMP, ou seja, se encontram inconformes. Ainda, é possível verificar, que a curva aponta tendência de crescimento, tornando indispensável o acompanhamento da eficácia de remoção deste metal no tratamento da água, evitando problemas na distribuição da água à população.

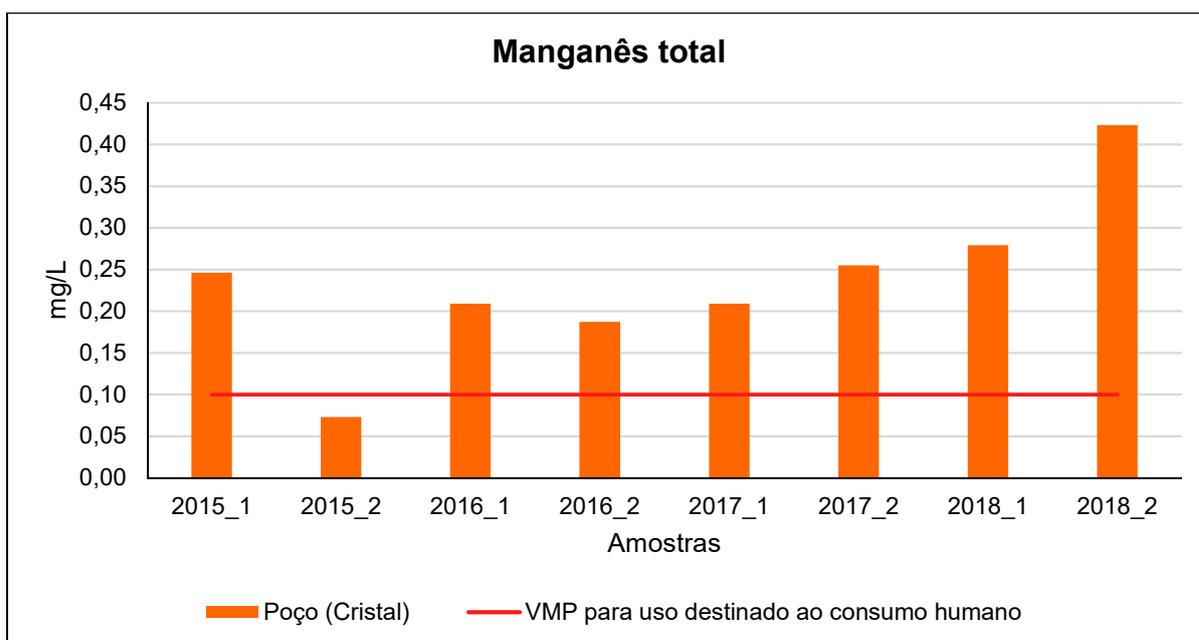


Figura 20. Variação temporal do parâmetro Mn total no manancial subterrâneo no período 2015 a 2018.

O Mn total apresentou comportamento semelhante ao Fe total, alcançando o percentual de 87,5% de não conformidade com o limite estabelecido para o consumo humano. Grott *et al.* (2018) encontrou nos poços analisados em Macapá somente uma amostra em desacordo com o estabelecido na Resolução 396/2008, demonstrando a alta incidência de resultados em desacordo com a legislação encontrados no manancial de Cristal.

Assim como ocorreu com o Fe total, pode-se inferir tendência de aumento na concentração deste metal, cabendo salientar que se torna evidente a necessidade de remoção efetiva de modo a torná-la potável ao uso a que se destina.

5.3.2 Nitrato, nitrito e cloretos

A série nitrogenada bem como os cloretos são variáveis utilizadas na identificação de poluição oriunda de esgotos domésticos e utilização de fertilizantes,

constituindo importantes indicativos da contaminação de águas subterrâneas. Na Tabela 27 visualizam-se os resultados encontrados no manancial subterrâneo de Cristal.

Tabela 27. Variação temporal para os parâmetros nitrato, nitrito e cloretos no manancial subterrâneo durante o período analisado.

Parâmetros	Valor Máximo Permitido	Amostras							
		jan/15	ago/15	jan/16	jul/16	jan/17	jul/17	jan/18	jul/18
Nitrato	10	NA	0,05	0,00	0,02	0,08	0,06	0,06	0,00
Nitrito	1	NA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cloretos	250	NA	32,0	14,0	15,3	15,8	14,8	16,9	15,0

Os valores encontrados para o parâmetro nitrato variam de zero a 0,08 mg/L de concentração máxima. Em nenhuma das amostras foi detectada a presença de nitritos. Já os cloretos variaram de 14 mg/L a 32 mg/L de mínimo e máximo respectivamente. Segundo o acima exposto, verifica-se que nenhum dos parâmetros foi violado de acordo com os VMP para as águas subterrâneas destinadas ao consumo humano.

Os poços para abastecimento humano devem ser construídos de acordo com as recomendações técnicas, como a cimentação adequada do espaço anelar superficial, bem como a constituição do selo sanitário na superfície visando impedir a infiltração de águas superficiais que podem ocasionar contaminação dos poços. Ainda, faz-se importante a implantação do perímetro de proteção dos poços de abastecimento. Verificou-se que nenhum dos 2 poços possui cercamento, possibilitando o livre acesso e circulação de pessoas e animais, pois situam-se em área de balneário, utilizada pela população para lazer às margens do Rio Camaquã.

