

Polo



ProfÁgua

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS – IPH
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS – PROFÁGUA

**APLICAÇÃO DO IQA-CCME EM SÉRIE HISTÓRICA DE
QUALIDADE DA ÁGUA: ESTUDO DE CASO DAS SUB-BACIAS
DO ARROIO DO SALSO E DO ARROIO LAMI, RS**

DÉBORA CAMARGO STRADA

Porto Alegre/RS
2021

Polo



ProfÁgua



ProfÁgua



DÉBORA CAMARGO STRADA

**APLICAÇÃO DO IQA-CCME EM SÉRIE HISTÓRICA DE QUALIDADE DA
ÁGUA: ESTUDO DE CASO DAS SUB-BACIAS DO ARROIO DO SALSO E
DO ARROIO LAMI, RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua) Polo IPH/UFRGS como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Banca examinadora:

Prof. Dr. Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes

Prof. Dr. Friedrich Wilhelm Herms

Prof^a. Dra. Maria Cristina de Almeida Silva

Porto Alegre/RS
2021

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

Strada, Débora Camargo
APLICAÇÃO DO IQA-CCME EM SÉRIE HISTÓRICA DE
QUALIDADE DA ÁGUA: ESTUDO DE CASO DAS SUB-BACIAS DO
ARROIO DO SALSO E DO ARROIO LAMI, RS / Débora Camargo
Strada. -- 2021.
120 f.
Orientador: Nelson Luiz Sambaqui Gruber.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas,
Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de
Recursos Hídricos, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. IQA-CCME. 2. Índice de qualidade da água. 3.
Sub-bacia do Arroio do Salso. 4. Sub-bacia do Arroio
Lami. 5. ICE. I. Gruber, Nelson Luiz Sambaqui, orient.
II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Polo



ProfÁgua

“There is no better teacher than adversity. Every defeat, every heartbreak, every loss, contains its own seed, its own lesson on how to improve your performance the next time.”
(Malcolm X)

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas (ANA) através do Projeto CAPES/ANA AUXPE No. 2717/2015 - Portaria CAPES n° 206, de 04 de setembro de 2018.

Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos-PROFÁGUA da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), pelo apoio técnico científico oferecido, e a ANA e a CAPES pelo apoio ao PROFÁGUA aportado até o momento.

Agradeço ao Prof. Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber e ao Prof. Dr. Friedrich Wilhelm Herms por suas contribuições e direcionamentos na presente pesquisa.

Agradeço ao Departamento Municipal de Água e Esgotos – DMAE por todo apoio prestado para que fosse possível a realização da presente pesquisa e do curso de mestrado.

Agradeço ao apoio de familiares, amigos e colegas que acreditam na ciência e na minha capacidade de fazer parte dela.

Agradeço especialmente à minha mãe, Cloé Beatriz Moreira Camargo, que está presente em todos os momentos da minha caminhada.

RESUMO

Considerando a quantidade e complexidade dos dados gerados no monitoramento de corpos d'água e a finalidade deste informar o público em geral, bem como orientar os órgãos responsáveis na tomada de decisão, o estudo traz a importância da utilização dos índices como ferramentas de gestão dos recursos hídricos. A presente pesquisa explora a aplicabilidade do IQA-CCME, índice desenvolvido pelo Canadian Council of the Ministers of the Environment - CCME, na avaliação da evolução histórica da qualidade da água do arroio Lami e do arroio do Salso. A pesquisa utilizou dados de qualidade da água monitorados pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos -DMAE, do município de Porto Alegre, para o cálculo do IQA-CCME através da calculadora CCME WATER QUALITY INDEX 1.0 (CWQI 1.0). Foi possível verificar as principais vantagens atribuídas ao IQA-CCME no decorrer da pesquisa. A aparente tendência da redução dos IQA's ao longo do tempo indica que o aumento da degradação dos arroios pode estar relacionado ao crescimento das ocupações no extremo sul do município de Porto Alegre, região das duas sub-bacias em estudo. Considera-se um grande desafio a solução dos problemas no que tange ao atingimento das metas de enquadramento, principalmente para o Arroio do Salso. Observou-se ainda que o IQA pode ser alterado conforme o conjunto de parâmetros utilizados, e a variação da quantidade de dados de cada parâmetros. Verificou-se que os resultados de IQA da área são mais sensíveis à variação na quantidade de parâmetros analisados de *Escherichia Coli* e Fósforo Total do que para DBO. Algumas avaliações foram prejudicadas pela falta de padronização no monitoramento. As dificuldades encontradas foram discutidas e apresentou-se uma proposta de melhoria para o monitoramento da qualidade da água. Considerando a importância dos resultados obtidos, que demonstram a degradação da qualidade da água ao longo do tempo e distanciamento das metas de enquadramento para ambos os arroios, o estudo realizado mostrou que o IQA-CCME é bem apropriado para a avaliação de séries históricas de qualidade de água em bacias hidrográficas, devendo ser estabelecido um protocolo com os tópicos indicados no estudo para a sua padronização e utilização pelos órgãos gestores.

Palavras-chave: qualidade da água; IQA-CCME; sub-bacia do Arroio do Salso; sub-bacia do Arroio Lami.

ABSTRACT

Considering the amount and complexity of the data generated in the monitoring of bodies of water and the purpose of this to inform the general public as well as to guide the responsible bodies in decision making, the study highlights the importance of using the indexes as tools for resource management water resources. This research explores the applicability of the WQI-CCME, an index developed by the Canadian Council of the Ministers of the Environmental - CCME, in the evaluation of the historical evolution of the water quality of the Lami stream and the Salso stream. The research used water quality data monitored by the Municipal Department of Water and Sewage - DMAE, in the municipality of Porto Alegre, for the calculation of the WQI-CCME using the CCME WATER QUALITY INDEX 1.0 (CWQI 1.0) calculator. It was possible to verify the main advantages attributed to the WQI-CCME during the research. The apparent trend towards a reduction in the WQI over time indicates that the increase in the degradation of the streams may be related to the growth of occupations in the extreme south of the municipality of Porto Alegre, region of the two sub-basins under study. It is considered a great challenge to solve the problems regarding the achievement of the framing goals, mainly for Salso stream. It was also observed that the WQI can be changed according to the set of parameters used, and the variation in the amount of data for each parameter. It was found that the WQI results in the area are more sensitive to variation in the number of parameters analyzed for *Escherichia Coli* and Total Phosphorus than for BOD. Some assessments were hampered by the lack of standardization in monitoring. The difficulties encountered were discussed and an improvement proposal was presented for the monitoring of water quality. Considering the importance of the results obtained, which demonstrate the degradation of water quality over time and distancing from the framing goals for both streams, the study carried out showed that the WQI-CCME is well suited for the evaluation of historical series of water quality in hydrographic basins, and a protocol with the topics indicated in the study should be established for its standardization and use by management bodies.

Palavras-chave: water quality; IQA-CCME; Arroio do Salso sub-basin; Arroio Lami sub-basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classes de enquadramento d'água superficiais, caracterização dos usos e nível de qualidade da água associados, para as águas doces.	26
Figura 2: Classes de enquadramento das águas doces e usos respectivos.	26
Figura 3: Esquematização das metas progressivas de qualidade da água.	27
Figura 4: Curvas médias de variação de qualidade das águas.	29
Figura 5: Mapa do estado do Rio Grande do Sul com localização da bacia hidrográfica do Lago Guaíba.	38
Figura 6: Mapa de sub-bacias hidrográficas da bacia do Lago Guaíba que abrangem o Município de Porto Alegre e delimitação da área de estudo.	40
Figura 7: Imagem de satélite da sub-bacia do arroio do Salso em 1985.	44
Figura 8: Imagem de satélite da sub-bacia do arroio do Salso em 2000.	45
Figura 9: Imagem de satélite da sub-bacia do arroio do Salso em 2015.	45
Figura 10: Imagem de satélite da sub-bacia do arroio Lami em 1985.	46
Figura 11: Imagem de satélite da sub-bacia do arroio Lami em 2000.	46
Figura 12: Imagem de satélite da sub-bacia do arroio Lami em 2015.	47
Figura 13: Mapa de uso e ocupação do solo das sub-bacias da bacia hidrográfica do Lago Guaíba.	48
Figura 14: SES Salso – bacias e subsistemas.	50
Figura 15: SES Lami – bacias e subsistemas.	51
Figura 16: Classes por segmento da bacia hidrográfica do Lago Guaíba com destaque para pontos associados à área de estudo.	53
Figura 17: Classificação metodológica dos procedimentos de pesquisa.	57
Figura 18: Imagem de Satélite com demarcação das estações de monitoramento do Arroio Lami e do Arroio do Salso.	59
Figura 19: Procedimento de avaliação das sub-bacias a partir dos resultados de IQA.	75
Figura 20: Ilustração do modelo de inserção de dados na calculadora CWQI 1.0.	76
Figura 21: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME para as categorias do Grupo 1 na estação 71A.	81
Figura 22: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME para as categorias do Grupo 1 na estação 71B.	81
Figura 23: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME para o conjunto total de parâmetros do Grupo 1 na estação 71A.	84
Figura 24: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME para o conjunto total de parâmetros do Grupo 1 na estação 71B.	84
Figura 25: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME para as categorias do Grupo 2 na estação 71A.	87
Figura 26: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME para as categorias do Grupo 2 na estação 71B.	87
Figura 27: Gráfico da evolução temporal bianual do IQA-CCME para as categorias do Grupo 2 na estação 71A.	89
Figura 28: Gráfico da evolução temporal bianual do IQA-CCME para as categorias do Grupo 2 na estação 71B.	89
Figura 29: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME para o conjunto total de parâmetros do Grupo 2 na estação 71A.	92
Figura 30: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME para o conjunto total de parâmetros do Grupo 2 na estação 71B.	92

Figura 31: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME na estação AL1 para as classes 2 e 3.	94
Figura 32: Gráfico da evolução temporal bianual do IQA-CCME na estação AL1 para as classes 2 e 3.	95
Figura 33: Gráfico da evolução temporal bianual do IQA-CCME comparativo entre estações AL1, 71A e 71B para a categoria Esgoto.	97
Figura 34: Gráfico comparativo de IQA de referência e IQA's para variação de análises do parâmetro <i>Escherichia Coli</i> ao longo dos anos.	99
Figura 35: Gráfico comparativo de IQA de referência e IQA's para variação de análises do parâmetro Fósforo Total ao longo dos anos.	99
Figura 36: Gráfico comparativo de IQA de referência e IQA's para variação de análises do parâmetro DBO ao longo dos anos.	100
Figura 37: gráficos dos IQA's anuais variando com o número de análises do parâmetro <i>Escherichia Coli</i>	101
Figura 38: gráficos dos IQA's anuais variando com o número de análises do parâmetro Fósforo Total.	101
Figura 39: gráficos dos IQA's anuais variando com o número de análises do parâmetro DBO.	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados quantitativos de parâmetros coletados na estação 71A em série histórica de qualidade da água.....	61
Tabela 2: Dados quantitativos de parâmetros coletados na estação 71B em série histórica de qualidade da água.....	62
Tabela 3: Dados quantitativos de parâmetros coletados na estação AL1 em série histórica de qualidade da água.....	63
Tabela 4: Parâmetros selecionados conforme grupos e categorias de estudo associados aos padrões por classe de enquadramento.....	74
Tabela 5: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para as categorias do Grupo 1 da estação 71A.	80
Tabela 6: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para as categorias do Grupo 1 da estação 71B.	80
Tabela 7: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para o conjunto total de parâmetros do Grupo 1 da estação 71A.....	82
Tabela 8: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para o conjunto total de parâmetros do Grupo 1 da estação 71B.....	82
Tabela 9: Parâmetros testados e não conformes em período anual para o conjunto total de parâmetros do Grupo 1 da estação 71A.....	83
Tabela 10: Parâmetros testados e não conformes em período anual para o conjunto total de parâmetros do Grupo 1 da estação 71B.....	83
Tabela 11: Equações das linhas de tendência lineares para as curvas dos gráficos das Figuras 21, 22, 23 e 24.....	85
Tabela 12: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para as categorias do Grupo 2 da estação 71A	86
Tabela 13: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para as categorias do Grupo 2 da estação 71B	87
Tabela 14: Dados de cálculos do IQA-CCME bianual para as categorias do Grupo 2 da estação 71A.....	88
Tabela 15: Dados de cálculos do IQA-CCME bianual para as categorias do Grupo 2 da estação 71B.....	88
Tabela 16: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para o conjunto total de parâmetros do Grupo 2 da estação 71A.....	90
Tabela 17: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para o conjunto total de parâmetros do Grupo 2 da estação 71B.....	90
Tabela 18: Parâmetros testados e não conformes em período anual para o conjunto total de parâmetros do Grupo 2 da estação 71A.....	91
Tabela 19: Parâmetros testados e não conformes em período anual para o conjunto total de parâmetros do Grupo 2 da estação 71B.....	91
Tabela 20: Equações das linhas de tendência lineares para as curvas dos gráficos das Figuras 25, 26, 27 e 28.....	93
Tabela 21: Equações das linhas de tendência lineares para as curvas dos gráficos das Figuras 29 e 30.....	93
Tabela 22: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para a estação AL1 nas classes 2 e 3.....	94
Tabela 23: Dados de cálculos do IQA-CCME bianual para a estação AL1 nas classes 2 e 3.....	95
Tabela 24: Parâmetros testados e não conformes em período bianual para a estação AL1 nas classes 2 e 3.....	95
Tabela 25: Equações das linhas de tendência lineares para as curvas dos gráficos das Figuras 31 e 32.....	96
Tabela 26: Equações das linhas de tendência lineares para as curvas do gráfico da Figura 33.....	98

Tabela 27: IQA's para referência e testes de variação de número de análises de <i>Escherichia Coli</i> , Fósforo Total e DBO com suas respectivas linhas de tendência lineares das curvas resultantes.....	99
Tabela 28: Equações das linhas de tendência lineares para as curvas dos gráficos das Figuras 34, 35 e 36.....	100
Tabela 29: Equações das linhas de tendência lineares para as curvas dos gráficos das Figuras 37, 38 e 39.....	102
Tabela 30: Sugestão de parâmetros e frequência de análises para o monitoramento da sub-bacia do Arroio do Salso.....	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais parâmetros indicadores de qualidade da água.....	23
Quadro 2: Descrição das categorias da qualidade da água conforme IQA –CCME	35
Quadro 3: Classes por parâmetros e classe adotada no enquadramento das sub-bacias do Arroio do Salso e Arroio Lami	54
Quadro 4: Coordenadas geográficas das estações de monitoramento do Arroio Lami e do Arroio do Salso	58
Quadro 5: Categorias de uso e ocupação do solo das sub-bacias do Arroio do Salso e do Arroio Lami	64
Quadro 6: Parâmetros básicos para as categorias de uso das sub-bacias do Arroio do Salso e Arroio Lami	65
Quadro 7: Parâmetros disponíveis nas estações de coleta associados aos aspectos de legislação, usos e tipo do solo.....	67
Quadro 8: Aspectos relevantes para seleção dos parâmetros de estudo	68
Quadro 9: Resumo da metodologia definida nas etapas anteriores	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ANA - Agência Nacional de Águas
CCME WQI - Canadian Council of Ministers of the Environmental Water Quality Index
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
Comunidades Aquáticas
CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONSEMA - Conselho Estadual de Meio Ambiente
COT- Carbono Orgânico Total
CQS - Critério de Qualidade dos Sedimentos
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
DEM HAB - Departamento Municipal de Habitação
DQO - Demanda química de oxigênio
ETE - Estação de Tratamento de Esgoto
HAPs - Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
IAP - Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de Abastecimento Público
IB - Índice de Balneabilidade
ICE - Índice de Conformidade ao Enquadramento
IQA -Índice de Qualidade da Água
IQA-CCME- Índice de Qualidade da Água do Canadian Council of Ministers of the Environmental
IQA-CETESB - Índice de Qualidade da Água adaptado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
IQA-NSF - Índice de Qualidade da Água da National Sanitation Foundation
IVA - Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de
NSF - National Sanitation Foundation
OD - Oxigênio dissolvido
pH- Potencial Hidrogeniônico
PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico
PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente
PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos
REVIS- Refúgio de Vida Silvestre
SD - Sólidos Decantáveis
SDT - Sólidos Dissolvidos Totais
SES- Sistema de Esgotamento Sanitário
SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SISAUTO - Sistema de Automonitoramento de Efluentes Líquidos Industriais
SISNAMA - Sistema Nacional de Meio Ambiente
SST - Sólidos Suspensos Totais
ST - Sólidos Totais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS.....	20
2.1	OBJETIVO GERAL	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1	QUALIDADE DA ÁGUA	21
3.1.1	<i>Monitoramento da qualidade da água.....</i>	<i>21</i>
3.1.2	<i>Legislação Aplicada à qualidade da água.....</i>	<i>23</i>
3.2	ENQUADRAMENTO DE CORPOS D'ÁGUA.....	25
3.3	ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA	28
3.4	IQA - CCME.....	31
3.4.1	<i>Composição do IQA - CCME.....</i>	<i>32</i>
3.4.2	<i>Diretrizes para utilização do IQA - CCME.....</i>	<i>36</i>
4	ÁREA DE ESTUDO.....	38
4.1	BACIA HIDROGRÁFICA DO LAGO GUAÍBA.....	38
4.2	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA SUB-BACIA DO ARROIO DO SALSO	41
4.3	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA SUB-BACIA DO ARROIO LAMI	42
4.4	BREVE HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA.....	42
4.4.1	<i>Registros de avanços populacionais das sub-bacias</i>	<i>44</i>
4.5	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	47
4.6	ESGOTAMENTO SANITÁRIO	49
4.6.1	<i>Sistema de Esgotamento Sanitário Salso</i>	<i>49</i>
4.6.2	<i>Sistema de Esgotamento Sanitário Lami.....</i>	<i>50</i>
4.7	OUTROS ESTUDOS RELACIONADOS À QUALIDADE DA ÁGUA DA ÁREA	51
4.7.1	<i>Plano de Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba</i>	<i>52</i>
4.7.2	<i>Plano de Manejo do Refúgio de Vida Silvestre São Pedro</i>	<i>54</i>
4.7.3	<i>Influência do Lançamento do Efluente de Lagoas de Estabilização na Qualidade das Águas do Arroio do Salso</i>	<i>55</i>
5	MATERIAL E MÉTODOS	57
5.1	LEVANTAMENTO DOS DADOS	58
5.2	ESCOLHA DE PARÂMETROS E CATEGORIAS DE USOS.....	64
5.2.1	<i>Conjunto básico de parâmetros associado ao uso e ocupação do solo das sub-bacias.....</i>	<i>64</i>
5.2.2	<i>Parâmetros específicos locais.....</i>	<i>66</i>
5.2.3	<i>Disponibilidade de análises e de padrões definidos em legislação vigente</i>	<i>66</i>
5.2.4	<i>Aspectos relevantes para seleção de parâmetros de estudo e considerações necessárias.....</i>	<i>68</i>
5.2.5	<i>Correlações e aproximações de parâmetros.....</i>	<i>71</i>
5.3	METODOLOGIA DE CÁLCULOS E AVALIAÇÕES DE RESULTADOS	73
5.3.1	<i>Tratamento de dados e utilização da calculadora CWQI 1.0</i>	<i>76</i>
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
6.1	RESULTADOS DE IQA PARA O ARROIO DO SALSO	78
6.1.1	<i>Grupo 1.....</i>	<i>79</i>
6.1.2	<i>Grupo 2.....</i>	<i>86</i>
6.2	RESULTADOS DE IQA PARA O ARROIO LAMI	94
6.3	RESULTADOS DA COMPARAÇÃO DA CATEGORIA ESGOTO ENTRE ARROIO LAMI E ARROIO DO SALSO	96
6.4	ANÁLISE DA SENSIBILIDADE DOS IQA'S À VARIAÇÃO NO NÚMERO DE ANÁLISES PARA UM DETERMINADO PARÂMETRO.....	98
6.5	ASPECTOS DE ADEQUAÇÃO DA METODOLOGIA AO CASO DE ESTUDO.....	103

6.6	PROPOSTA PARA MELHORIA NA EFETIVIDADE DO MONITORAMENTO DE CORPOS HÍDRICOS.....	105
6.6.1	<i>Roteiro para elaboração de plano de monitoramento de corpos d'água aplicado à seleção de parâmetros.....</i>	<i>106</i>
6.6.2	<i>Sugestão de parâmetros e frequência de análises para a sub-bacia de Arroio do Salso.....</i>	<i>106</i>
7	CONCLUSÕES	109

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, ocorreu um aumento considerável da pressão sobre os recursos hídricos em função do crescimento demográfico e econômico do Brasil. Apesar do país ser um dos mais ricos do mundo em quantidade de água doce, há problemas relacionados à distribuição desse recurso nas diversas regiões (ANA, 2020a). Além das restrições de ordem quantitativa, houve progressiva degradação da qualidade das águas dos rios em virtude do aumento de lançamento de efluentes domésticos, agrícolas e industriais, consequência da intensificação do uso e ocupação do solo para diversos fins.

Observa-se que a situação é agravada nos grandes centros urbanos considerando os impactos gerados aos recursos hídricos decorrentes do crescimento populacional sem planejamento urbano adequado, além dos problemas relacionados ao aporte de matéria orgânica e nutrientes que estão associados à poluição por esgotos lançados sem o tratamento adequado (ANA, 2017). Sendo a disponibilidade hídrica fator fundamental ao desenvolvimento econômico, social e cultural de uma região, ocorrem os crescentes conflitos envolvendo os usos múltiplos da água.

A partir da necessidade de gestão adequada das águas surgiu a Lei Federal nº 9.433/97, conhecida como Lei das Águas, que é considerada um avanço no gerenciamento dos recursos hídricos do Brasil. Esta Lei instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (BRASIL, 1997), e no seu Art. 5º foram estabelecidos os instrumentos de gestão dos recursos hídricos, dentre eles o enquadramento de corpos d'água que se destaca como o principal instrumento de integração entre a gestão ambiental e de qualidade das águas (ANA, 2013a). Isto ocorre pelo fato do enquadramento utilizar como base as classes dispostas na legislação ambiental, a Resolução CONAMA nº357/2005, em que são delimitados padrões de qualidade da água conforme os usos preponderantes da bacia (CONAMA, 2005).

Para fins de caracterizar e quantificar a ação das atividades antrópicas sob os corpos hídricos são utilizadas metodologias de avaliações das variáveis que possam demonstrar as características físicas, químicas e biológicas da água (VON SPERLING, 2014). O monitoramento de corpos d'água é executado ou solicitado pelos órgãos ambientais e costuma gerar bancos de dados volumosos com diversos parâmetros. Devido à quantidade e complexidade dos dados, que muitas vezes não são sistemáticos, há dificuldade na obtenção

de conclusões sobre a evolução da qualidade da água das bacias e, conseqüentemente, pouca utilidade do monitoramento na gestão adequada da qualidade dos recursos hídricos.

Os resultados do monitoramento devem ser utilizados para informar o público em geral bem como orientar os órgãos responsáveis na tomada de decisão, e algumas ferramentas servem para facilitar este processo. Assim, os índices de qualidade da água - IQA's, utilizados para caracterizar a qualidade da água, podem ser considerados uma importante ferramenta de gestão de bacias hidrográficas por fornecer a evolução da qualidade ao longo do tempo e espaço (CORADI et al., 2009). Existem diversos índices de qualidade da água desenvolvidos pelo mundo e estudos constantes de forma a aprimorar os resultados e as ferramentas de gestão.

No Brasil, o índice mais utilizado, IQA-CETESB, foi desenvolvido pela a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. Este foi adaptado do Índice de qualidade da água da National Sanitation Foundation – NSF, o IQA-NSF, criado nos EUA em 1970 (CETESB, 2020). Já o índice escolhido para a presente pesquisa, denominado IQA-CCME, foi desenvolvido no Canadá por uma subcomissão técnica de qualidade da água do Canadian Council of Ministers of the Environmental Water Quality Index - CCME WQI (CCME, 2001).

Visando contribuir para a gestão dos recursos hídricos, propõem-se avaliar a série histórica da qualidade da água do Arroio Lami e do Arroio do Salso através da aplicação do IQA-CCME, de forma a considerar as potencialidades da utilização do índice como ferramenta de gestão de recursos hídricos. A área de estudo escolhida para a aplicação do índice abrange duas sub-bacias pertencentes à bacia hidrográfica do Lago Guaíba: sub-bacia do Arroio Lami e sub-bacia do Arroio do Salso. Para a avaliação proposta, solicitou-se dados de qualidade da água monitorados pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE), do município de Porto Alegre, para aplicação do IQA-CCME através da calculadora CCME WATER QUALITY INDEX 1.0 - CWQI 1.0 (CCME, 2001).

Estudos apontam que a área de estudo é marcada pelo crescimento de ocupações irregulares, sendo que a sub-bacia do arroio Lami encontra-se mais preservada, enquanto a sub-bacia do arroio do Salso possui ocupação mais intensa (PORTO ALEGRE, 2017). Silva (2017) recomendou o estudo do IQA-CCME com base na evolução do uso e ocupação do solo na região estudada ao longo do tempo através de mapas temáticos. Julgou-se a área apropriada para aplicar as avaliações sugeridas. Portanto, entende-se como relevância da pesquisa a possibilidade que o IQA-CCME proporciona de uma análise multitemporal e multiespacial da

qualidade da água e dos impactos relacionados ao uso e ocupação do solo das regiões contribuintes de uma determinada bacia hidrográfica.

A integração do índice com o enquadramento de corpos d'água, e com os usos da bacia hidrográfica e a flexibilidade e abrangência na escolha de parâmetros são vantagens atribuídas ao IQA-CCME (CCME, 2001) que justificam a escolha do mesmo como ferramenta deste estudo. Segundo Silva (2017), apesar de vantajosa, a flexibilidade da escolha dos parâmetros pode implicar na definição inadequada e resultados distorcidos, e sugeriu a verificação da sensibilidade dos resultados aos parâmetros. Neste sentido, a pesquisa preocupou-se ainda em avaliar as influências da presença e variação na quantidade de dados de determinados parâmetros nos resultados do cálculo do IQA, além de embasar os critérios de análise em dados específicos dos impactos das bacias.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a série histórica da qualidade da água do Arroio Lami e do Arroio do Salso através da aplicação do IQA-CCME de forma a considerar as potencialidades da utilização desse índice como ferramenta de gestão de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Integrar aplicação do IQA-CCME ao enquadramento, a características específicas e aos usos preponderantes das sub-bacias envolvidas conforme o plano de bacia hidrográfica;
- Analisar valores multitemporais e multiespaciais de IQA-CCME calculados sob a ótica dos diferentes aspectos de tipo, uso e ocupação do solo das regiões contribuintes, através de embasamento teórico das áreas e imagens de satélite;
- Avaliar as influências da presença e variação na quantidade de dados de determinados parâmetros nos resultados do cálculo do IQA
- Discutir a praticabilidade do IQA-CCME como ferramenta de gestão de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, a partir da experiência na área de estudo consideradas as vantagens e limitações do índice;
- Identificar pontos de melhoria no monitoramento dos arroios a partir das limitações encontradas na aplicação do índice IQA-CCME .

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentadas referências teóricas relevantes na construção do trabalho, como conceitos relativos à qualidade da água, ao monitoramento da qualidade da água, à legislação aplicada e aos índices de qualidade da água. Além dos aspectos gerais da legislação aplicada foi dado destaque a um dos instrumentos da gestão de recursos hídricos: o enquadramento de corpos d'água. Foi explorado mais detalhadamente o índice utilizado na metodologia desta pesquisa, o IQA-CCME.

3.1 QUALIDADE DA ÁGUA

Qualidade não é uma condição estática de um ambiente ou sistema, nem pode ser definida pela medição ou estimativa de uma única grandeza. A qualidade da água é percebida como a variação de um conjunto de parâmetros intrínsecos que limita seu uso, sendo extremamente variável no tempo e no espaço (EMBRAPA, 2018). Segundo Von Sperling (2014) a qualidade da água, resultante dos fenômenos naturais e das ações antrópicas, pode ser considerada uma função das condições naturais e do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica. Esta também pode ser determinada pelos processos naturais, como clima, precipitação, erosão, intemperismo, geologia e tipo de solo (SINGH et al., 2004).

As práticas antrópicas, tais como atividades urbanas, industriais e agrícolas (uso e ocupação do solo) e o aumento da exploração dos recursos hídricos em geral, que podem ocorrer tanto de forma concentrada como na forma dispersa, influenciam diretamente na qualidade da água em uma região (SINGH et al., 2004; VON SPERLING, 2014). O comprometimento desta é comum em áreas urbanas, onde normalmente ocorre o lançamento de esgotos nos corpos hídricos sem o adequado tratamento, podendo impactar na saúde da população e até inviabilizar o atendimento de usos a jusante (ANA, 2017).

3.1.1 Monitoramento da qualidade da água

Dada a crescente complexidade de garantir a qualidade da água nas diversas regiões torna-se importante o seu estudo contemplando os seus mais variados aspectos (BRAGA et al., 2005). Monitoramento é definido pelo conjunto de práticas que visam o acompanhamento de determinadas características de um sistema associado a um objetivo. Trata-se do acompanhamento das alterações nas características físicas, químicas e biológicas da água, decorrentes de atividades antrópicas e de fenômenos naturais (ANA, 2020b). Esta prática torna-se importante por possibilitar a identificação de quais atividades humanas são potencialmente degradantes aos recursos hídricos (BRAGA et al.,

2005). Quando existem dados confiáveis disponíveis sobre a qualidade da água, estes podem ser usados como suporte para a implantação de políticas públicas (UFSC, 2014).

O monitoramento da qualidade da água é realizado através da coleta de dados e de amostras de água em locais específicos (georreferenciados), em intervalos regulares de tempo, de modo a gerar informações que possam ser utilizadas para a definição das condições presentes de qualidade da água (ANA, 2020b). A interpretação de séries históricas de dados permite melhor compreensão da evolução temporal da qualidade ambiental e sua correlação com outros fenômenos, climáticos ou econômicos, indicando prioridades nas ações de gestão dos recursos naturais (LAMPARELLI, 2004).

Considerando que os graus de pureza da água podem ser alterados por diversos componentes, a qualidade da água pode ser representada por parâmetros que retratem suas diferentes características (VON SPERLING, 2014). São apresentados no Quadro 1 os principais parâmetros utilizados na avaliação da qualidade da água:

Quadro 1: Principais parâmetros indicadores de qualidade da água

PRINCIPAIS PARÂMETROS INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA				
Parâmetros físicos	Parâmetro inorgânico não metálico	Parâmetros orgânicos	Parâmetros biológicos e microbiológicos	Parâmetros metálicos
Condutividade	Acidez	Demanda	Plâncton	Alumínio
Cor	Alcalinidade	Bioquímica	Macroinvertebrados	Arsênico
Odor	Boro	de Oxigênio - DBO	Macrófitas	Bário
Sabor	Dióxido de Carbono	Demanda Química	Algas	Bérblio
Salinidade	Cloreto	de Oxigênio - DQO	Coliformes totais	Cádmio
Sólidos	Cloro (Residual)	Ácidos voláteis orgânicos	Coliformes fecais	Cálcio
Temperatura	Cianeto	Carbono Orgânico	Salmonela	Cromo
Turbidez	Flúor	Total - COT	Protozoários	Cobre
	Iodo	Halogênio orgânico	Vírus	Ferro
	Nitrogênio	Metano	Bactérias	Chumbo
	Oxigênio Dissolvido	Óleos e graxas	Fungos	Lítio
	- OD	Pesticidas orgânicos		Magnésio
	Ozônio	Fenóis		Manganês
	Potencial Hidrogênico - pH	Surfactantes		Mercúrio
	Fósforo	Tanino e lignina		Níquel
	Sílica			Potássio
	Sulfato			Selênio
	Sulfeto			Prata
	Sulfito			Sódio
				Zinco

FONTE: CPRH (2020)

3.1.2 Legislação Aplicada à qualidade da água

Instituída pela lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, conhecida como Lei das Águas, a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH se refere à gestão das águas no Brasil. A PNRH representa uma importante mudança do ambiente institucional regulador dos recursos hídricos do Brasil e deu maior abrangência ao Código das Águas, instituído em 1934 pelo decreto nº 24.643 (ANA, 2020c). Este decreto é considerado o primeiro marco legal do gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil e tinha por objetivo regulamentar o uso das águas e promover o desenvolvimento econômico do país com foco na produção de energia elétrica (ANA, 2020c).

A PNRH tem como um de seus objetivos “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”. A referida lei tem como fundamentos a água como um bem de domínio público, recurso natural limitado e dotado de valor econômico, estabelece o respeito aos usos múltiplos da água e prioridade o abastecimento humano e dessedentação animal em casos de escassez (BRASIL, 1997).

A Lei das Águas estabelece, ainda em seus fundamentos, a bacia hidrográfica como unidade de gestão dos recursos hídricos e dá outro passo importante tornando a gestão dos recursos hídricos descentralizada e participativa (BRASIL, 1997). Seu caráter descentralizador se dá por criar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH, que integra União e estados. Já o aspecto participativo fica evidente na inovação da lei através da instalação de comitês de bacias hidrográficas que une nas três instâncias, poderes públicos, usuários e sociedade civil na gestão de recursos hídricos (ANA, 2020a).

As diretrizes da PNRH, descritas no Art. 3º da Lei 9.433, integram a gestão dos recursos hídricos com o gerenciamento ambiental e o uso do solo, e articulam o planejamento de recursos hídricos com o de setores usuários e o planejamento regional, estadual e nacional. No Art. 5º da mesma Lei ficaram estabelecidos cinco instrumentos de gestão dos recursos hídricos: plano de recursos hídricos, enquadramento de corpos d’água, outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos, cobrança pelo uso dos recursos hídricos e sistema de informações sobre recursos hídricos (BRASIL, 1997).

Dentre os instrumentos de gestão de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos d’água se destaca como o principal instrumento de integração entre a gestão de qualidade das águas e a gestão ambiental. Inclusive esta integração é prevista expressamente na PNRH, por considerar as classes dos corpos d’água aquelas estabelecidas pela legislação ambiental, mais especificamente pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA (ANA, 2020a; BRASIL, 1997).

A Lei nº 6.938 de 1981 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA instituiu o Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA. O SISNAMA tem como órgão consultivo e deliberativo, o CONAMA. O CONAMA tem por finalidade estudar e propor diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado (BRASIL, 1981).

Em 1986 o CONAMA definiu o enquadramento dos corpos de água segundo classes de usos preponderantes, padrões de qualidade e limites de lançamento de efluentes através da Resolução CONAMA nº20 (CONAMA, 1986). Esta Resolução foi substituída em 2005 pela Resolução CONAMA nº 357 (CONAMA, 2005), posteriormente alterada pelas resoluções CONAMA nº

397/2008 e CONAMA nº 410/2009 (CONAMA, 2008; CONAMA, 2009) e finalmente complementada e alterada pela Resolução nº 430/2011 (CONAMA, 2011).

3.2 ENQUADRAMENTO DE CORPOS D'ÁGUA

O enquadramento dos corpos de água é um importante instrumento da gestão de recursos hídricos, podendo ser considerado o aspecto legal das aspirações da sociedade relativas à qualidade das águas (OPPA, 2007). Através da associação de classes de uso, este instrumento tem a finalidade de assegurar qualidade compatível com os usos mais exigentes da bacia e, também, reduzir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes e ações corretivas (BRASIL, 1997). Segundo ANA (2013a) o enquadramento considera três aspectos:

- A avaliação a condição atual do rio, ou seja, “o rio que temos”;
- A condição de qualidade desejada pela população para aquele rio, “o rio que queremos”;
- E a pactuação da meta a partir da discussão com os diferentes atores da bacia hidrográfica considerando viabilidade técnica e econômica, “o rio que podemos ter”.

A PNRH estabelece que as classes de corpos de água sejam definidas pela legislação ambiental (BRASIL, 1997), servindo de referência para o licenciamento ambiental, a outorga e a cobrança, bem como de base para a execução do plano de recursos hídricos. O enquadramento deve ser definido pelo Comitê de Bacia Hidrográfica, submetido ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos ou ao respectivo Conselho Estadual ou Distrital de Recursos Hídricos, o qual aprovará o enquadramento dos corpos de água, em consonância com as Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (OPPA, 2007).