Tendo em vista os resultados encontrados, é possível indicar a classe 3 para o manancial subterrâneo de Cristal, que de acordo com o estabelecido pela Resolução CONAMA 396/08, são as águas dos aquíferos com alteração da sua qualidade por atividades antrópicas e que podem exigir tratamento adequado para o uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais. Dos parâmetros analisados, observou-se que o Fe total não atendeu o VMP em nenhuma

das amostras e o Mn total somente esteve conforme em uma das amostras. Para o parâmetro Al total, das oito amostras analisadas, duas não atenderam à legislação.

Diante disto, verifica-se que, segundo a classe indicada e as concentrações de metais encontradas, é necessário que haja tratamento da água subterrânea de acordo com o uso destinado ao abastecimento para consumo humano, visando atingir o padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria de Consolidação 05/2017 do Ministério da Saúde.

O sistema de tratamento de água por meio de pré-desinfecção e filtros lentos existente no município é adequado a qualidade da água bruta, embora seja de suma importância a contínua avaliação dos dados gerados, pois, conforme identificado na área de estudo, o lançamento de esgoto doméstico sem tratamento de parte da área urbana ocorre diretamente no Rio Camaquã à montante dos poços, trazendo risco de contaminação do manancial que fornece água à população.

5.4 Índice de Estado Trófico

O Índice de Estado Trófico (IET) foi estimado utilizando o parâmetro PT e calculado de acordo com a metodologia proposta por Lamparelli (2004) para ambientes lênticos e lóticos. A clorofila *a* é comumente utilizada em conjunto com o fósforo total para a avaliação do grau de trofia das águas superficiais, entretanto seu monitoramento não é exigido na Portaria de Consolidação 05/2017, motivo pelo qual não houve disponibilidade de dados para esta variável.

Tendo em vista que o fósforo é o parâmetro principal que causa a eutrofização, indicando potencial de degradação nos ecossistemas, optou-se por avaliar o grau de trofia dos diferentes mananciais com os resultados de PT, assim como realizado por Abreu e Cunha (2017), Barreto *et. al.* (2014) e Menezes *et. al.* (2016). Apresenta-se na Tabela 28 os resultados encontrados para os diferentes mananciais.

Tabela 28. Valores de IET encontrados para os diferentes mananciais.

Ano	Capão do Leão	Camaquã	Rio Grande
	Arroio	Barragem	Canal
2013	59,56	62,49	58,22
2013	60,53	65,50	55,09
2014	63,11	65,50	59,23
2014	61,61	66,90	52,31
2015	62,83	66,58	55,68
2015	54,41	77,25	58,49
2016	59,28	65,23	57,06
2016	62,53	62,49	58,87
2017	63,52	61,56	61,50
2017	60,31	65,37	58,75
2018	65,44	61,30	62,35
2018	63,05	64,18	59,92

Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Supereutrófico	Hipereutrófico
IET ≤ 47	47 < IET ≤ 52	52 < IET ≤ 59	59 < IET ≤ 63	63 < IET ≤ 67	IET > 67

O IET predominante para o arroio (ambiente lótico) que abastece o município de Capão do Leão foi o eutrófico, com 58,33% de frequência, seguido de 33,33% supereutrófico e 8,34% mesotrófico. Os resultados variaram entre 54,41 de valor mínimo e 65,44 de valor máximo, em que verifica-se para o ano de 2018 os maiores resultados, ambos pertencendo à classe supereutrófico, evidenciaram tendência temporal ao aumento do grau de trofia, em comparação com o ano de 2017, cujas amostras variaram de supereutrófico a eutrófico e em 2016, que permaneceram na classe eutrófico. No ano de 2015, obteve-se o menor resultado, pertencendo à classe mesotrófico.

Realizou-se comparação dos resultados de IET visando estabelecer relação com a precipitação, entretanto não foi possível inferir ligação direta, pois em alguns resultados a precipitação do mês de referência da coleta foi alta e o resultado para o IET foi menor, como na segunda amostra do ano de 2015. Silva *et. al.* (2018) corrobora ao evidenciar que a precipitação pode diluir ou concentrar os poluentes nos corpos hídricos, dependendo das características da bacia hidrográfica e de seu estado de conservação e ocupação.

Lamparelli (2004) em seu estudo não encontrou diferença significativa entre as concentrações de PT para os períodos seco e chuvoso. Em análise visual percebe-se que à montante do ponto de captação de Capão do Leão há ocorrência de mata ciliar com aspecto preservado. Entretanto, verifica-se que o principal uso do solo no entorno é destinado à atividade agrícola, sendo esta a principal fonte de nutrientes devido ao uso de fertilizantes que pode estar contribuindo para o grau de trofia elevado encontrado neste manancial.