Representando o estabelecimento da meta de qualidade da água a ser alcançada, ou mantida, em um segmento de corpo de água, conforme os usos pretendidos, o enquadramento é definido pela Resolução do CONAMA nº 357/2005 (ANA, 2013a). A legislação classifica as águas doces, salobras e salinas do território nacional e define treze classes com limites individuais para cada substância ou propriedade de acordo com o nível de qualidade da água. Há cinco classes para águas doces: classe especial, 1, 2, 3 e 4; e quatro classes para águas salinas e salobras: classe especial, 1, 2 e 3 (CONAMA, 2005). A Figura 1 mostra esquematicamente esta classificação e as classes de enquadramento para água doce são apresentadas na Figura 2.



Figura 1: Classes de enquadramento d'água superficiais, caracterização dos usos e nível de qualidade da água associados, para as águas doces.

FONTE: ANA (2020d)

USOS DAS ÁGUAS DOCES	CLASSES DE ENQUADRAMENTO				
	ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas		Classe mandatória em Terras Indígenas			
Recreação de contato primário					
Aquicultura					
Abastecimento para consumo humano	Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário					
Pesca					
Irrigação		Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película	Hortalças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer,	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais					
Navegação					
Harmonia paisagística					

Observação: As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água.

Figura 2: Classes de enquadramento das águas doces e usos respectivos.

FONTE: ANA (2020d)

ANA (2013a) define o enquadramento como o conjunto de medidas ou ações progressivas e obrigatórias, necessárias ao atendimento das metas intermediárias e final de qualidade de água estabelecidas (Figura 3). A fixação de metas progressivas intermediárias ao enquadramento é

considerada um avanço da Resolução CONAMA nº357/2005 em relação à Resolução CONAMA nº 20/86. A progressividade das metas de enquadramento, que deve ser negociada em cada bacia, possui caráter dinâmico e auxilia na aplicação do enquadramento. Sendo este, altamente influenciado pela vontade da sociedade e pelas limitações econômicas, técnicas e institucionais inerentes ao sistema (ANA, 2007).

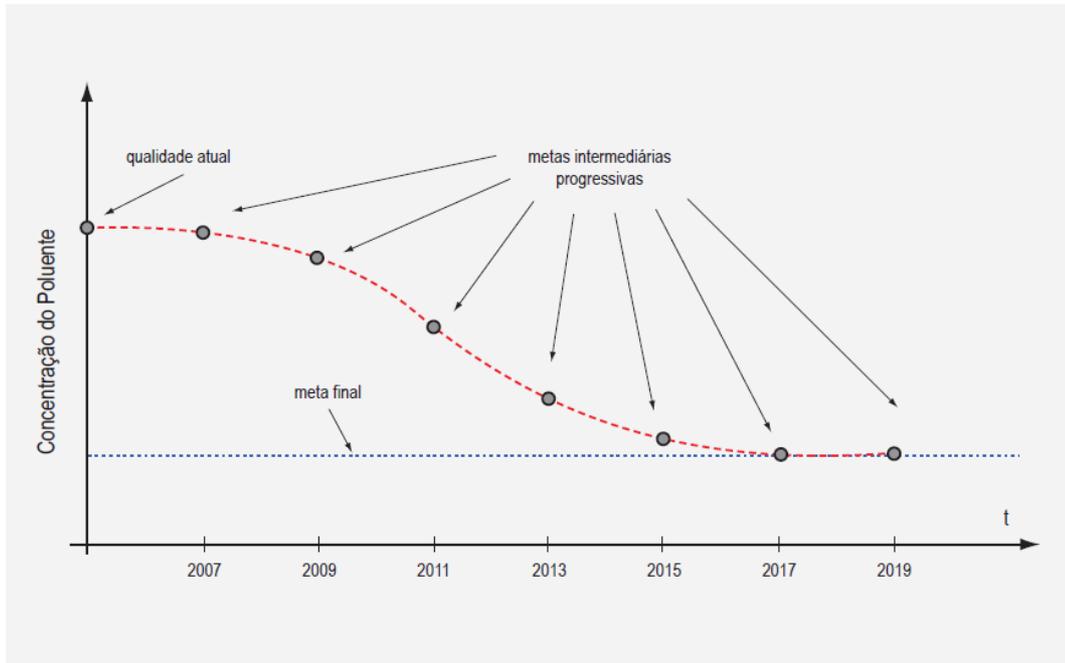


Figura 3: Esquematização das metas progressivas de qualidade da água.

Fonte: ANA (2007)

Ainda que indiretamente, o enquadramento representa um mecanismo de controle do uso e de ocupação do solo, visto que restringe a implantação de empreendimentos cujos usos não consigam manter a qualidade de água na classe em que o corpo d'água fora enquadrado (ANA, 2007). Neste contexto, em conformidade com as diretrizes da PNRH, o enquadramento está intimamente ligado ao planejamento do uso do solo e ao zoneamento ambiental. Considerando ainda que, segundo a Constituição Federal, cabe ao Município estabelecer, mediante lei municipal, as condições de ocupação do solo por meio de seu plano diretor e da Lei de Zoneamento, os planos de recursos hídricos devem estar em consonância com os planos diretores municipais (BRASIL, 1988; ANA, 2007).

3.3 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

O índice de qualidade da água - IQA é um número único que expressa a qualidade da água ao agregar os valores de seus parâmetros. Geralmente são atribuídas classificações por intervalo de valores, sendo a pontuação mais alta relacionada à melhor qualidade da água e a pontuação mais baixa à qualidade degradada (LUMB, 2011). Os IQA's possibilitam retratar a evolução da qualidade ao longo do tempo e do espaço, o que não ocorre a partir da simples comparação individual da concentração de determinado parâmetro detectado com um padrão de qualidade estabelecido (CORADI et al., 2009; SANTOS, 2016).

Os IQA's são considerados importantes ferramentas de gerenciamento de bacias hidrográficas (CORADI et al., 2009). A vantagem da utilização dos índices está na facilidade de comunicação com o público leigo, pois transforma dados ambientais complexos de parâmetros de um corpo d'água em uma interface agradável e resume diversas variáveis em um único número combinando diferentes unidades de medida (UFSC, 2014). Entretanto, uso dos índices promove a perda de informação das variáveis individuais e da sua interação. Desta forma, a análise integrada do índice deve estar acompanhada de uma avaliação mais detalhada de uma determinada bacia hidrográfica (CETESB, 2020; CCME, 2001).

A Alemanha foi pioneira na tentativa de desenvolver um índice de qualidade de água em 1948, o qual correlacionava níveis de poluição de comunidades aquáticas (peixes, organismos bentônicos e plantas) (ALVES; TERESA; NABOUT, 2014). Em 1965, o pesquisador alemão Horton desenvolveu um índice para o programa de redução da poluição e para informação pública, o que foi considerado o primeiro índice formal para qualidade de água (LUMB, 2011). Em 1970 foi criado nos Estados Unidos o Índice de qualidade da água da National Sanitation Foundation - NSF, bastante similar em sua estrutura ao Índice de Horton (DERÍSIO, 2017). Segundo Alves, Teresa e Nabout (2014), este é considerado o índice de qualidade da água mais utilizado na literatura científica.

O IQA-NSF, índice financiado pela NSF, incorpora nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas, com foco no abastecimento público. O IQA-NSF foi criado através da combinação de questionários realizados com 142 especialistas baseados na técnica de Delphi da Rand Corporation. Os questionários abordavam a indicação das variáveis de qualidade de água que deveriam entrar no cálculo, o peso relativo das mesmas e a condição em que se apresentava cada uma delas, de acordo com uma escala de valores. Ao final, selecionou-se nove parâmetros, para os quais foram estabelecidas curvas de variação da qualidade da água, de acordo com o estado ou condições de cada um (DERÍSIO, 2017; CPRH, 2020).

Estas curvas de variação, sintetizadas em um conjunto de curvas médias para cada parâmetro, bem como seu peso relativo correspondente, são apresentadas na Figura 4.

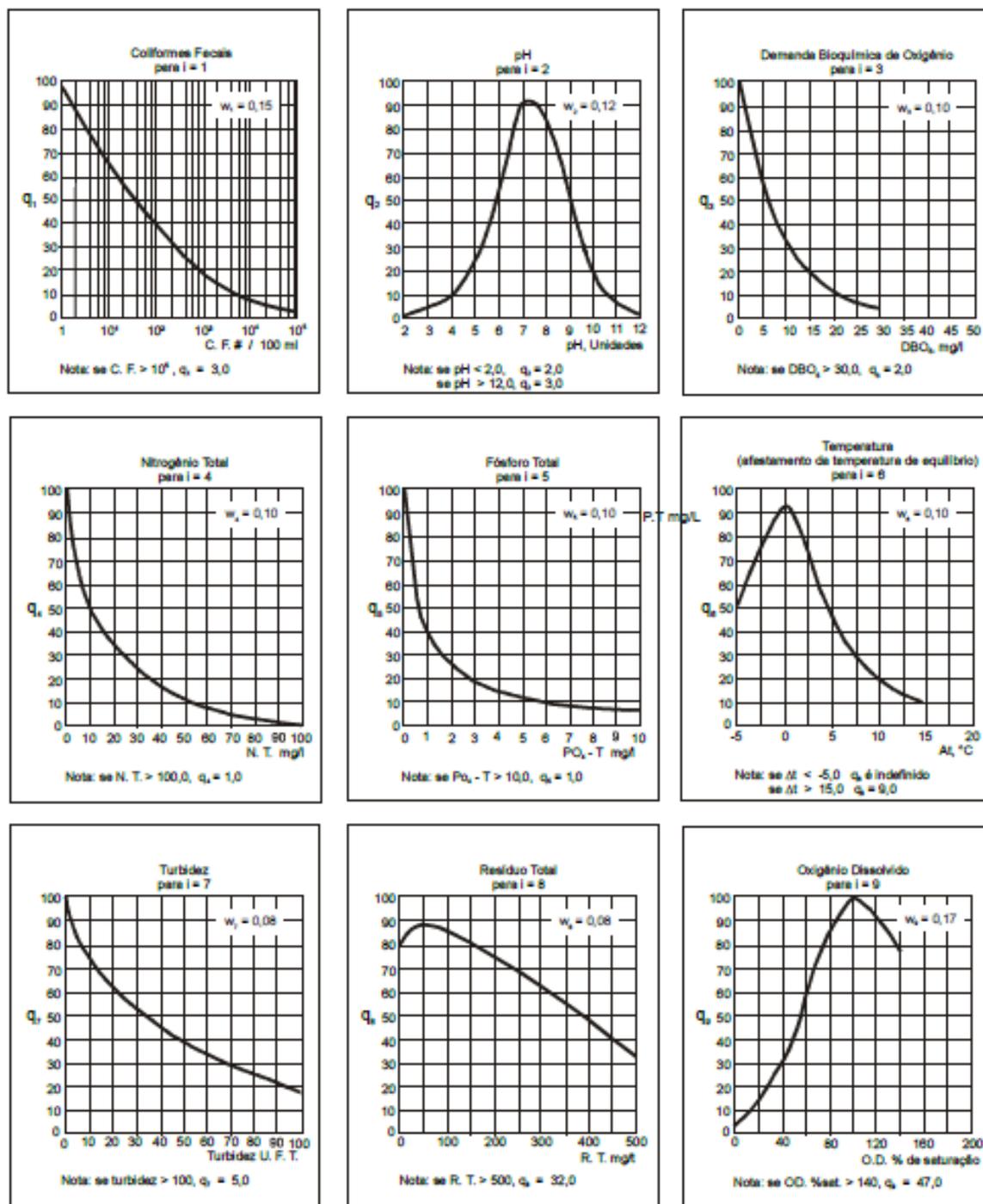


Figura 4: Curvas médias de variação de qualidade das águas.

FONTE: CETESB (2020)

O IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice a partir da Equação 3.1 (CETESB, 2020):

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (3.1)$$

onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

q_i : qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

w_i : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade;

n : número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

Para fins de aprimorar os resultados de caracterização da água, vários outros índices têm sido desenvolvidos. Alguns IQA's de domínios públicos mais frequentemente utilizados, além do já mencionado IQA-NSF, são o Índice de qualidade da água do córrego da Flórida, o Índice de qualidade da água da Colúmbia Britânica, o Índice de qualidade da água de Oregon e Índice de qualidade da água canadense ou IQA-CCME (TIRKEY; BHATTACHARYA; CHAKRABORTY, 2015). Ainda são comumente encontrados na literatura o Índice Implícito de Poluição de Prati, o Índice de Dinius, o Índice de Smith (CPRH, 2020).

No Brasil, o índice mais utilizado é o IQA-CETESB. Este foi adaptado do IQA-NSF pela a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB em 1988. Com o aumento da complexidade dos poluentes, as limitações do IQA evidenciaram-se. Verificou-se a limitação do índice quanto à avaliação de algumas variáveis, tais como: metais, compostos orgânicos com potencial mutagênico, substâncias que afetam as propriedades organolépticas da água, número de células de cianobactérias e o potencial de formação de trihalometanos das águas de um manancial (CETESB, 2020).

Com esta percepção, surgiu a necessidade de acrescentar fórmulas complementares e criar índices específicos para diversos usos da água. A partir de 2002 a CETESB criou índices como: O Índice de Qualidade de Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público - IAP; O Índice de Preservação da Vida Aquática - IVA; O índice de Balneabilidade - IB. Em 2004 foi criado o Critério de Qualidade dos Sedimentos CQS que estabeleceu classes de qualidade para quatro linhas de

evidência: substâncias químicas, ecotoxicidade, mutagenicidade e comunidade bentônica. Atualmente, conta com nove linhas de evidência distribuídas entre os componentes químicos, toxicológicos e bióticos (CETESB, 2020).

3.4 IQA - CCME

O IQA-CCME, conhecido também como IQA Canadense, foi proposto pelo Canadian Council of Ministers of the Environment - CCME através de um subcomitê de especialistas em qualidade da água criado em 1997. Esse subcomitê teve o objetivo de analisar os índices de qualidade da água existentes no país, para desenvolver um novo índice nacional, que pudesse ser utilizado por todas as províncias e territórios do Canadá, simplificando a divulgação da qualidade das águas. A versão final, aprovada em 2001, foi baseada no trabalho realizado na Colúmbia Britânica, sendo que o índice foi desenvolvido após uma revisão dos relatórios de qualidade da água em jurisdições do Canadá e outros locais (CCME, 2001).

Segundo Tri-star Environmental Consulting (2012), o IQA-CCME tem sido amplamente empregado no Canadá e em outras partes do mundo desde que foi desenvolvido. No Canadá, é bastante utilizado para relatórios no âmbito do Programa de Indicadores de Sustentabilidade Ambiental Canadense além embasar outros índices como o índice de qualidade de sedimentos CCME, índices de água potável e índices agrícolas. O IQA-CCME também foi adotado no âmbito do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, em que tem sido usado para avaliar a qualidade da água em diversos países entre outras variadas aplicações individuais do IQA-CCME realizadas no mundo todo (TRI-STAR ENVIRONMENTAL CONSULTING, 2012).

O IQA-CCME destaca-se por sua abrangência e flexibilidade, uma vez que não exige um conjunto rígido de parâmetros a serem analisados (CCME, 2001). Esta versatilidade respeita as características de cada região, considerando assim condições e objetivos locais ao invés de diretrizes universais (TRI-STAR ENVIRONMENTAL CONSULTING, 2012). O IQA-CCME possui a capacidade de absorver algumas falhas de coletas ou análises sem comprometimento do resultado como foi demonstrado em algumas aplicações do índice onde o período estudado é longo e suscetível a variações. O índice também integra a diferença na frequência de amostragens de diferentes parâmetros conforme a necessidade especificada no objetivo do monitoramento (CCME, 2001).

Um dos problemas discutidos durante a formulação do índice foi a escala variável de medições inerentes às análises de qualidade da água. A solução foi a adoção da abordagem orientada

por objetivos desenvolvida na Colúmbia Britânica permitindo que os dados sejam reunidos na mesma formulação de índice multivariado, uma vez que a métrica de interesse é a comparação dos dados medidos em relação ao seu padrão (CCME, 2001). Esta abordagem evitou ainda o problema da ponderação de parâmetros utilizada em outros índices, considerando que, uma vez que as toxicidades relativas de diferentes produtos químicos foram abordadas durante o desenvolvimento dos padrões de qualidade da água, a ponderação adicional não era necessária (CCME, 2001).

O IQA-CCME é baseado em uma metodologia estatística que analisa a frequência das falhas relativas às condições esperadas de qualidade da água, em que a referência é os padrões de qualidade da legislação ou critérios de qualidade cientificamente fundamentados (CCME, 2001). Alves, Teresa e Nabout (2014) identificaram que o IQA-CCME se destaca por maior aproximação do que se denomina “enquadramento” em relação a outros índices. Neste contexto, a integração do IQA-CCME ao enquadramento é outra característica vantajosa da utilização do índice.

Devido à capacidade de integração ao enquadramento, no Brasil, o IQA-CCME também é chamado de Índice de Conformidade ao Enquadramento – ICE. Observa-se que a nomenclatura ICE vem sendo utilizada nos relatórios da ANA desde 2012 com base em estudo do índice proposto anteriormente por Amaro et al. (2008) (ANA, 2012; ANA, 2013b). A nomenclatura ICE também foi adotada em outras pesquisas realizadas país (AMARO, 2009; OLIVEIRA et al., 2018; SILVA, 2017).

3.4.1 Composição do IQA - CCME

Para compor o índice, combina-se três medidas ou fatores de conformidade ou de desvio de um padrão ou objetivo estabelecido para a qualidade de água desejada (abastecimento público, recreação, vida aquática, irrigação, etc.). A fórmula do IQA-CCME, desenvolvida pela British Columbia Ministry of Environment, Landsand Parks e modificada por Alberta Environment, incorpora os fatores: Alcance (F1); Frequência (F2) e Amplitude (F3) (CCME, 2001).

a) Cálculo do Alcance (F1)

O Alcance (F1), calculado na Equação 3.2, equivale à porcentagem de parâmetros em não conformidade com os seus padrões, pelo menos uma vez durante o período considerado, em relação ao número total de parâmetros medidos (CCME, 2001):

$$F1 = \frac{N^{\circ} \text{ de parâmetros não conformes}}{N^{\circ} \text{ de parâmetros monitorados}} \times 100 \quad (3.2)$$

b) Cálculo da Frequência (F2)

A Frequência (F2), calculada na Equação 3.3, equivale à porcentagem de análises individuais que não atendem aos padrões estabelecidos para seus parâmetros (CCME, 2001):

$$F2 = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de análises não conformes}}{\text{N}^{\circ} \text{ de análises realizadas}} \times 100 \quad (3.3)$$

c) Cálculo da Amplitude (F3):

A Amplitude (F3) equivale ao valor pelo qual a quantidade de análises não conformes não alcançou o padrão estabelecido para seus respectivos parâmetros, sendo calculada em três etapas: discrepâncias (Δ); soma normalizada das discrepâncias ($\Sigma n\Delta$); e o cálculo da amplitude (CCME, 2001).

Cálculo das discrepâncias (Δ)

O valor, através do qual uma concentração individual é maior do que o valor padrão do seu parâmetro (ou “menor que”, quando considerando o padrão um valor mínimo), é denominada “discrepância”. A discrepância é calculada pelas Equações 3.4 e 3.5 conforme o caso especificado (CCME, 2001):

Quando o valor da análise excede o padrão máximo estabelecido:

$$\text{Discrepância} = \frac{\text{Valor da análise não conforme}}{\text{Valor Padrão}} - 1 \quad (3.4)$$

Para os casos em que o valor da análise é inferior ao padrão mínimo estabelecido:

$$\text{Discrepância} = \frac{\text{Valor Padrão}}{\text{Valor da análise não conforme}} - 1 \quad (3.5)$$

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

O resultado global das análises não conformes é obtido através da soma das discrepâncias das análises individuais, com relação aos padrões estabelecidos, dividida pelo número total de análises. Essa variável, chamada de soma normalizada das discrepâncias ($\Sigma n\Delta$), é calculada pela Equação 3.6 (CCME, 2001):

$$\Sigma n\Delta = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Discrepância})}{N^{\circ} \text{ total de análises}} \quad (3.6)$$

Cálculo da Amplitude (F3)

O F3 é então calculado por uma função assintótica (Equação 3.7), a qual escalona a soma normalizada das discrepâncias ($\Sigma n\Delta$), para se obter uma variação entre 0 e 100 (CCME, 2001).

$$F3 = \frac{\Sigma n\Delta}{0,01 \times \Sigma n\Delta + 0,01} \quad (3.7)$$

d) Cálculo do IQA-CCME

Após o cálculo dos três fatores (F1, F2 e F3) mostrados anteriormente, o índice é calculado pela soma desses fatores como se fossem vetores, ou seja, a soma dos quadrados de cada fator é, por conseguinte, igual ao quadrado do índice (Equação 3.8). Esta abordagem trata o índice como um espaço tridimensional definido por cada um dos fatores ao longo de um eixo. Com este modelo, as mudanças no índice ocorrerão em proporção direta com alterações em todos os três fatores (CCME, 2001).

$$IQA = 100 - \left[\frac{\sqrt{(F1)^2 + (F2)^2 + (F3)^2}}{1,732} \right] \quad (3.8)$$

O fator 1,732 surge porque cada um dos três fatores individuais pode chegar até 100. Considerando o valor máximo a ser atingido:

$$\sqrt{(100)^2 + (100)^2 + (100)^2} = \sqrt{30000} = 173,2$$

Desta forma o índice será redimensionado para valores entre 0 e 100, ao dividirmos o vetor pelo valor 1,732 garantindo que o resultado do termo seja no máximo 100.

A fórmula gera como resultado um número entre 0 (pior qualidade de água) e 100 (melhor qualidade de água). Nesta faixa (0 – 100) há cinco categorias, apresentadas no Quadro 2, as quais são caracterizadas descritivamente o quão próximo àquela água está de determinadas condições pré-estabelecidas conforme uso pretendido ou quanto se afasta destas condições (CCME, 2001).

Quadro 2: Descrição das categorias da qualidade da água conforme IQA –CCME

Categoria	Faixa de Valor	Descrição
Excelente	95-100	Protegida com uma ausência virtual de ameaça ou comprometimento, condições muito próximas dos níveis naturais ou primitivos
Boa	80-94	Protegida com apenas um menor grau de ameaça ou comprometimento, as condições raramente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.
Mediana	65-79	Protegida, mas ocasionalmente ameaçada ou prejudicada, as condições às vezes se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.
Marginal	45-64	Frequentemente ameaçada ou prejudicada, as condições geralmente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.
Ruim	0-44	Quase sempre ameaçada ou prejudicada, as condições geralmente se afastam de níveis naturais ou desejáveis.

FONTE: Silveira (2018)

O CCME desenvolveu ainda uma calculadora, Water Quality Index 1.0 (CWQI 1.0), que é uma planilha pré-programada contendo as equações matemáticas propostas (CCME, 2001). Atualmente existe uma segunda versão, Water Quality Index 2.0 (CWQI 2.0), a qual incorporou as estimativas de limites de confiança dos resultados de IQA obtidos (CCME, 2017). A seleção do tipo e quantidade de parâmetros a serem incluídos no cálculo do índice, bem como o período de monitoramento, devem ser julgados pelo profissional responsável para melhor representar a qualidade da água em uma determinada região.

A Tri-Star Environmental Consulting (2012) tabelou 19 categorias de conjunto de parâmetros considerando que os tipos de parâmetros selecionados para uso do IQA-CCME devem ser específicos ao uso da água e ao estressor humano (CCME, 2017). O conjunto básico de parâmetros, discutido desde a formação do IQA-CCME, permite a comparabilidade entre locais e pode ainda ser complementado por alguns parâmetros específicos do local (TRI-STAR ENVIRONMENTAL CONSULTING, 2012). A tabela disponível no Anexo A, foi introduzida ao manual de utilização do IQA-CCME (CCME, 2017).

Para usos da água, como água potável (sem tratamento) e recreação, parâmetros bacteriológicos precisam ser incluídos no cálculo do índice, diferentemente do uso para proteção da vida aquática. No entanto, se o IQA-CCME for usado para examinar vários usos, como água potável e proteção da vida aquática, surge a necessidade de avaliação dos parâmetros bacteriológicos. Isso é particularmente importante se estressores antrópicos, como estações de tratamento de águas residuais ou pastagem ou alimentação de animais, ocorrem perto de um curso d'água e podem potencialmente afetar a qualidade da água (CCME, 2017).

3.4.2 Diretrizes para utilização do IQA - CCME

Como acontece com qualquer índice, há a preocupação quanto ao uso de dados inadequados na composição do IQA-CCME. A insuficiência nos dados coletados em diferentes épocas do ano ou a variação na frequência das coletas pode causar resultados não consistentes. Portanto, como forma de aprimorar o uso do índice, através da calculadora, ou com algum outro recurso que utilize as fórmulas propostas, há uma série de diretrizes recomendadas pelo CCME para fins de dar confiabilidade aos resultados calculados. As diretrizes apresentadas a seguir foram publicadas em manual do usuário lançado em 2001 e, posteriormente, atualizadas em 2017 (CCME, 2001; CCME, 2017):

- 1) O objetivo do cálculo do IQA-CCME deve ser claramente determinado, com definição dos valores máximos e/ou mínimos do padrão de qualidade da água, considerando as necessidades de avaliação: de apenas um ou mais usos do solo; de alguma influência específica de sazonalidade; dos estressores antrópicos, naturais ou ambos; de resultados específicos de algum investimento em melhoria da qualidade da água.
- 2) Os parâmetros e padrões escolhidos devem basear-se em informações relevantes para as atividades humanas na área e o uso da água que está sendo testada em determinado local, como estressores a montante e concentrações naturais de sedimentos de fundo. A inclusão de muitos parâmetros pode diminuir falsamente a pontuação do índice.
- 3) O Manual do Usuário WQI-CCME elaborado em 2001 recomendou que, no mínimo, quatro parâmetros amostrados pelo menos quatro vezes por ano fossem usados no cálculo dos valores do CCME WQI. No entanto, uma revisão recente considerou que os resultados mais consistentes e confiáveis em um número mínimo de parâmetros maior, orientando uma quantidade mínima de oito parâmetros e máximo de 20 parâmetros.

- 4) O período escolhido está associado à quantidade de dados disponíveis e a intenção no cálculo do índice, sendo o período anual comumente agrupado nas análises. Os dados de anos diferentes podem ser combinados, principalmente em casos que o monitoramento em certos anos é incompleto.
- 5) O IQA- CCME pode ser aplicado para rios, lagos ou fluxos sendo capaz de identificar alterações ao longo do tempo e comparar diferentes corpos d'água. Além disso, o corpo d'água pode ser definido por um ponto específico, caso existam dados suficientes, ou por diversas estações ao longo do curso d'água. O agrupamento das estações diminui a comparação espacial da qualidade da água fornecendo informações mais generalizadas.
- 6) O monitoramento de alterações em um local ao longo do tempo e comparações entre locais só serão válidos caso haja uma base adequada para comparação. Os locais devem ser comparados quando os mesmos parâmetros e padrões, períodos e número de amostras forem usados. Caso contrário, cada local deve ser medido em relação à sua capacidade de atender aos padrões relevantes.
- 7) O profissional deve realizar uma preparação nos dados antes do cálculo no IQA, verificando se as unidades estão adequadas, se há valores muito altos decorrentes de erros de digitação ou algum evento específico que altere determinado parâmetro.
- 8) Os dados mais antigos devem ser observados, pois podem gerar “resultados falsos” quando comparados a dados mais recentes em decorrência da possível variação nos métodos de detecção ou tecnologia utilizada.
- 9) Mesmo que as demais diretrizes sejam seguidas, existe a possibilidade de que a pontuação IQA-CCME gerada não forneça uma avaliação precisa das condições de qualidade da água por isso o CCME indica a validação de dados. Devem ser feitos alguns questionamentos no sentido de verificar se os resultados são consistentes, se há lógica nas variações encontradas conforme impactos locais e temporais bem como as possíveis influências sazonais.

4 ÁREA DE ESTUDO

Os itens a seguir tem por objetivo situar o leitor quanto à área de estudo. O capítulo trata sobre a localização das sub-bacias do Arroio do Salso e do Arroio Lami sob o ponto de vista hidrográfico e territorial. São apresentadas algumas características gerais das sub-bacias como população, área, enquadramento, geoquímica e ocupação do solo. Os aspectos de ocupação do solo das sub-bacias são mostrados mais detalhadamente através de um breve histórico de ocupação, imagens de satélite e mapeamento de uso e ocupação do solo. Também são abordadas informações de esgotamento sanitário e de outros estudos relativos à qualidade da água da área.

4.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO LAGO GUAÍBA

A bacia hidrográfica do Lago Guaíba está localizada a oeste do estado do Rio Grande do Sul e pertence à região hidrográfica do Atlântico Sul (ANA, 2020e). Com uma população de 2.211.921 de habitantes, a bacia possui área total de 2.973,1 km², dos quais 482,2 km² correspondem à área do Lago Guaíba e 28,1 km² à região do delta, restando 2.462,7 km² de área territorial (ECOPLAN, 2016). A bacia hidrográfica do Lago Guaíba possui seu comitê de bacia criado através do Decreto Estadual nº 38.989/98. O enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba foi aprovado em 2006 pelo comitê e o plano de bacia foi finalizado em 2016 (COMITE DO LAGO GUAÍBA, 2020). A Figura 5 mostra a localização da bacia no estado do Rio Grande do Sul.



Figura 5: Mapa do estado do Rio Grande do Sul com localização da bacia hidrográfica do Lago Guaíba.

FONTE: SEMA (2021)

O Lago Guaíba, também conhecido como Rio Guaíba, possui ligação direta com o desenvolvimento de Porto Alegre (RS) e região metropolitana, destacando-se pela importância ambiental, econômica e histórico-cultural para região desde o século XVIII, além de ser a principal fonte de abastecimento público da capital (ANDRADE, 2018). O Lago Guaíba por ser uma grande bacia de sedimentação, transforma-se em um receptor potencial de toda a poluição gerada nas sub-bacias que o formam, prejudicando assim os múltiplos usos da bacia hidrográfica (COMITE DO LAGO GUAÍBA, 2020; ANDRADE, 2018).

O município de Porto Alegre está situado na região hidrográfica do Guaíba, com 82,6% do seu território na bacia do lago Guaíba e 17,4% na bacia do rio Gravataí. Apenas no município de Porto Alegre existem 27 do total de 37 sub-bacias hidrográficas da bacia do Lago Guaíba, sendo que as da região norte e centro do município possuem características urbanas com alta densidade populacional. Já em direção à região sul, as sub-bacias tornam-se progressivamente menos ocupadas. No extremo sul encontram-se as sub-bacias dos Arroios do Salso e Lami que se destacam por possuírem áreas superficiais mais expressivas em relação às demais sub-bacias da região (MENEGAT et al., 2018).

A Figura 6 apresenta o mapa de sub-bacias hidrográficas da bacia do Lago Guaíba que abrangem o Município de Porto Alegre e delimita da área de estudo composta pela sub-bacia do Arroio Lami e sub-bacia do Arroio do Salso.

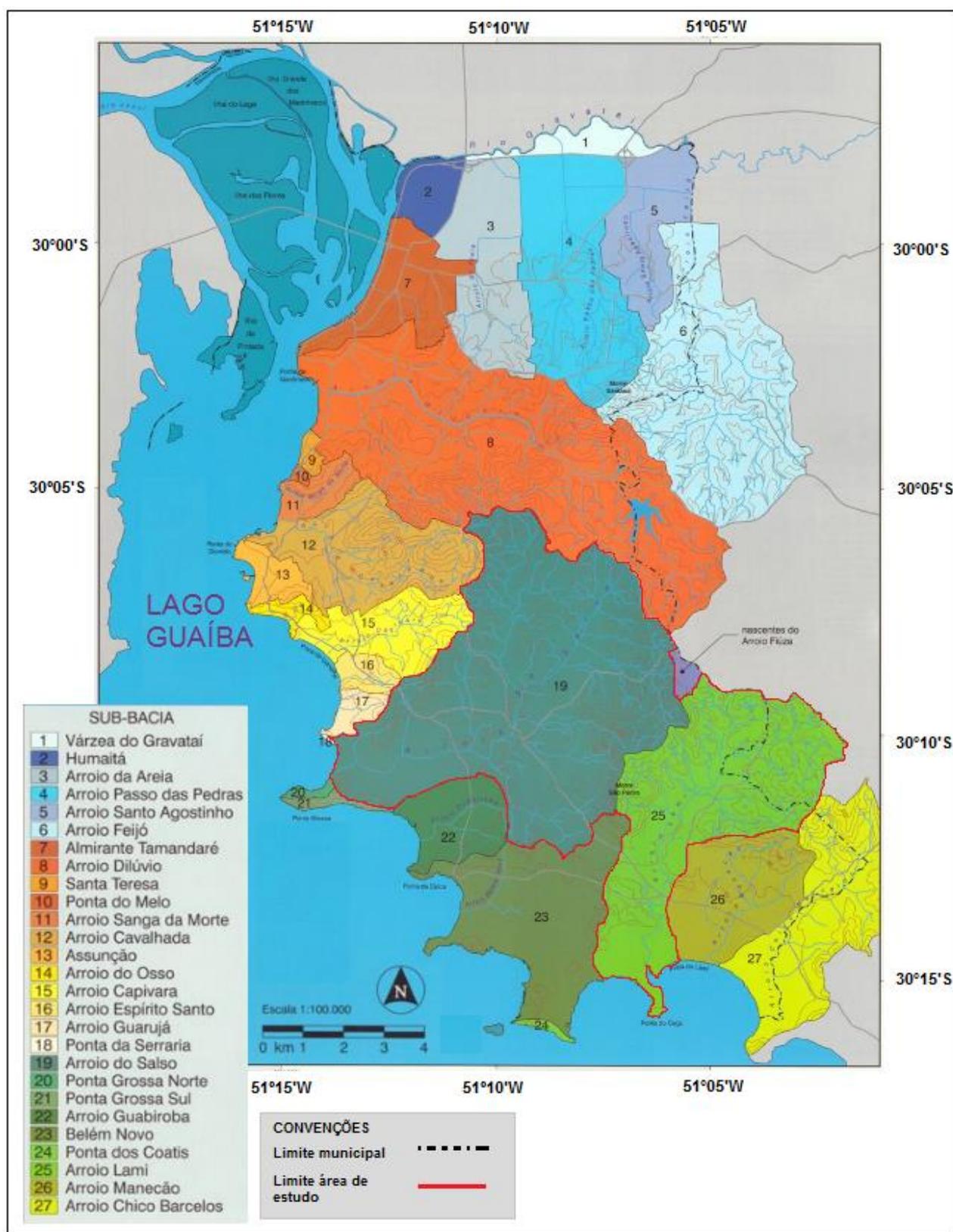


Figura 6: Mapa de sub-bacias hidrográficas da bacia do Lago Guaíba que abrangem o Município de Porto Alegre e delimitação da área de estudo.

Adaptado de: Menegat et al. (2018)

4.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA SUB-BACIA DO ARROIO DO SALSO

A sub-bacia hidrográfica do Arroio do Salso está situada completamente dentro dos limites municipais de Porto Alegre, sendo a maior sub-bacia deste município (MENEGAT et al., 2018). Com densidade populacional de 626 hab./km², a bacia abrange uma área de aproximadamente 92,94 km², o que corresponde a aproximadamente 20% da área total do município de Porto Alegre. O seu arroio principal, o Arroio do Salso, tem um comprimento de 15,2 km, recebe vários afluentes e desemboca no Lago Guaíba, com fluxo de norte para sudoeste-sul (MENEGAT et al., 2018; JUNQUEIRA, 2019).