Para a barragem do Arroio Duro, fonte de abastecimento de água para o município de Camaquã (ambiente lêntico), os resultados obtidos para o IET variaram entre 61,30 de valor mínimo e 77,25 de valor máximo, sendo que a maior ocorrência foi de supereutrófico, com 58,33%, 33,33% das amostras na classe eutrófico e 8,34% pertencendo ao hipereutrófico. No ano de 2015, na amostra coletada no segundo semestre, alcançou-se o maior resultado entre todos os mananciais, classificando a amostra como hipereutrófico. Em comparação individual entre os volumes mensais de precipitação e os valores obtidos para o IET, não foi possível estabelecer relação entre os mesmos. Entretanto, verificou-se que o ano de 2015 foi o ano com maior volume médio mensal de chuva, 173,44 mm.

O plano da bacia hidrográfica do Rio Camaquã teve sua elaboração neste mesmo período e cita que houve mortandade de peixes no manancial no verão daquele ano (GAMA, 2015), fato preocupante visto o grau de trofia encontrado neste reservatório. CETESB (2017), também encontrou resultados semelhantes na avaliação dos reservatórios do estado de São Paulo, com predominância de classes supereutrófico e hipereutrófico, ocasionados principalmente pelo lançamento de efluentes domésticos, mas também pela atividade agrícola ou industrial existente no entorno dos reservatórios. No caso da barragem do Arroio Duro, é visível a ausência de mata ciliar em seu entorno e a atividade agrícola se estende até as margens do reservatório.

Ainda, para o canal São Gonçalo, ambiente lótico que fornece água ao município de Rio Grande, 66,66% dos resultados o enquadraram como mesotrófico e 33,34% como eutrófico. Para este manancial a variação foi menor, obtendo-se valores entre 52,31 de mínimo e 62,35 de máximo. Assim como para o arroio Padre Doutor, percebe-se aumento no grau de trofia, permanecendo como eutrófico nas duas amostras do ano de 2018, assim como na primeira amostra de 2017.

Para este manancial não foi encontrada relação de aumento ou redução do grau de trofia com a variação da precipitação, como verificou Fia *et. al.* (2009) ao avaliar o estado trófico do mesmo manancial. Não há ocupação urbana no entorno do trecho analisado do Canal São Gonçalo, sendo a atividade agrícola a origem mais provável dos resultados de fósforo encontrados, pois o uso comum de fertilizantes que contém em sua composição nutrientes, são carreados pelo escoamento superficial aos leitos dos cursos d'água superficiais (SANTOS *et. al.*, 2018). O entorno do Canal é ocupado por lavouras de arroz que o utilizam como fonte para captação de água com a finalidade de irrigação das lavouras e após determinado período devolvem a água com incremento de adubos químicos e fosfatados (FIA *et. al.*, 2009; SOUZA, 2015, ALBERTONI, 2017).

O IET calculado para os ambientes lótico e lêntico, dos diferentes tipos de mananciais deste trabalho permite considerar que os resultados demonstram a necessidade de acompanhamento da qualidade da água destes corpos hídricos que são utilizados para o abastecimento público, e que podem demandar maiores custos para tornar estas águas brutas potáveis para o consumo humano. Do ponto de vista temporal, a análise sugere que não houve, entre 2013 e 2018, tendência de melhora no grau de trofia dos locais estudados. Quanto à relação com a precipitação, percebe-se que nas regiões de estudo não há períodos de baixa e alta pluviosidade definidos, consolidando, portanto, os resultados de outros estudos que também não evidenciaram relação entre os resultados de fósforo com os períodos secos e chuvosos.

A aplicação de índices facilita a interpretação de dados, demonstrando a viabilidade de sua utilização para a avaliação da qualidade das águas, fornecendo dados de forma eficaz e econômica que possibilitam a tomada de decisão para iniciativas de proteção dos mananciais e alcance das metas de enquadramento, visto que, nos corpos d'água analisados, percebe-se a necessidade de adoção de medidas nesse sentido.

5.5 IQA-CCME

O Índice de Qualidade de Água *Canadian Council of Ministers of the Environment* (IQA-CCME) foi calculado para os mananciais superficiais e subterrâneo. A Resolução 396/2008 do CONAMA estabelece Valores Máximos Permitidos para os

diversos parâmetros de acordo com o uso preponderante, portanto adotou-se como referência o destinado ao consumo humano no cálculo do IQA-CCME do poço de Cristal para os parâmetros Al total, Fe total, Mn total, nitrato, nitrito e cloretos.

Já a Resolução 357/2005 estabelece as faixas de concentrações dos parâmetros em classes, que são determinadas para os corpos d'água durante o enquadramento destes. Para o manancial que abastece o município de Camaquã, a meta estabelecida é atingir a classe 2 e os limites adotados no cálculo foram os desta classe. Para os demais mananciais, de Capão do Leão e Rio Grande, também foram adotados os limites estabelecidos pela classe 2, conforme recomendado pela legislação, visto que o Plano de Bacia Hidrográfica ainda está em elaboração. Os parâmetros adotados foram Mn total, P total para ambientes lênticos e lóticos, pH, turbidez, Fe dissolvido, nitrato, nitrito, cloretos e Al dissolvido.

O período utilizado para o estudo em conjunto com os parâmetros adotados, gerou um total de 48 análises para o manancial subterrâneo (poço) do município de Cristal e 72 análises para os mananciais superficiais (arroio, barragem e canal, respectivamente) que abastecem os municípios de Capão do Leão, Camaquã e Rio Grande. De modo a facilitar a determinação do IQA-CCME os dados foram organizados em planilhas excel, com cálculo por meio de fórmulas elaboradas no mesmo *software*.

Na Tabela 29 encontram-se os resultados obtidos com o cálculo dos fatores, percentual de parâmetros não conformes (F1), percentual de análises não conformes (F2) e a amplitude (F3). Ainda, traz a soma normalizada das discrepâncias ($\sum\eta\Delta$), que considera a soma das discrepâncias das análises individuais quando estão acima ou abaixo do seu padrão de referência e, por fim, o IQA-CCME calculado para os mananciais subterrâneo e superficiais.

Tabela 29. Resultados do cálculo dos diferentes fatores e IQA-CCME para os mananciais.

Manancial	Nº de parâmetros	Nº de análises	F1	F2	$\sum\eta\Delta$	F3	IQA-CCME
Cristal	6	48	50	35,42	1,141	65,39	48,26
Camaquã	9	72	44,44	22,22	0,302	23,95	68,34
Capão do Leão	9	72	55,55	31,94	0,521	34,27	58,04
Rio Grande	9	72	44,44	15,28	0,610	37,89	65,14

O valor inferior obtido dentre mananciais analisados ocorreu para a água subterrânea do manancial de Cristal, com IQA-CCME de 48,26, classificando-a como marginal, em que pode a qualidade da água encontra-se frequentemente prejudicada e as condições geralmente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis, possibilitando observar que alguns dos parâmetros, como o Fe e o Mn, encontraram-se bem acima do VMP para o uso destinado ao consumo humano, comprometendo a qualidade da água, embora infere-se que a presença desses metais seja de origem natural.

Em avaliação de aquíferos no estado do Rio de Janeiro, foram testadas diferentes combinações de parâmetros, relatando que o resultado é influenciado pelo número de variáveis e seu aumento decorre em elevação dos valores, indicando cuidado na escolha das variáveis para não distorcer o estudo (MENEZES, SILVA JR e PRADO, 2013).

Ainda dentro desta mesma faixa de classificação, está o arroio Padre Doutor que abastece Capão do Leão e obteve IQA-CCME de 58,04. Para este manancial, vários parâmetros violaram os limites da classe 2, entretanto com uma amplitude menor, resultando em melhor índice se comparado ao manancial subterrâneo. Neste manancial as alterações decorrem principalmente do escoamento superficial e do tipo de solo local.

Para o manancial de Camaquã o IQA-CCME calculado foi de 68,34, o maior dentre todos e classificou a qualidade de suas águas como mediana, considerando-a como protegida, mas ocasionalmente ameaçada ou prejudicada em que as condições às vezes se afastam dos níveis naturais ou desejáveis. Embora este tenha sido o manancial com melhor índice, é o mais exposto a impactos antrópicos. A melhora no índice em comparação aos demais se deu pelo fato de que a amplitude de extrapolação dos valores de referência foi menor para os metais, comparado aos demais mananciais.

O manancial de Rio Grande, ademais, situou-se na mesma classe, com IQA-CCME de 65,14, sendo o manancial que obteve o menor número de análises não conformes. A maior discrepância calculada foi para o parâmetro Al dissolvido, que prejudicou o índice deste manancial. Silveira (2018) calculou e comparou o IQA-NSF com o IQA-CCME utilizando dados secundários de diversos cursos d'água do Rio de Janeiro, preponderando a classificação na faixa ruim seguida da mediana, concluindo

que a utilização desse índice possui potencial para utilização no Brasil, visto sua adaptabilidade.

5.6 Considerações finais

De acordo com os resultados encontrados, considerou-se que a utilização dos índices, em conjunto com as Resoluções CONAMA 357/2005 e 396/2008, com o apoio das ferramentas estatísticas, permitiu ponderar e avaliar o quão longe os corpos d'água se encontram do alcance das suas metas de enquadramento e da qualidade necessária ao uso destinado ao consumo humano.

Acende o alerta para a necessidade de medidas de controle e proteção destes corpos hídricos, já que o IET e o IQA-CCME resultaram em valores preocupantes, oscilando entre qualidade marginal e mediana para as águas superficiais e subterrânea dos mananciais analisados. Ainda, este índice viabilizou o aproveitamento de dados secundários de forma resumida e dinâmica, demonstrando seu potencial de avaliação de mananciais destinados a diversos usos, principalmente ao consumo humano.

Cabe salientar a importância de que se mantenha o monitoramento constante dos cursos d'água, pois as metas de enquadramento são previstas para longos prazos, evitando assim, que passem anos sem saber se há melhora ou piora na qualidade das águas superficiais e subterrâneas e ainda, se os resultados encontrados demandam ações de gestão e de planejamento dos envolvidos.