A sub-bacia do Arroio do Salso foi classificada, em 2015, no seu enquadramento como água doce de classe 4 e tem como pretensão futura a classe 3 no período de 10 anos, conforme o Plano de Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba (ECOPLAN, 2016). Entretanto, a melhoria da qualidade da água torna-se um desafio diante dos problemas ambientais na região (PORTO ALEGRE, 2017). A complexidade ambiental da bacia amplia-se por tratar-se de área que é alvo de loteamentos clandestinos e de especulação imobiliária, onde se verifica o desenvolvimento das ocupações informais associados à falta de infraestrutura local no que tange o esgotamento sanitário e coleta de lixo (PORTO ALEGRE, 2017; BASSO; SILVA, 2013; MOURA; BASSO; STROHAECKER, 2013).

Com variadas ocupações desde as nascentes até sua foz, a sub-bacia do Arroio do Salso tem predominância de espaços não urbanizados, ainda que existam alguns aglomerados urbanos consideráveis, tais como a Lomba do Pinheiro, bairro caracterizado por muitas ocupações irregulares, localizado próximo às nascentes ao nordeste na área do divisor de águas com a bacia do Arroio Dilúvio, e a Restinga, bairro situado no setor central e que concentra mais da metade da população residente na área da sub-bacia (MOURA; BASSO; STROHAECKER, 2013).

Segundo Basso e Moreira (2010 apud Basso; Silva, 2013) a degradação do curso principal da bacia do Arroio do Salso foi comprovada pelas concentrações de sólidos suspensos totais e sólidos dissolvidos totais nas águas. A presença dos sólidos contribui para piora a qualidade do receptor, o Lago Guaíba. Os sólidos transportados pelo arroio do Salso correspondem a partículas orgânicas e inorgânicas, sólidos muitas vezes contaminados por elementos tóxicos como metais provenientes das diversas atividades humanas praticadas na área da bacia hidrográfica (BASSO; SILVA, 2013)

Considera-se que os dados geoquímicos são relevantes na estimativa do *background* dos sedimentos de fundo da calha do arroio (SOARES et al., 2004). Neste contexto, tem-se que o embasamento do município de Porto Alegre na área da sub-bacia do arroio do Salso é constituído predominantemente pelos Granodioritos Três Figueiras e Lomba do Sabão e pelos Granitos Santana,

Saint Hilaire, São Pedro, Restinga e Pitinga (OLIVEIRA, 2001 apud SOARES et al., 2004). Oliveira (2001 apud Soares et al., 2004) identificou, com base no conjunto de granitos, que os dados geoquímicos da área da sub-bacia do Arroio do Salso compõem-se de Chumbo, Cobre, Cromo, Níquel e Zinco como elementos traço, e de Alumínio, Cálcio, Ferro, Manganês, Magnésio, Potássio e Sódio como elementos maiores.

4.3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA SUB-BACIA DO ARROIO LAMI

A Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Lami pertence à bacia hidrográfica do Lago Guaíba, com 70% de sua área localizada no Município de Porto Alegre, e o restante no município de Viamão. A área da sub-bacia é de 39,57 km² contendo uma densidade populacional de 99 hab./km². Seus canais drenam as águas do norte para sudoeste-sul até o Lago Guaíba, sendo o principal curso d'água o Arroio Lami com comprimento de 11,53 km (MENEGAT et al., 2018; JUNQUEIRA, 2019). O enquadramento atual do Arroio Lami, conforme o Plano de Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba, é água doce classe 3, sendo estabelecida como meta progressiva para 10 anos, considerando a condição atual e o desejo futuro, atingir a classe 2 no ano de 2025 (ECOPLAN, 2016).

Bacia do Arroio Lami apresenta características rurais e urbanas compostas por áreas de agricultura tradicional, ecológica, núcleos urbanos, bem como sítios destinados à moradia e ao lazer. Os morros São Pedro, Quirinas e Extrema, onde se encontra um leque de nascentes e tributários que compõem o arroio principal, situam-se a montante da bacia e possuem gradiente de conservação de 90 a 100% da área total em mata nativa. Entretanto, existem diversas alterações antrópicas no curso da bacia que são caracterizadas pelo uso agrícola da terra, pela silvicultura e pelo crescimento habitacional. Destaca-se a grande quantidade de parcelamento do solo, sob forma de loteamentos irregulares, os quais desrespeitam os requisitos mínimos de tamanho de lotes, infraestrutura de vias e de saneamento (STEIW, 2019).

4.4 BREVE HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA

O Município de Porto Alegre teve sua ocupação inicial do território e formação de núcleo em torno das atividades portuárias a partir de 1680 (MENEGAT et al., 2018). Portanto, o crescimento urbano do município foi iniciado pelo avanço das edificações e do sistema viário na zona norte que, devido à instalação do porto em torno de 1750 e, em função de sua localização e infraestrutura, passou a ser a área mais procurada da cidade, tanto para moradia como para o desenvolvimento de atividades comerciais e industriais (MENEGAT et al., 2018; MOURA; BASSO; STROHAECKER,

2013). Atualmente, se observa o adensamento e verticalização nos bairros já consolidados das zonas leste e norte, enquanto na zona sul destaca-se a expansão horizontal periurbana onde ainda há predomínio da paisagem natural (MOURA; BASSO; STROHAECKER, 2013).

A montante da sub-bacia do Arroio do Salso, o bairro Lomba do Pinheiro, a leste do município, fazendo divisa com o município de Viamão, é heterogênea em sua ocupação, que é composta por núcleos densamente povoados e áreas verdes de preservação ecológica. Ocupada inicialmente por moradores, em sua maioria, oriundos do interior do estado, até meados dos anos 40, mantinha suas características rurais comercializando hortifrutigranjeiros no Centro de Porto Alegre, além do abastecimento de leite para os bairros mais próximos. A partir da década de 1960 e 1970, entra em processo de urbanização, recebendo moradores de diversos bairros da cidade (PORTO ALEGRE, 2020a).

Os projetos de reurbanização instalados em Porto Alegre entre as décadas de 1960 e 1970, Projeto Nova Restinga e Projeto Renascença, deram início ao processo de adensamento populacional da região através do bairro Restinga. O Departamento Municipal de Habitação - DEMHAB, criado em 1965, buscou solucionar problemas de insalubridade de regiões alagadiças da cidade a partir da remoção de diversos moradores das áreas centrais da cidade para o extremo sul de Porto Alegre. Este processo se deu com inexistência de infraestrutura (esgotos a céu aberto, falta de calçamento, moradias precárias) proporcionando ocupação de áreas de risco junto à encosta do morro São Pedro entre outros problemas ambientais (PORTO ALEGRE, 2020a).

Na sub-bacia do arroio Lami, destaca-se o bairro Lami, que até a década de 70, se caracterizava por ser povoado por pescadores e bastante isolado do restante da cidade. As atividades balneárias e integração econômica com os pescadores e o restante da cidade eram dificultadas pela ausência de vias de acesso ao bairro. A partir da década de 70 foi construída uma estrada de asfalto entre Belém Novo e Lami melhorando a atenção ao bairro. Este sofreu sérios problemas de infraestrutura na década de 80. Entretanto, em 1992, o bairro foi o primeiro a ter suas águas liberadas para banho com ganhos através de um novo projeto de urbanização e paisagismo (PORTO ALEGRE, 2020a).

A partir da década de 1990, ocorreram algumas mudanças nas características das ocupações do município de Porto Alegre, como deslocamento de parte da população de alta renda da porção central da cidade em direção a áreas rurais próximas, para novos condomínios de luxo, no mesmo sentido, a população de baixa renda, ocupou loteamentos irregulares (KOZENIESKI, 2010). Neste sentido, o crescimento urbano vem se expandindo sobre a zona sul, passando a incorporar padrões diferenciados de uso do solo, transitando de uma área caracterizada como de uso residencial

rarefeito e atividades vinculadas ao setor primário para uma área de ocupação mais densa, destacando-se o setor de serviços e de uso residencial nas tipologias de condomínios horizontais e loteamentos (MOURA; BASSO ; SANCHES, 2013).

4.4.1 Registros de avanços populacionais das sub-bacias

A seguir estão reunidas imagens de satélite das regiões delimitadas pelas sub-bacias do arroio do Salso e do arroio Lami, para fins de demonstrar visualmente os avanços populacionais. As sub-bacias foram delimitadas no Google Earth Pro (2020) através da inserção dos shapefiles no software QGIS (2017) e, posteriormente, desenhadas nos mapas. Os shapefiles das sub-bacias localizadas no município estão disponíveis no Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2008).

Os registros apresentados nas Figuras 7, 8 e 9 referem-se às imagens de satélite da sub-bacia do Arroio do Salso nos anos 1985, 2000 e 2015 respectivamente. As Figuras 10, 11, 12 são as imagens de satélites referentes à sub-bacia do Arroio Lami para os anos 1985, 2000 e 2015 respectivamente. Visualmente ambas as bacias sofrem pouca alteração nos primeiros 15 anos (1985-2000), porém diferenciam-se em avanços populacionais no período de 2000 a 2015, sendo que a sub-bacia do Arroio do Salso sofre mais alterações enquanto a sub-bacia do Arroio Lami permanece mais preservada.

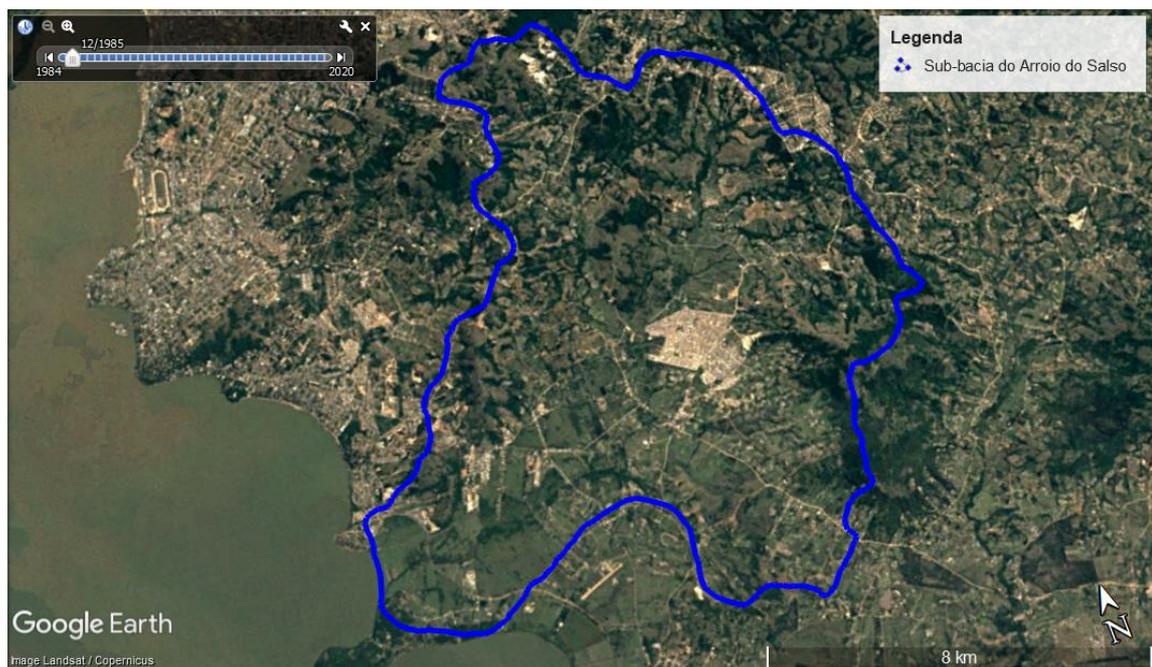


Figura 7: Imagem de satélite da sub-bacia do arroio do Salso em 1985.

FONTE: A autora

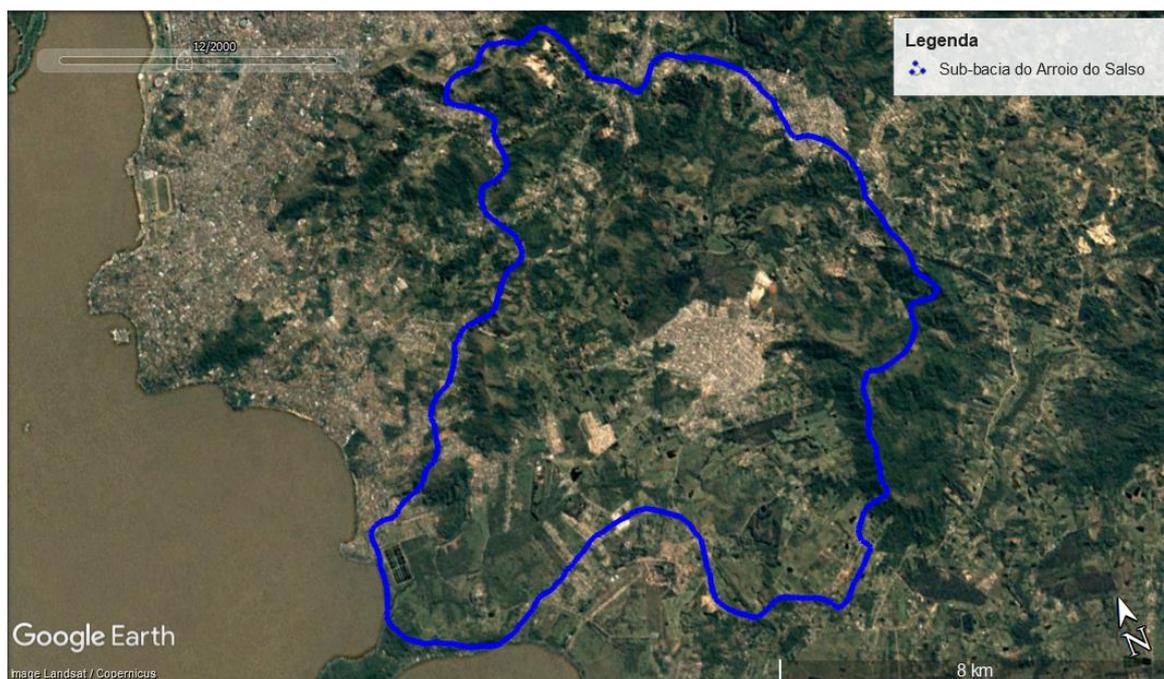


Figura 8: Imagem de satélite da sub-bacia do arroio do Salso em 2000.

FONTE: A autora

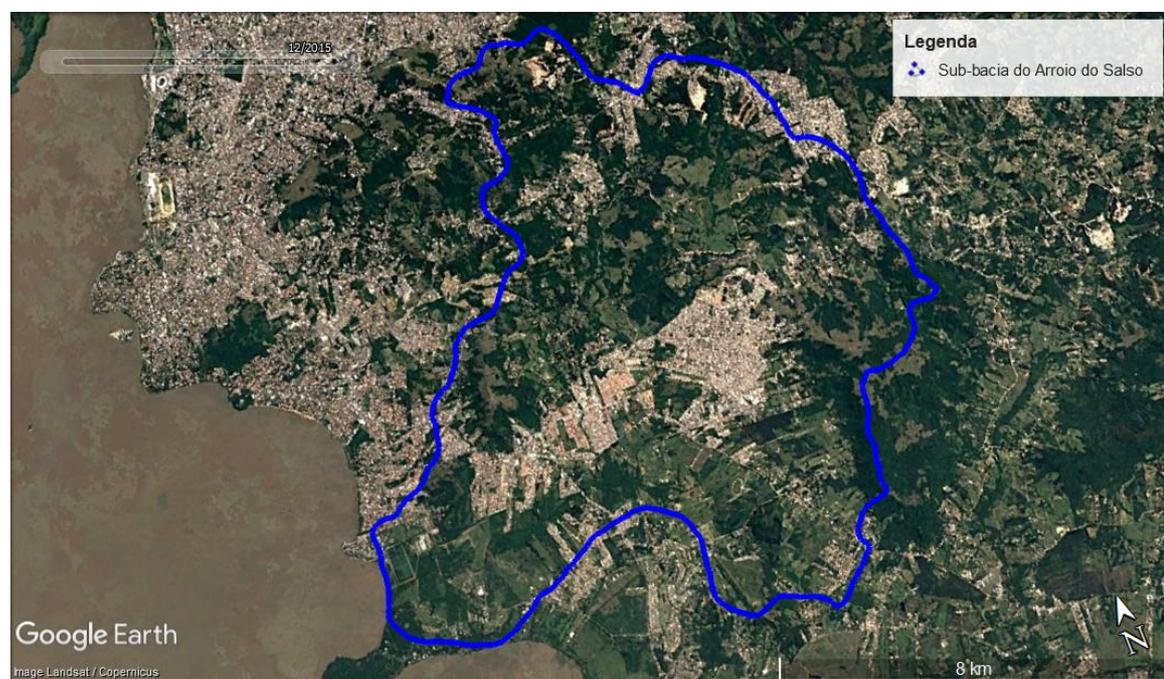


Figura 9: Imagem de satélite da sub-bacia do arroio do Salso em 2015.

FONTE: A autora

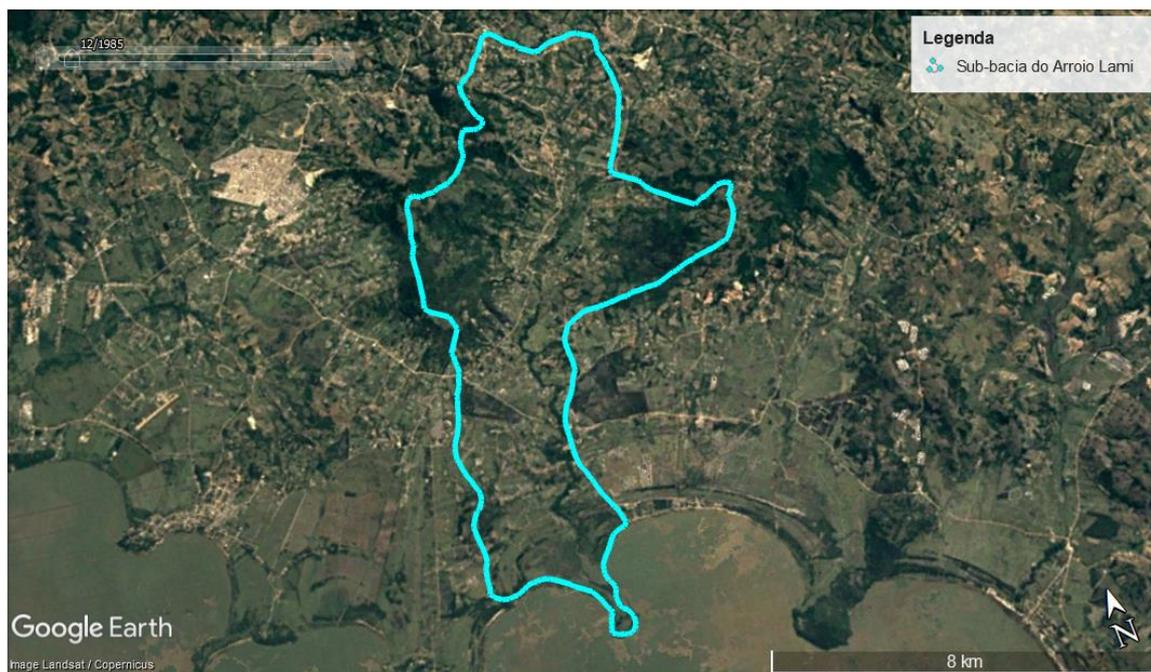


Figura 10: Imagem de satélite da sub-bacia do arroio Lami em 1985.