6 CONCLUSÕES

A realização deste trabalho permitiu avaliar diferentes tipos de mananciais que captam águas subterrâneas e superficiais, através da extração de informações de dados disponíveis que com a utilização das ferramentas estatísticas, permitiu a interpretação do comportamento das variáveis, evidenciando maiores coeficientes de variação para os metais, cor, turbidez e PT. A análise multivariada possibilitou inferir que as variáveis com maior correlação e agrupamento nos mananciais indicam carreamento de partículas de solos para os corpos d'água e degradação da qualidade das águas, pela falta de proteção nas áreas destas importantes fontes de abastecimento.

No que diz respeito ao atendimento ao preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005, os mananciais superficiais apresentaram os parâmetros turbidez, PT e Al dissolvido em desacordo com os limites das classes, tanto se considerada a classe atual, o uso destinado ao consumo humanos ou ainda, a meta de enquadramento, com situação preocupante para a barragem de Camaquã, que sofre com a eutrofização periódica. O manancial de Capão do Leão apresentou o maior percentual de amostras e parâmetros que ultrapassaram os limites da classe 2, tanto para os metais quanto para o PT, apresentando a pior qualidade dentre os mananciais analisados.

Já com relação ao manancial subterrâneo de Cristal, os parâmetros Al total, Fe e Mn apresentaram resultados que ultrapassaram os VMP estabelecidos pela Resolução 396/2008 para o uso destinado ao consumo humano, evidenciando a necessidade de tratamento visando reduzir as concentrações destas substâncias.

O Índice de Estado Trófico sugeriu grau de trofia com maior comprometimento para a barragem que abastece Camaquã, seguido dos mananciais de Capão do Leão e Rio Grande. A aplicação do IQA-CCME indicou qualidade da água dos mananciais entre marginal para Cristal e Capão do Leão a mediana, alertando para a importância do monitoramento e avaliação dos resultados encontrados, visando a adequação de acordo com os usos destes corpos d'água, para os quais são essenciais medidas de recuperação e preservação.

Por fim, conclui-se que os dados gerados no monitoramento das águas brutas dos diferentes tipos de mananciais utilizados no abastecimento público, são passíveis de utilização integrada no controle do atendimento das metas de enquadramento

pelos Comitês de Bacia Hidrográfica. Desta forma, otimizam-se recursos financeiros para esse efetivo acompanhamento, necessário em escala de tempo e espaço, permitindo uma visão integrada e periódica da situação destes cursos d'água, essencial na adoção de medidas para a melhorar a qualidade dos recursos hídricos e por consequência, da saúde pública.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Carlos Henrique Medeiros de; CUNHA, Alan Cavalcanti. Qualidade da água e índice trófico em rio de ecossistema tropical sob impacto ambiental. **Engenharia Sanitária e Ambiental** v. 22, 45-56. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016144803>. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/esa/2016nahead/1809-4457-esa-S1413_41522016144803.pdf. Acesso em: 01 de abr. de 2019.

AGÊNCIA DA LAGOA MIRIM. **Bacia da Lagoa Mirim**. Disponível em: <http://wp.ufpel.edu.br/alm/bacia-da-lagoa-mirim>. Acesso em: 10 de jun. de 2019.

ALBERTONI, Edélti Faria. *et al.* Water quality of the São Gonçalo channel, urban and agricultural water supply in southern Brazil. **RBRH**, v. 22, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011716082>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2318-03312017000100208&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 10 de mai. de 2019.

ALMEIDA, Geane Silva de. **Avaliação da aplicação do IQA-CCME na divulgação da qualidade de água de bacias hidrográficas**. Estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Joanes (Bahia, Brasil). 2014.

ANTENEH, Yilikal; ZELEKE, Gete; GEBREMARIAM, Ephrem. Assessment of surface water quality in Legedadie and Dire catchments, Central Ethiopia, using multivariate statistical analysis. **Acta Ecologica Sinica**, v. 38, n. 2, p. 81-95, 2018. DOI: [ps://doi.org/10.1016/j.chnaes.2017.05.005](https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2017.05.005). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187220321730001X>. Acesso em: 02 de jun. de 2019.

ARAÚJO, Daniele Rodrigues; MENDONÇA, Antônio Sérgio Ferreira; REIS, José Antônio Tosta dos. Análise de variação e comparação de índices de estado trófico: reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos de Rio Bonito e Suíça. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 55-62, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018162462>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522018000100055&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em 15 de abr. de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12212**: Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12216**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

AZHAR, Shah Christirani *et al.* Classification of river water quality using multivariate analysis. **Procedia Environmental Sciences**, v. 30, p. 79-84, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.10.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029615006088>. Acesso em: 05 de abr. de 2019.

BARRETO, Luciano Vieira *et al.* Estado trófico em uma seção do rio Catolé Grande sob diferentes níveis de vazão. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 2, p. 250-260, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1231>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-993X2014000200007&script=sci_arttext&tlng=es. Acesso em 16 de nov. de 2019.

BATISTA, Daiane Ferreira. **Análise quali-quantitativa das águas, solos e sedimentos da bacia hidrográfica Ribeirão Santo Antônio-GO**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Goiás.

BERNARDI, J. V. E. *et al.* Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto Rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, v. 23, n. 1, p. 79-90, 2012.