FONTE: A autora

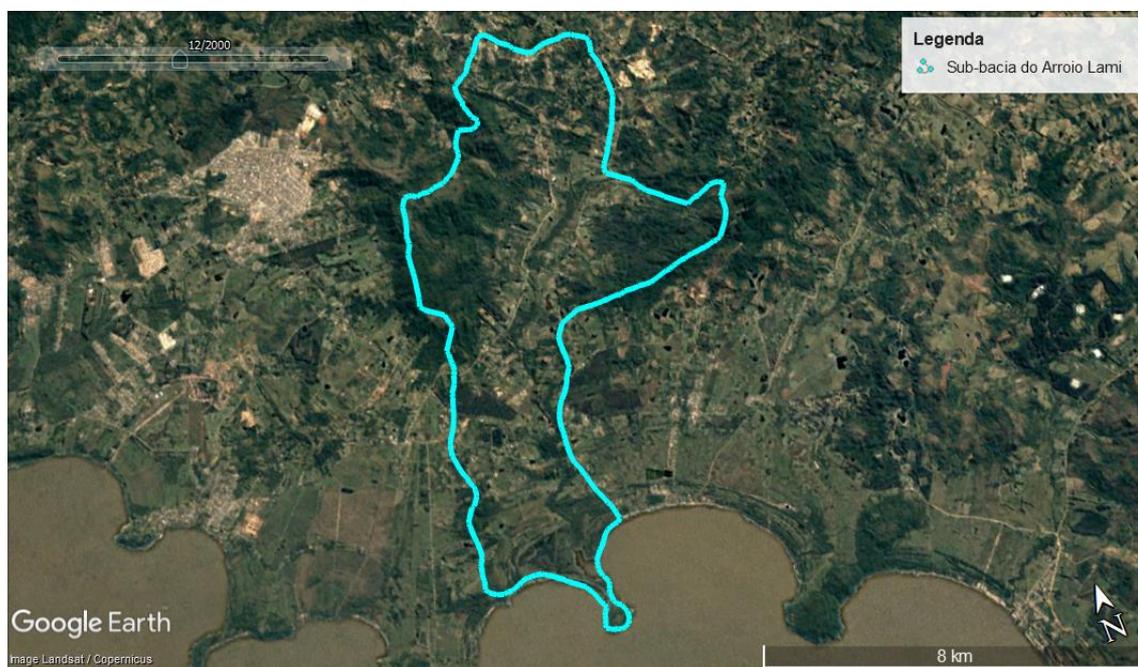


Figura 11: Imagem de satélite da sub-bacia do arroio Lami em 2000.

FONTE: A autora

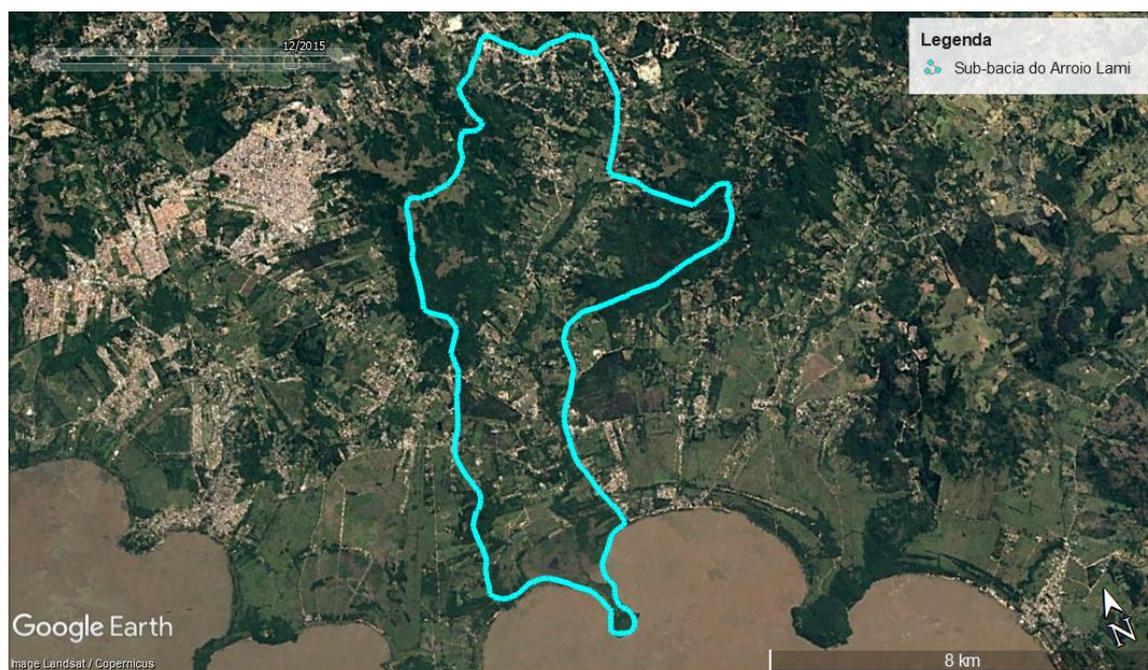


Figura 12: Imagem de satélite da sub-bacia do arroio Lami em 2015.

FONTE: A autora

4.5 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

No Plano de Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba, a ocupação do solo foi mapeada em doze classes de uso. A partir do mapa da Figura 13 identificou-se para a sub-bacia do arroio do Salso as classes de reflorestamento/silvicultura, área urbana, campo, mata, campo úmido, lavoura não irrigada. A sub-bacia do arroio Lami apresenta os mesmos usos acrescentando o banhado (ECOPLAN, 2017). Na sub-bacia do arroio Lami há predomínio do campo e áreas de mata, já na sub-bacia do arroio do Salso, que se encontra bem menos preservada, uma maior porção da superfície é composta por área urbana (atividades industriais, comerciais e residenciais). Porém, ainda há algumas áreas de campo e mata quando comparadas às sub-bacias mais ao centro do município.

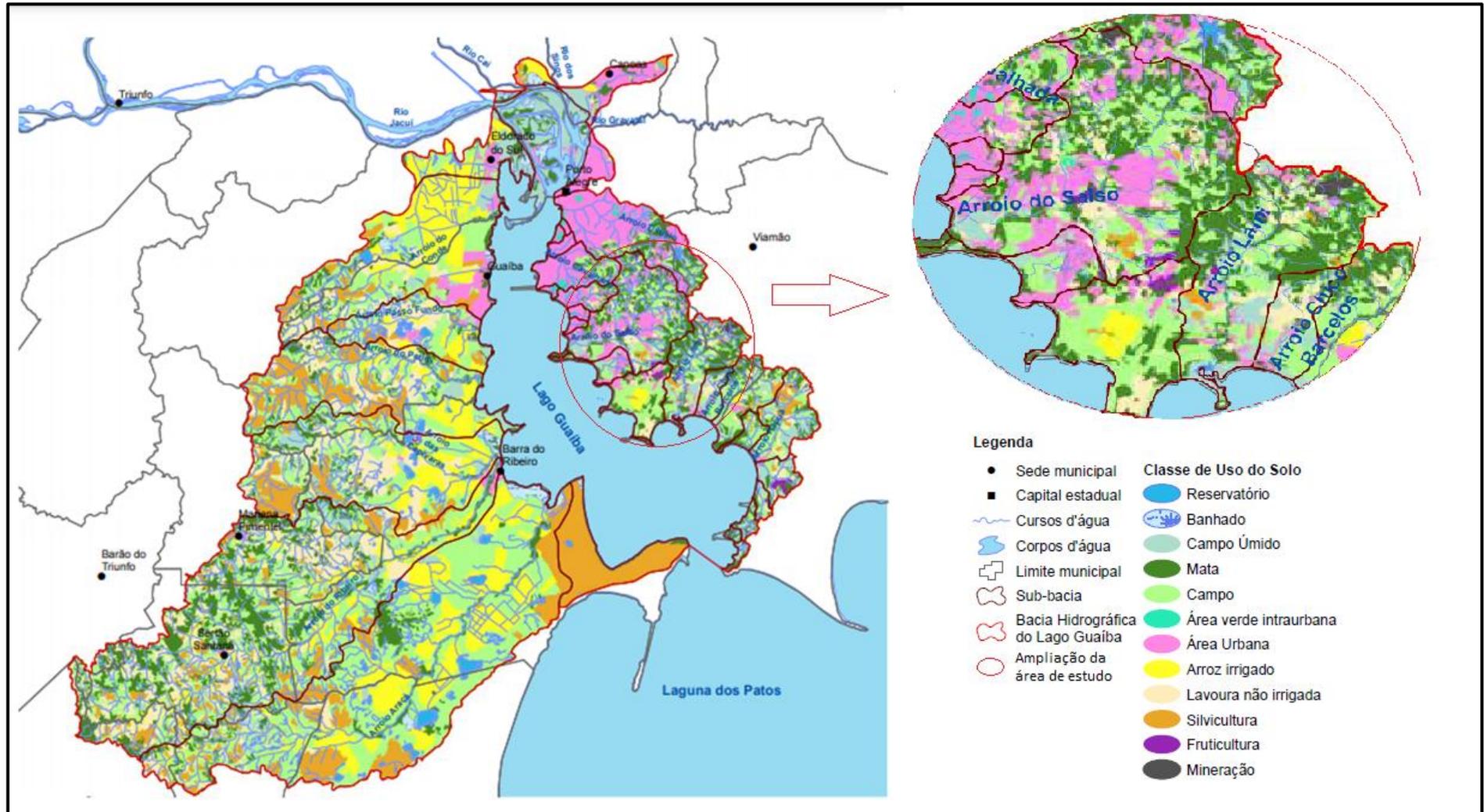


Figura 13: Mapa de uso e ocupação do solo das sub-bacias da bacia hidrográfica do Lago Guaíba.

Adaptado de: ECOPLAN (2017)

A categoria denominada campo é onde ocorrem as criações de animais, atividade caracterizada no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental para a zona rururbana ou macrozona 8, que se situa na bacia do arroio Lami e em parte da bacia do arroio do Salso (PORTO ALEGRE, 1999). Outras atividades características da macrozona é agricultura, que aparece em ambas as sub-bacias, em pequenas porções da superfície com áreas voltadas para a fruticultura, silvicultura e agricultura não irrigada.

Dentro da área urbana, caracterizando as atividades industriais, o plano de bacia analisou o impacto de lançamento de efluentes industriais através das empresas cadastradas do Sistema de Automonitoramento de Efluentes Líquidos Industriais - SISAUTO da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM. Foram identificadas 15 indústrias na primeira fase do estudo em 2004 e 10 indústrias em 2014, quando foram consideradas apenas aquelas que lançavam seus efluentes na bacia do Lago Guaíba. Entretanto, conforme mapeamento do plano de bacia, nenhuma delas localiza-se na superfície das sub-bacias do arroio do Salso e do arroio Lami (ECOPLAN, 2016).

4.6 ESGOTAMENTO SANITÁRIO

A área de estudo, delimitada pelas sub-bacias do arroio do Salso e do arroio Lami, interage com dois sistemas de esgotamento sanitário - SES do município, o SES Salso e SES Lami. Estes sistemas são de responsabilidade do Departamento Municipal de Água e Esgotos – DMAE do município de Porto Alegre.

4.6.1 Sistema de Esgotamento Sanitário Salso

O SES Salso abrange integralmente a sub-bacia do Arroio do Salso e as sub-bacias Ponta Grossa Norte e Ponta Grossa Sul conforme apresenta Figura 14. A área deste sistema contempla todo o Bairro Restinga e parcialmente os bairros Lomba do Pinheiro, Cascata, Belém Velho, Lageado, Campo Novo, Hípica, Chapéu do Sol, Ponta Grossa, Guarujá, Serraria e outro ainda considerado como Zona Indefinida. O SES conta com 214,73km de extensão de redes coletoras para 452,43km de logradouros, sendo um total de 178,94km de logradouros com redes, o que equivale a 39,55% de atendimento considerada a relação extensão de redes coletoras por logradouro (DMAE, 2015).

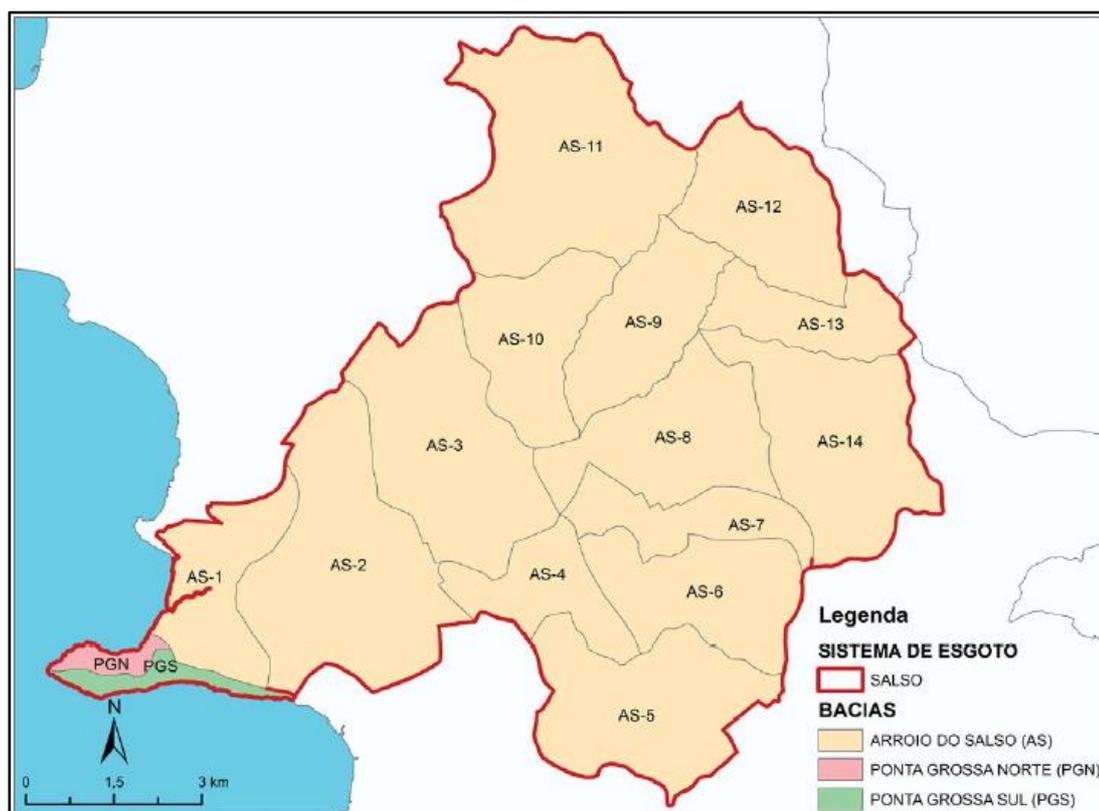


Figura 14: SES Salso – bacias e subsistemas.

FONTE: DMAE (2015)

O SES Salso era atendido pela Estação de Tratamento de Esgoto Nova Restinga - ETE Nova Restinga até a última revisão do Plano Municipal de Saneamento Básico - PMSB, no qual estava previsto que as redes coletoras deste sistema seriam gradativamente interligadas ao coletor que direcionam os esgotos para uma estação de maior capacidade, a ETE Serraria. Com isso, a ETE Nova Restinga seria desativada após a implantação da estação de bombeamento possibilitando o tratamento do esgoto proveniente do SES Salso na ETE Serraria (DMAE, 2015). Segundo dados de DMAE (2021) a ETE Nova Restinga já não está em funcionamento desde 2016.

4.6.2 Sistema de Esgotamento Sanitário Lami

O SES Lami compreende as sub-bacias dos Arroios Lami, Manecão, Chico Barcelos e a nascente do Arroio Fiúza, conforme apresentado na Figura 15. A área de abrangência desse sistema compreende parcialmente os bairros Lageado e Lami, além de áreas sem bairro definidos. O SES Lami conta com 19,22km de extensão de redes coletoras, sendo que grande parte desta extensão se localiza em estradas ou em área rural. O SES Lami possui 94,04km de logradouros, no entanto somente um total de 16,02km de logradouros são atendidos pela rede coletora, o que equivale a

17,03% de atendimento considerada a relação extensão de redes coletoras por logradouro (DMAE, 2015).