BRASIL, ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas de abastecimento urbano de água**. Brasília, 2010.

BRASIL, ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno / Agência Nacional de Águas. Brasília, 2017. 169 p.

BRASIL, ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: informe anual / Agência Nacional de Águas. – Brasília, 2019. 110 p.

BRASIL, ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Indicadores de qualidade: Índice do Estado Trófico (IET)**. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx>. Acesso em: 26 de maio de 2019.

BRASIL, ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Monitoramento da qualidade da água em rios e reservatórios**. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/76>. Acesso em: 09 de nov. de 2019.

BRASIL, ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Brasília, 2012.

BRASIL, ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Planejamento dos recursos hídricos**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/gestao-da-agua/planejamento-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 18 de fev. de 2020.

BRASIL, CONAMA. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE **Resolução CONAMA nº 396**- Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2008.

BRASIL, CONAMA. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 357**- 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 República Federativa do Brasil, Brasília, 2005.

BRASIL, CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. SIAGAS – **Sistema de Informação de Águas Subterrâneas**. Disponível em: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php. Acesso em: 15 de nov. de 2019.

BRASIL, MS. MINISTÉRIO DA SAÚDE. FUNASA. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. 2014.

BRASIL, MS. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Dispõe, entre outros, sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2017.

BRASIL, SNIS. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2019. 186 p.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1981.

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. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1997.

BUCCI, Maria Magaly Heidenreich Silva *et al.* Análise de metais, agrotóxicos, parâmetros físico-químicos e microbiológicos nas águas da Represa Dr. João Penido, Juiz de Fora, MG. **Revista Ambiente & Água**, 2015. DOI:10.4136/ambi-agua.1534. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-993X2015000400804&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 12 de mai. de 2019.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. 2001. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, User's Manual. In: **Canadian environmental quality guidelines**, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. Disponível em: <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/138>. Acesso em: 18 de fev. de 2020.

CASTRO, Maria Patrícia Sales; VIDAL, Ticiania Fontoura; DE SOUZA, Raimundo Oliveira. Avaliação do estado trófico para o Rio Sapucaí-Guaçu. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 12, n. 6, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17271/1980082712620161477>. Disponível em: http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1477/1499. Acesso em: 10 de fev. de 2020.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**, 2009. São Paulo: CETESB.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Relatório Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo 2016. **São Paulo: CETESB**, 2017.

CUNHA, Davi Gasparini Fernandes; DO CARMO CALIJURI, Maria; LAMPARELLI, Marta Condé. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI_{tr}). **Ecological Engineering**, v. 60, p. 126-134, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.058>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857413003091>. Acesso em: 10 de abr. de 2019.

DA FRANCA, Raimunda Moreira *et al.* Análise multivariada dos parâmetros de qualidade das águas subterrâneas em Juazeiro do Norte–CE (Brasil). **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 1, p. 106-113, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v32i1.28890>. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28890>. Acesso em: 31 de mar. de 2019.

DE SOUSA, Antonio Cícero; DA CRUZ, Arturo Dias; DA SILVA, Glayson José Oliveira. Análise exploratória da qualidade da água tratada, armazenada em caixas-d'água do bairro do Roger, em João Pessoa-PB. **Revista Principia**, n. 29, 2016.

DE SOUZA, Marielle Medeiros; GASTALDINI, Maria do Carmo Cauduro. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 263-274, 2014. DOI: 10.1590/S1413-41522014019000001097. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Marielle_De_Souza/publication/286731287_Water_quality_assessment_in_watersheds_with_different_anthropogenic_impacts/links/59919be00f7e9b87262cc608/Water-quality-assessment-in-watersheds-with-different-anthropogenic-impacts.pdf. Acesso em: 20 de jun. de 2019.

Engenharia e Recursos Hídricos, GAMA. **Diagnóstico da Bacia (RT 3)**. 2015.

Disponível em:

https://drive.google.com/open?id=0BxrKSZI9Hd_jbmhmY2IVZHpuZDg. Acesso em: 01 de mai. 2019.

FEITOSA, Fernando A.C. *et al.* **Hidrogeologia: Conceito e aplicações**. CPRM, 2008.

FIA, Ronaldo *et al.* Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n. 1, p. 132-141, 2009.

FORTES, Ana Carolina Chaves *et al.* **Índice de qualidade de água para consumo humano: uma proposta de ferramenta para a vigilância da qualidade da água**

comunicar os resultados à sociedade. Dissertação de mestrado, Fundação Oswaldo Cruz. 2018.

FREITAS, Mariana d'Ávila Fonseca Paiva de Paula. **Avaliação de variáveis físicas e de qualidade das águas em reservatórios de usinas hidrelétricas de Minas Gerais para gestão das águas no Estado.** 2017. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL LUIS HENRIQUE ROESSLER (FEPAM). **Monitoramento da Qualidade da Água da Região Hidrográfica das Bacias Litorâneas.** Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, Maria da Conceição Rabelo; CAVALCANTE, Itabaraci Nazareno. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 1, p. 134-149, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v31i1.28617>. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28617>. Acesso em: 26 de abr. de 2019.

GROTT, Silvana Lopes *et al.* Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá, Amapá, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 645-654, 2018. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018162018>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522018000400645&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em 01 de maio de 2020.

GRUBBS, F.E. & BECK, G. (1972) **Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations.** *Techometrics*, v. 14, n. 4, p. 847-854.

GUEDES, T.A., Martins, A.B.T., Acorsi, C.R.L., & Janeiro, V. **Estatística descritiva.** 2015. Projeto de Ensino. Disponível em: http://www.each.usp.br/rvicente/Guedes_et_al_Estatistica_Descriptiva.pdf. Acesso em 19 de fev. de 2020.

HAIR, J. F. JR.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. **Análise Multivariada de dados.** 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades, censo de 2010.** Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em 05 de abr. de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Áreas dos municípios.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?t=acesso-ao-produto&c=1>. Acesso em 01 de jun. 2019.

- KARTHIKEYAN, Perumal; VENKATACHALAPATHY, Raju.; VENNILA, G. Multivariate analysis for river water quality assessment of the Cauvery River, Tamil Nadu, India. **Indian Journal of Geo Marine Sciences**. v. 46, p. 785-790, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316238590_Multivariate_analysis_for_river_water_quality_assessment_of_the_Cauvery_River_Tamil_Nadu_India/link/5d1f36c1a6fdcc2462c182eb/download. Acesso em: 10 de jun. de 2019
- KHAN, A. A.; TOBIN, A.; PATERSON, R.; KHAN, H.; WARREN, R. Application of CCME procedures for deriving site- specific water quality guidelines for the CCME water quality index. **Journal Water Quality Research**., v. 40, n. 4, p. 448–456, 2005.
- KHATRI, Nitasha; TYAGI, Sanjiv; RAWTANI, Deepak. **Recent strategies for the removal of iron from water: a review**. Journal of water process engineering, v. 19, p. 291-304, 2017.
- LAMPARELLI, Marta Condé. **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- LEOTTI, Vanessa B.; BIRCK, Alan R. e RIBOLDI, João. **Comparação dos testes de aderência à normalidade Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, Cramer-Von Mises e Shapiro-Wilk por simulação**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2016. Disponível em: http://www.inf.ufsc.br/~vera.carmo/Testes_de_Hipoteses/Testes_aderencia.pdf. Acesso em: 26 de out. de 2019.
- Libânio, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010. 3ª Edição.
- LINDEN, R. **Técnicas de Agrupamento**. Revista de Sistemas de Informação da FSMA, Macaé, n.4, p.18-36, 2009.
- MALHEIROS, Carolina Hortêncio *et al.* Quality of water of a dam located in an agricultural area (Campo Verde, MT, Brazil). **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 2, p. 245-262, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.904>. Disponível em: http://ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/viewFile/904/pdf_691. Acesso em: 10 de jun. de 2020.
- MANCUSO, Aline Castello Branco *et al.* Estatística descritiva: perguntas que você sempre quis fazer, mas nunca teve coragem. **Clinical & Biomedical Research**, v. 38, n. 4, 2018. <https://doi.org/10.4322/2357-9730.89242>. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/hcpa/article/view/89242/pdf>. Acesso em: 01 de mar. de 2020.
- MARQUES, Maria N. *et al.* Avaliação de um índice dinâmico de qualidade de água para abastecimento: um estudo de caso. **Exacta**, v. 5, n. 1, p. 47-55, 2007.
- MARTINS, Gerson Lucas Alves *et al.* Qualidade da água do rio Setúbal em Jenipapo de Minas-MG após construção de barragem. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 6,

p. 1025-1039, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1981>. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v12n6/1980-993X-ambiagua-12-06-01025.pdf>. Acesso em: 10 de mar. de 2019.

MEDEIROS, Waneska Maria Vasconcelos; DA SILVA, Carlos Ernando; LINS, Ruceline Paiva Melo. Avaliação sazonal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá, Piauí, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 13, n. 2, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2054>. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v13n2/1980-993X-ambiagua-13-02-e2054.pdf>. Acesso em: 03 de mar. de 2019.

MELO, Livia Duarte Ventura. **Avaliação estatística de desempenho de estações de tratamento de água, em função da tecnologia, do porte e do tipo de manancial**. 2019. Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais.

MENEZES, João Paulo Cunha *et al.* Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 519-534, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522016145405>. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v21n3/1809-4457-esa-21-03-00519.pdf>. Acesso em: 04 de mai. de 2019.

MENEZES, Juliana Magalhães; DA SILVA JR, Gerson Cardoso; PRADO, Rachel Bardy. Índice de Qualidade de Água (IQACCME) Aplicado à Avaliação de Aquíferos do Estado do Rio de Janeiro. **Águas Subterrâneas**, v. 27, n. 2, 2013. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v27i2.27364> Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27364>

NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Éber José A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

OLIVEIRA, Brunna Stefanny Sangel de; CUNHA, Alan Cavalcanti da. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 2, p. 261-275, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1287>. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v9n2/v9n2a08.pdf>. Acesso em 01 de jun. de 2019.