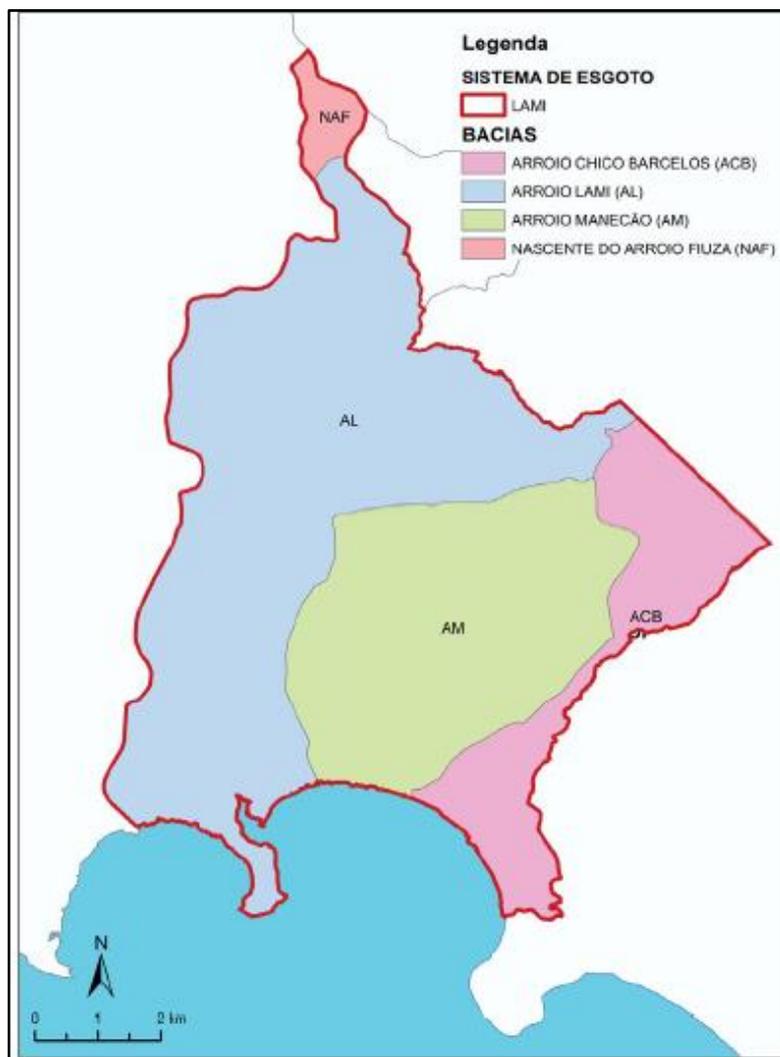


Figura 15: SES Lami – bacias e subsistemas.

FONTE: DMAE (2015)

Os esgotos coletados nesse sistema são direcionados para as estações de bombeamento e conduzidos para o tratamento na ETE Lami, localizada no bairro Lami. A ETE apresenta 85% de remoção de DBO, possui vazão nominal de 30 L/s, e seu processo de tratamento é o de lagoas de estabilização convencionais do tipo australiano. A ETE Lami é constituída por dois módulos, com uma lagoa anaeróbia, uma facultativa e três de maturação em cada módulo (DMAE, 2015).

4.7 OUTROS ESTUDOS RELACIONADOS À QUALIDADE DA ÁGUA DA ÁREA

Dentre os diversos estudos que contemplam ou interagem com a qualidade da água das sub-bacias do arroio do Salso e do arroio Lami, o plano de bacia hidrográfica do Lago Guaíba e o plano de manejo do Refúgio de Vida Silvestre - REVIS São Pedro se destacam pela relevante contribuição

no contexto da pesquisa. A publicação da revista ECOS traz um pouco mais do histórico da qualidade do arroio do Salso através da verificação da influência do lançamento do efluente da ETE Ipanema neste arroio (FARIA; LERSCH; MORANDI, 2000).

4.7.1 Plano de Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba

No plano de bacia hidrográfica do Lago Guaíba, encontra-se o estudo de determinação das classes por segmentos do Lago Guaíba. Através da análise dos histogramas de frequência de cada parâmetro nos padrões de classificação adotados, foram avaliados os seguintes parâmetros: pH, Oxigênio Dissolvido - OD, Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO, Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Turbidez, Sólidos Dissolvidos Totais - SDT, Coliformes Termotolerantes e Clorofila a. Os parâmetros foram classificados em classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4, conforme os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (ECOPLAN, 2016).

O mapa da Figura 16 mostra os resultados das classes por segmento da bacia do Lago Guaíba. No mapa foram destacados os segmentos associados às sub-bacias do Arroio do Salso e do Arroio Lami por proximidade da foz dos arroios principais, onde se observa que ambos os segmentos foram considerados classe 1.



Figura 16: Classes por segmento da bacia hidrográfica do Lago Guaíba com destaque para pontos associados à área de estudo.

Adaptado de: ECOPLAN (2017)

Por falta de monitoramento dos arroios localizados nas margens direita e esquerda do Lago Guaíba, a análise da qualidade da água destes foi realizada por modelagem. Considerou-se a vazão de referência com 95% de permanência no tempo (Q_{95}), sendo $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ para o Arroio Salso e $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ para o Arroio Lami. Os arroios foram classificados conforme os padrões da Resolução CONAMA n° 357/2005. A classificação foi embasada no percentil 80 de todos os parâmetros, com exceção dos resultados classe 1, que, por serem considerados subestimados, optou-se por adotar o

resultado do parâmetro coliformes termotolerantes. O Quadro 3 apresenta a classificação encontrada para as sub-bacias em estudo que embasaram definição da classe adotada para as sub-bacias, bem como a informação da classe adotada para as sub-bacias do Arroio do Salso e do Arroio Lami após definição do comitê de bacias (ECOPLAN, 2016).

Quadro 3: Classes por parâmetros e classe adotada no enquadramento das sub-bacias do Arroio do Salso e Arroio Lami

Sub-bacia	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)	CT (NMP/100ml)	Percentil 80	Classe adotada
Arroio do Salso	Classe 1	Classe 2	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4
Arroio Lami	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 3	Classe 4	Classe 3	Classe 3

FONTE: ECOPLAN (2016)

O plano de bacia destacou como parâmetros que apresentaram maiores frequências de ocorrência nas classes 3 e classe 4, os coliformes termotolerantes e o Fósforo Total. Estes parâmetros também foram destacados com maior frequência de ocorrência nestas classes na publicação de Bendati et al. (2003). Este mesmo estudo considera que a presença de fósforo na água do Lago Guaíba pode ser atribuída tanto a fontes naturais, quanto a fontes artificiais e atribui que a presença elevada de fósforo, na forma de fosfato, seja devido a fontes naturais, apesar de serem considerados incrementos pelas atividades antrópicas na bacia (ECOPLAN, 2016).

4.7.2 Plano de Manejo do Refúgio de Vida Silvestre São Pedro

O plano de manejo do Refúgio de Vida Silvestre (REVIS) São Pedro avaliou a qualidade da água no interior e no entorno do refúgio através dos seguintes parâmetros: metais (alumínio, cálcio, cobre dissolvido, ferro, manganês, magnésio, potássio), cor verdadeira, fenóis, DBO, DQO, nutrientes (fósforo total, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal total), óleos e graxas, sólidos totais dissolvidos, sólidos totais suspensos, clorofila a, coliformes termotolerantes, coliformes totais, condutividade, turbidez, pesticidas organoclorados e pesticidas organofosforados. Os parâmetros foram avaliados individualmente com base nos limites de água doce classe 1 da Resolução CONAMA nº 357/05 e sintetizados através do IQA-CETESB (PORTO ALEGRE, 2017).

Embora tenham sido encontradas algumas não conformidades em relação à Resolução CONAMA nº 357/05 no interior do refúgio, estas foram em baixas quantidades. Já as amostragens no entorno do refúgio, além dos parâmetros não conformes (OD, DBO, coliformes fecais, alumínio,

ferro, manganês, cor real, turbidez) apresentaram alguns pontos com índices de qualidade da água classificado como ruins conforme a metodologia do IQA-CETESB. Das duas sub-bacias hidrográficas envolvidas no estudo, sub-bacia do Arroio do Salso e sub-bacia do Arroio Lami, na primeira foram encontrados os índices ruins sendo que a sub-bacia se destaca por ter uma ocupação urbana mais intensiva (PORTO ALEGRE, 2017).

As alterações na qualidade da água foram associadas à poluição por efluentes industriais, despejo de lixo e, principalmente, por esgotos domésticos, agravando ainda com o aumento de ocupações irregulares no local. Também se relacionou os resultados a possíveis fontes de poluição aguda e/ou crônica, próxima às nascentes, áreas de recarga e no sopé do Morro São Pedro. O plano de manejo apontou como necessárias medidas urgentes e intensivas de saneamento básico nos corpos d'água da área de influência do REVIS São Pedro, principalmente no Arroio do Salso, bem como a retirada das fontes de poluição localizadas nas proximidades da unidade de conservação (PORTO ALEGRE, 2017).

4.7.3 Influência do Lançamento do Efluente de Lagoas de Estabilização na Qualidade das Águas do Arroio do Salso

O Sistema de Tratamento de Esgoto sanitário Zona Sul, com unidade de tratamento por lagoas de estabilização em série, do tipo australiano, foi projetado com o objetivo de coletar e tratar os esgotos domésticos de vários bairros da zona sul da cidade de Porto Alegre com previsão de lançamento do efluente final da ETE no arroio do Salso. A ETE iniciou a operação em novembro de 1996 com apenas o primeiro módulo de seis lagoas, o que equivalia à vazão média de 45L/s. A vazão passou para 90L/s após conclusão do segundo módulo em dezembro de 1997, estando ainda abaixo da vazão mínima de projeto de 100L/s. A previsão é alcançar vazão de topo de 243L/s até 2025 (FARIA; LERSCH; MORANDI, 2000).

O DMAE iniciou um monitoramento para elaboração de um diagnóstico da qualidade da água antes e depois da operação do Sistema de Tratamento de Esgoto Sanitário Zona Sul. E, após início da operação, o acompanhamento da eficiência do tratamento através das características do efluente. Os programas de monitoramento se desenvolveram em três períodos 1992/1993, 1995/1996 e 1997/1998, onde foram comparadas apenas as características mais representativas de lançamento de origem orgânica conforme o monitoramento mais restritivo: pH, OD, DBO, fosfato e coliformes fecais. Os limites foram analisados com base na Resolução CONAMA nº 20/86 em água doce classe 4 para pH e OD e classe 3 para os demais parâmetros (FARIA; LERSCH; MORANDI, 2000).

Conforme os estudos, o trecho inferior do corpo receptor já indicava má qualidade das águas. Verificou-se também que o grande impacto ambiental nas águas do arroio do Salso é causado pelas cargas de montante, lançadas a partir do trecho de maior densidade populacional, que comprometem a qualidade das águas até sua foz. Concluiu-se ainda, que nas condições de baixas vazões os efeitos do lançamento de efluente no arroio eram praticamente nulos. E mesmo operando em vazão plena, que representaria 20% do regime de escoamento do arroio, o lançamento parecia ser menos agressivo do que as cargas de esgoto bruto lançados a montante do arroio (FARIA; LERSCH; MORANDI, 2000).

5 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia da presente pesquisa é de natureza aplicada uma vez que é empregada diretamente nas ferramentas de gestão das bacias em estudo. Trata-se de uma pesquisa exploratória e descritiva que abrange as sub-bacias do Arroio do Salso e do Arroio Lami com abordagem quali-quantitativa: qualitativa pela caracterização e embasamento teórico da área; e quantitativa pelo cálculo do índice e análise de dados de qualidade da água das estações de monitoramento disponíveis para o Arroio Lami e Arroio do Salso. A Figura 17 mostra a classificação metodológica dos procedimentos de pesquisa:

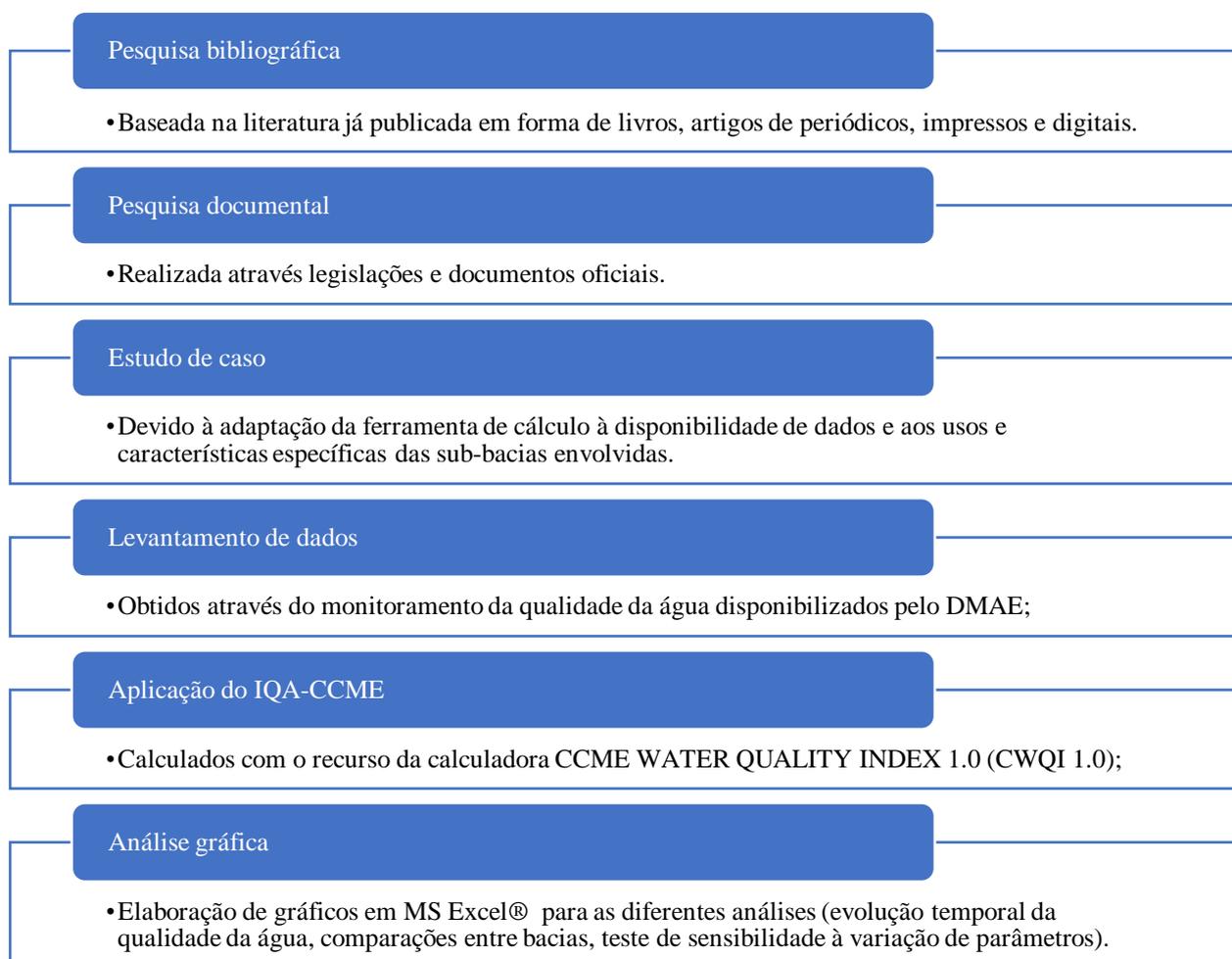


Figura 17: Classificação metodológica dos procedimentos de pesquisa.

FONTE: A autora

Nos itens a seguir são aprofundados os materiais e métodos utilizados. Iniciando-se com o levantamento de dados no item 5.1 em que são apresentados o procedimento realizado e os dados obtidos. No item 5.2 é exposto todo o procedimento de seleção de dados de estudo com os aspectos teóricos aplicados e as considerações necessárias. O item 5.3 mostra a metodologia de cálculo, a

forma que os parâmetros selecionados foram agrupados e informações sobre tratamento de dados para uso da calculadora.

5.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS

Foram solicitados ao DMAE, por meio de processo administrativo, os dados de monitoramento de qualidade da água das sub-bacias do Arroio do Salso e do Arroio Lami no período de 1990 até 2019. Foram fornecidos pelo DMAE dados de duas estações de coleta no Arroio do Salso (71A e 71 B), e dados de três estações de coleta no Arroio Lami (AL1, AL2 e AL3). Exceto para a estação AL3, foram fornecidas junto com os dados, as coordenadas geográficas das estações (Quadro 4).

Quadro 4: Coordenadas geográficas das estações de monitoramento do Arroio Lami e do Arroio do Salso

ARROIO	ESTAÇÃO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
		S	O
LAMI	AL1	30° 14' 30,4"	51° 06' 24,5"
	AL2	30° 13' 07,9"	51° 07' 02,5"
	AL3	-	-
SALSO	71A	30° 10' 27,9"	51° 12' 54,6"
	71B	30° 10' 33,9"	51° 13' 34,5"

FONTE: A autora

Para fins de proporcionar uma perspectiva espacial do estudo, as estações de coleta foram plotadas no Google Earth Pro (GOOGLE, 2020). As sub-bacias foram delimitadas no Google Earth Pro (2020) através da inserção dos shapefiles no software QGIS (2017) e, posteriormente, desenhadas nos mapas. Os shapefiles das sub-bacias localizadas no município estão disponíveis no Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2008). A imagem de satélite com as demarcações das estações de monitoramento dos arroios Lami e do Salso são apresentados na Figura 18.