PAVLUK, Timur; BIJ DE VAATE, Abraham. Trophic index and efficiency. **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**, n. 16, 2017. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.00608-4. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285670858_Trophic_Index_and_Efficiency/ink/5a0ad48a458515e482729a3b/download. Acesso em: 18 de mai. de 2019.

PEREIRA, Bruno Wendel de Freitas *et al.* Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, n. 2, p. 472-485, 2016. DOI:10.4136/ambi-agua.1802. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v11n2/1980-993X-ambiagua-11-02-00472.pdf>. Acesso em: 20 de mai. de 2019.

PETENATE, Marcelo. **Como fazer análise de dados**. Escola EDTI, 2019. 41 p. Disponível em: <https://www.escolaedti.com.br/como-fazer-uma-boa-analise-de-dados>. Acesso em: 27 de out. de 2019.

PIMENTA, Sandro Morais *et al.* Qualidade da água e correlação de parâmetros físico-químicos em drenagens urbana e rural de Formosa (GO). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 1, p. 78-94, 2015. DOI: 10.6008/SPC2179-6858.2015.001.0007. Disponível em: <http://sustenere.co/index.php/rica/article/view/SPC2179-6858.2015.001.0007>

RIBEIRO, Tiago Godoi *et al.* Estudo da qualidade das águas por meio da correlação de parâmetros físico-químicos, Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns. **Geochimica Brasiliensis**, v. 30, n. 1, p. 84-94, 2017. DOI:10.21715/GB2358-2812.2016301084. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/geobras/article/viewFile/10327/9625>. Acesso em 10 de jun de 2020.

RIO GRANDE DO SUL, SEMA. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Bacias Hidrográficas**. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>. Acesso em:01 de abril de 2019.

ROCHA, César Henrique Barra; PEREIRA, Amanda Maia. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, n. 1, p. 176-187, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1590>. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v11n1/1980-993X-ambiagua-11-01-00176.pdf>. Acesso em: 10 de mar. de 2019.

ROCHA, César Henrique Barra; SILVA, Thiago Martins da; FREITAS, Fabiano Amarante; Processos condicionantes de alterações em variáveis limnológicas: uma abordagem estatística na Represa de São Pedro, Juiz de Fora (MG). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 131-138, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-415220201600100113419>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522016000100131&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em:06 de mai. de 2019.

SAAD, Antonio Roberto *et al.* Índice de estado trófico da bacia hidrográfica do Ribeirão Tanque Grande, Guarulhos (SP): análise comparativa entre as zonas rural e urbana. **Geociências (São Paulo)**, v. 32, n. 4, p. 611-624, 2013.

SABINO, Claudia Vilhena Schayer; LAGE, Ludmila Vieira; ALMEIDA, Katiane Cristina de Brito. Uso de métodos estatísticos robustos na análise ambiental. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. spe, 2014. p. 87-94. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522014019010000588>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522014000500087&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em 01 de jul. de 2019.

SANTOS, Humberto G. dos, *et. al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 355p.

SANTOS, Rosa Cecília Lima *et al.* Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. **Engenharia Sanitária Ambiental. Rio de Janeiro**, v. 23, n. 1, p. 33-46, 2018. DOI: 10.1590/S1413-41522017159832. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/2017nahead/1809-4457-esa-s1413-41522017159832.pdf>

SILVA, Daniel Clemente Vieira Rêgo da *et al.* Avaliação da eficiência de um índice de estado trófico na determinação da qualidade da água de reservatórios para abastecimento público. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 627-635, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018168445>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522018000400627&script=sci_arttext.

SILVEIRA, Livia Garcia. **Estudo comparativo da utilização do IQA-NSF e IQA-CCME para análise da qualidade da água no estado do Rio de Janeiro**. 2018. Dissertação de mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

SIMON, Adriano Luís Heck; DA SILVA, Pâmela Freitas. Análise geomorfológica da planície lagunar sob influência do canal São Gonçalo–Rio Grande do Sul–Brasil. **Geociências (São Paulo)**, v. 34, n. 4, p. 749-767, 2016. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/9029/8294>. Acesso em: 25 de jun. de 2019.

SOUZA, Mariana Farias de. **Qualidade da água do canal São Gonçalo-RS/Brasil - uma avaliação hidroquímica considerando seus usos múltiplos**. 2015. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

TELLES, Dirceu A.; GÓIS, Josué de S. **Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão**. Blucher, 2013.

TRINDADE, Ana Laura Cerqueira *et al.* Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 13-24, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522016131457. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/esa/2016nahead/1809-4457-esa-S1413_41522016131457.pdf. Acesso em 25 de mar. de 2019.

TUCCI, Carlos E. M; MENDES, Carlos André. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 302 p.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996. 240 p.

VOZA, Danijela. *et al.* Application of multivariate statistical techniques in the water quality assessment of Danube river, Serbia. **Archives of Environmental Protection**, v. 41, n. 4, p. 96-103, 2015. <https://doi.org/10.1515/aep-2015-0044>. Disponível em: <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/aep.2015.41.issue-4/aep-2015-0044/aep-2015-0044.pdf>. Acesso em: 20 de mar. de 2019.