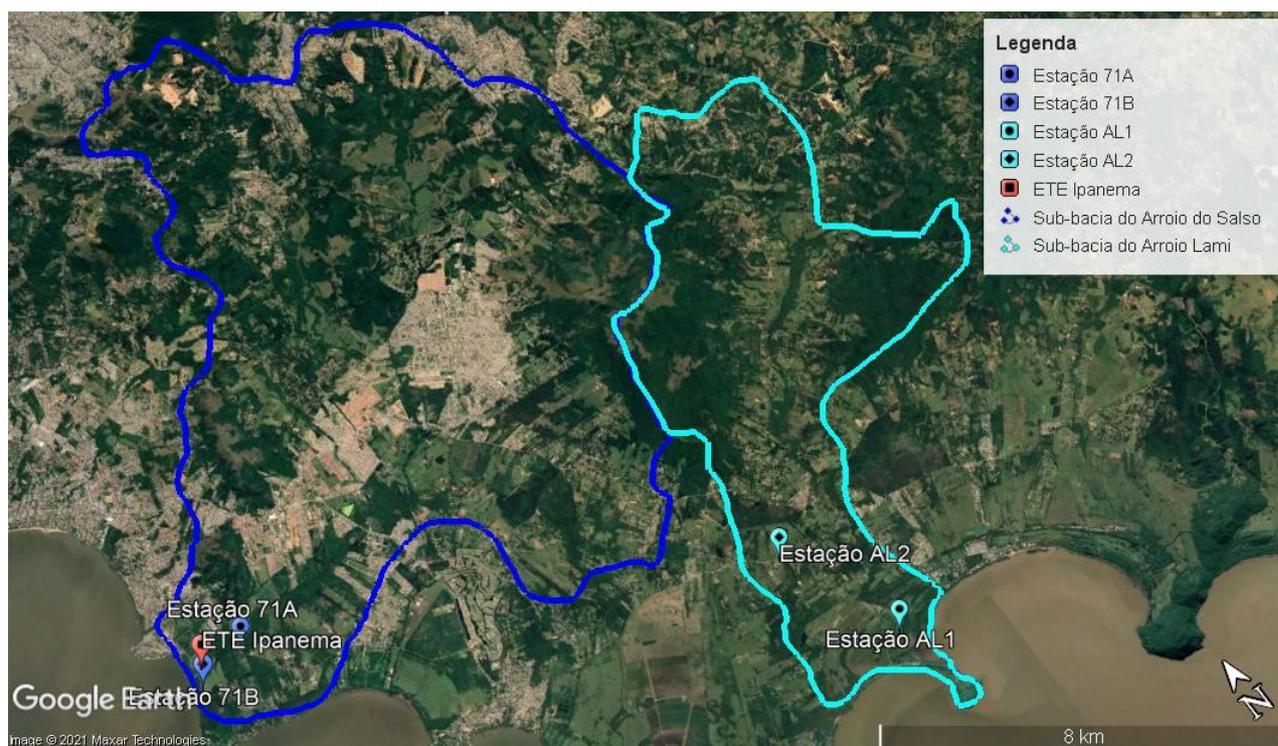


Figura 18: Imagem de Satélite com demarcação das estações de monitoramento do Arroio Lami e do Arroio do Salso.

FONTE: A autora

Na sequência foram geradas tabelas dinâmicas com a opção de contagem de valor como passo intermediário na organização dos dados. Os dados foram compilados em planilha de MS Excel® em um formato que possibilitou a visualização quantitativa das análises no decorrer dos anos de forma a elucidar o julgamento dos parâmetros que irão incorporar o índice, bem como os períodos e estações que irão compor o estudo. Também foram identificadas as siglas utilizadas pelo DMAE na nomeação dos parâmetros e realizadas as devidas padronizações.

Ao todo foram disponibilizados dados de 43 parâmetros, para cada estação: Alcalinidade, Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cianeto, Cloreto, Cobre, Coliformes Fecais, Condutividade, Cromo Total, DBO, DQO, *Escherichia Coli*, Enxofre, Estanho, Fenol, Ferro Solúvel, Ferro Total, Flúor, Fósforo Total, Íon Amônio, Manganês Total, Mercúrio, Níquel, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Kjeldahl, Nitrogênio Orgânico, Nitrogênio Total, OD, Óleos e graxas, pH, Prata, Sólidos Decantáveis - SD, Sólidos Suspensos Totais - SST, Sólidos Totais - ST, Surfactantes, Temperatura, Turbidez, *Vibrio Fischeri* e Zinco.

As estações do Arroio do Salso, denominadas 71A e 71B, contemplaram boa parte dos parâmetros com quantidades de amostras durante o período. A estação 71A possui dados do ano de 1992 até o ano de 2019, enquanto a estação 71B possui dados de 1995 até 2019. A estação 71A teve poucos parâmetros coletados nos anos iniciais fornecidos, de 1992 a 1995, e os resultados

quantitativos obtidos podem ser observados na Tabela 1. Para a estação 71B os resultados estão apresentados na Tabela 2. As estações foram criadas para fins de acompanhamento do efeito do descarte do efluente da ETE Ipanema no arroio, sendo 71A e 71B os pontos respectivamente a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente. Ambas as estações, por estarem localizadas em pontos na porção do baixo curso do Arroio Salso, possuem cargas contribuintes das regiões a montante do ponto de lançamento do efluente dessa ETE.

As estações do Arroio Lami, denominadas AL1, AL2 e AL3, apresentaram dados de coletas mais escassos e irregulares. A estação AL1 possui dados do ano de 1992 até o ano de 2013, sendo que de 1994 até 2000 ocorreram análises com quantidade reduzida de parâmetros (Tabela 3). A estação AL2 possui dados de 1992 até 2017, porém dos anos de 1994 até 2016 as coletas foram inexistentes ou raras inviabilizando a análise histórica de qualidade da água no ponto. Já a estação AL3 possui coletas apenas nos anos 1992 e 1993. A estação AL1 foi a única da sub-bacia do Lami com dados suficientes para ser incorporada à pesquisa, sendo que esta também se encontra na região mais a jusante do arroio.

Portanto, considera-se viável para compor o presente estudo a utilização dos dados relativos às estações 71A e 71B, referentes ao arroio do Salso e à estação AL1 referente ao arroio Lami. As estações AL2 e AL3 foram descartadas da pesquisa por falta de dados disponíveis. Diante do exposto, mesmo que o IQA-CCME permita a análise da variação espacial da qualidade da água em uma bacia hidrográfica, devido a restrita quantidade de estações de coletas e a proximidade das mesmas, não foi possível realizar a avaliação multiespacial prevista nos objetivos específicos.

Tabela 1: Dados quantitativos de parâmetros coletados na estação 71A em série histórica de qualidade da água

ARROIO DO SALSO																														
Estação 71A (1992 - 2019)																														
Parâmetro	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total	
1 Alcalinidade																2	12	6										20		
2 Alumínio					1	6	3	4	6	6	1	1	4	4	4	4	1		1	2	2	2	1	2	2	2		2	61	
3 Arsênio																			1										1	
4 Bário							2	2				1	3	4	4	4	1												21	
5 Cádmio							1	2				1	3	3	3	4	3	4	3	2	2	2	1	2	2	2		2	42	
6 Chumbo							1	2				1	3	3	3	4	3	4	3	2	2	2	1	2	2	2		2	42	
7 Cianeto																			1	2	2	2							12	
8 Cloreto					1	1	1					1	3	11	11	12	12	11	5	7	1								77	
9 Cobre								2				1	3	4	4	4	3	4	3	2	2	2	1	2	2	2		2	43	
10 Coliformes Fecais																												4	4	
11 Condutividade					3	1	1		2	3	3	2				2	12	12	12	12									65	
12 Cromo Total						2	2				1	3	3	3	4	3	4	3	2	2	2	2	1	2	2	2		2	43	
13 DBO	1				1	5	3	4	10	12	9	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	9	12	12	6	3	4	221	
14 DQO					1	6	3	4	6	2	4	4	6	12	12	12	12	12	12	11	12	12	12	9	12	12	6	3	4	189
15 Escherichia Coli									10	12	2			3	12	12	12	12	12	12	12	12	8	12	12	8	3	4	170	
16 Enxofre											1															2			3	
17 Estanho																				2	4	2	2	1	2			2	17	
18 Fenol																			1										1	
19 Ferro Solúvel																													0	
20 Ferro Total					1	6	3	4	6	6	1	1	4	4	4	4	2		1	2	2	2	1	2	2	2		2	62	
21 Flúor												2	11	11	12	11	11	5	7	1									71	
22 Fósforo Total											7	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	9	12	12	6		2	178	
23 Ion amônio						1	1				4	10	12	12	12	12	12	12	5	7	11	12	9	12	12	6	3	4	169	
24 Manganês Total							1	2					3	1	3	3	1		1	2									17	
25 Mercúrio					1			1				1	3	4	4	4	3	4	3	2	2	2	1	2	2	2		2	43	
26 Níquel							1	2					3	2	3	4	1		1	1	2	2	1	2	2	2		2	31	
27 Nitrato											7	10	12	12	12	12	12	12	5	6	1			1					102	
28 Nitrito											7	10	12	12	12	12	12	12	5	6	1			1					102	
29 Nitrogênio Kjeldahl					1	5	2	4	6	3	3	1	2						8	5									40	
30 Nitrogênio Orgânico						1	1				4	10	12	12	12	12	12	12	3	2									93	
31 Nitrogênio Total						1	1				5	10	12	12	12	12	12	12	4	2									95	
32 OD	2	3			1	6	3	4	6	2	3	3	2	1	1	2	12	12	12	9	11	12	8	12	12	6	3	4	152	
33 Óleos e graxas																			8	12	12	12	9	12	12	1			78	
34 pH	1				1	6	3	4	10	12	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	9	12	12	6	3	4	222	
35 Prata												2	2	3	3	1		1	2	2	2	1	2	2	2	2		2	27	
36 SD								2	10	12	10	10	12	12		12	12	12	12	12	12	12	9	12	12	6	2	2	195	
37 SST					1	5	3	4	10	12	10	10	12	12		12	12	11	12	12	12	12	9	12	12	6	2	4	207	
38 ST						2	1								1	1	1		1										6	
39 Surfactantes															1		1	1	1	9	11	12	12	9	12	11	1		81	
40 Temperatura	3	3	1		1	6	3	4	10	12	10	10	11	12		12	12	12	12	12	12	12	9	12	12	6	3		212	
41 Turbidez					1	6	3	4	6	2	3	3	2			2	12	12	12	12	1								81	
42 Vibrio Fischeri							2	2					1	3	4		4	3	4	3	2	2	2	2	2	2	1		7	
43 Zinco																													2	41
Total	7	6	1	0	11	66	45	61	96	95	103	135	187	210	181	236	253	245	216	221	170	168	117	172	169	89	26	58		

FONTE: A autora

Tabela 2: Dados quantitativos de parâmetros coletados na estação 71B em série histórica de qualidade da água

ARROIO DO SALSO																											
Estação 71B (1995 - 2019)																											
Parâmetro	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total	
1 Alcalinidade										1			2	12	6											21	
2 Alumínio	2	13	12	12	11	6	7	2	1	4	4	4	4	1		1	2	2	2	2	2	2	2		2	100	
3 Arsênio										1						1										2	
4 Bário				7	6				1	3	4	4	4	1												30	
5 Cádmio	2	12	11	12	11					3	3	3	4	3	4	3	2	2	2	2	2	2	2		2	87	
6 Chumbo	2	12	11	12	11				1	3	3	3	4	3	4	3	2	2	2	2	2	2	2		2	88	
7 Cianeto																1	2	2	2			2	2	1		12	
8 Cloreto	4	13	12	12	11	4	3	4	2	5	11	11	12	12	11	6	8	1								142	
9 Cobre	2	11	11	12	11				1	3	4	4	4	3	4	3	2	2	2	2	2	2	2		2	89	
10 Coliformes Fecais																								2	4	6	
11 Condutividade	4	13	12	12	11	4	3	4	2	3	3	4	5	12	12	12	12	3	3	3	2					139	
12 Cromo Total	2	12	11	12	11				1	3	3	3	4	3	4	3	2	2	2	2	2	2	2		2	88	
13 DBO	4	13	12	12	11	10	13	10	10	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	38	12	12	7	4	4	291	
14 DQO	4	13	12	12	11	6	3	5	4	6	12	11	11	12	12	12	12	12	12	39	12	12	7	4	4	260	
15 Escherichia Coli									2	8	11	3	12	12	12	12	12	12	12	39	12	12	8	4	4	199	
16 Enxofre				2	4	4	3	4	3	2	3	3	4	3	1											36	
17 Estanho																2	4	2	2	2	2	2	2		2	20	
18 Fenol				2	4	4	3	4	3	1	2	4	3	3	4	5										42	
19 Ferro Solúvel																										0	
20 Ferro Total	2	13	12	12	11	6	7	2	1	4	4	4	4	2		1	2	2	2	2	2	2	2		2	101	
21 Flúor										2	11	11	12	11	11	6	7	1								72	
22 Fósforo Total								8	10	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	39	12	12	7	2	4	213	
23 Íon amônio	2	13	12	12	11	5	3	6	10	12	12	12	12	12	12	6	8	11	12	39	12	12	7	4	4	261	
24 Manganês Total	2	12	11	12	11					3	1	3	3	1		1	2									62	
25 Mercúrio	2	13	9	10	11	1			1	4	4	4	4	3	4	3	2	2	2	2	2	2	2		2	89	
26 Níquel	2	12	11	12	11					3	2	3	4	1		1	1	2	2	2	2	2	2		2	77	
27 Nitrate								7	10	12	12	12	12	12	12	12	5	7	1		37	7	2	4	3	158	
28 Nitrito								7	10	12	12	12	12	12	12	6	7	1		37	7	2	4	4	3	160	
29 Nitrogênio Kjeldahl			1			1	1	3	1	1						6	4			2		2	3	4	4	33	
30 Nitrogênio Orgânico	3	13	12	12	11	5	3	6	10	12	12	12	12	12	12	6	4			37					4	198	
31 Nitrogênio Total	2	13	12	12	11	4	3	7	10	12	12	12	12	12	12	6	4			37		2	3	2	3	203	
32 OD	4	13	12	12	11	6	3	4	3	3	2	3	5	12	12	12	9	11	12	38	12	12	7	4	4	226	
33 Óleos e graxas				2	4	4	3	4	2	3	2	3			3	1	7	12	12	10	12	12	1			109	
34 pH	4	13	12	12	11	10	13	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	39	12	12	7	4	4	292	
35 Prata										2	2	3	3	1		1	2	2	2	2	2	2	2		2	28	
36 SD					3	10	13	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	9	1	12	6	4	4	202
37 SST		1	5	3	4	10	13	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	39	1	12	7	4	4	243	
38 ST	4	13	12	12	11	4	3	4	3	3	3	4	4	3	4	5	2									94	
39 Surfactantes				2	3	4	3	4	3	3	3	4	4	4	2	9	11	12	12	9	1	11	1			105	
40 Temperatura	12	17	11	12	11	10	13	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	39	12	12	7	4		300	
41 Turbidez	3	13	12	12	11	6	3	4	2	3	3	3	5	12	12	12	12	4	3	3	2					140	
42 Vibrio Fischeri																					2	2	2	2	1		7
43 Zinco	2	11	11	12	11				2	3	4	4	4	3	4	3	2	2	2	2	2	2	2		2	90	
Total	70	282	259	280	270	124	119	141	155	218	228	246	256	268	256	232	230	176	174	555	155	177	111	54	79		

FONTE: A autora

Tabela 3: Dados quantitativos de parâmetros coletados na estação AL1 em série histórica de qualidade da água

ARROIO LAMI																							
Estação AL1 (1992 - 2013)																							
Parâmetro	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Total
1 Alcalinidade	4	4											1										9
2 Alumínio	4	4																					8
3 Arsênio																							0
4 Bário	4	4																					8
5 Cádmio	4	4																					8
6 Chumbo	4	4																					8
7 Cianeto																							0
8 Cloreto	4	4								2	4	4	5	4	4	4	3	4	4	4	1		51
9 Cobre	4	4																					8
10 Coliformes Fecais																							0
11 Condutividade	4	4					5	11	13	10	8	4	5	4	4	4	3	4	4	4	3	1	95
12 Cromo Total	4	4																					8
13 DBO	4	3								1	4	4	5	4	4	4	3	4	4	4	3	1	52
14 DQO	3	4								2	4	4	5	4	4	4	3	4	3				44
15 Escherichia Coli									15	12	9	7	8	6	4	4	3	4	4	4	3	1	84
16 Enxofre										2	4	4	5	4	4	4	2						29
17 Estanho	4	4																					8
18 Fenol										2	4	4	2	3	4	4	3	4	3				33
19 Ferro Solúvel	4	4																					8
20 Ferro Total	4	4																					8
21 Flúor													1	4	4	4	3	4	4	4	1		29
22 Fósforo Total											8	4	5	4	4	4	3	4	4	4	3	1	48
23 Ion amônio	4	4								2	4	4	5	4	4	4	3	4	4	3	3	1	53
24 Manganês Total	4	4																					8
25 Mercúrio	3	4																					7
26 Níquel	4	4																					8
27 Nitrato											4	4	5	4	4	4	3	4	4	4	1		41
28 Nitrito											4	4	5	4	4	4	3	4	4	4	1		41
29 Nitrogênio Kjeldahl						12	11	13	3	9	4									1			53
30 Nitrogênio Orgânico	4	4								2	4	4	5	4	4	4	3	4	4	3			49
31 Nitrogênio Total	4	4								2	4	4	5	4	4	4	3	4	4	3			49
32 OD	4	4								2	4	4	5	4	4	4	3	4	4	3	3	1	53
33 Óleos e graxas										2	4	4	4	4	4	1	2						25
34 pH	4	4	11	14	13	12	11	13	15	12	9	7	8	6	4	4	3	4	4	4	3	1	166
35 Prata	4	4																					8
36 SD										2	3	4	5	4	3	4	2						27
37 SST	1	4								2	4	4	5	4	4	4	3	4	4	4	3	1	51
38 ST	4	4								2	4	4	4	4	4	4	3	4	3				44
39 Surfactantes	4	4								2	4	4	5	4	4	4	2						37
40 Temperatura	4	4	11	15	13	12	11	13	15	12	9	7	8	6	4	4	3	4	4	4	3	1	167
41 Turbidez	4	4					5	11	13	10	8	3	5	4	4	4	3	4	4	4	3	1	94
42 Vibrio Fischeri																							0
43 Zinco	4	4																					8
Total	111	115	22	29	26	36	43	61	74	92	118	96	116	97	91	89	65	76	73	61	34	10	

FONTE: A autora

5.2 ESCOLHA DE PARÂMETROS E CATEGORIAS DE USOS

Para a escolha de parâmetros de estudo foram utilizados alguns critérios que serão detalhados no decorrer do texto:

- Conjunto básico de parâmetros associado ao uso e ocupação do solo das sub-bacias;
- Parâmetros específicos locais;
- Disponibilidade de análises e de padrões definidos em legislação vigente.

Na sequência, é realizada a avaliação dos parâmetros pré-selecionados a partir da verificação de aspectos relevantes dos parâmetros além das considerações necessárias para adequação da metodologia, com uma exposição teórica um pouco mais detalhada das correlações e aproximações de parâmetros utilizadas na pesquisa.

5.2.1 Conjunto básico de parâmetros associado ao uso e ocupação do solo das sub-bacias

A tabela de parâmetros associados ao uso e tipo de descarte referenciada no manual do CCME, disponível no Anexo A, foi utilizada na metodologia de seleção de parâmetros de estudo combinada aos usos das sub-bacias. O uso e ocupação do solo das sub-bacias foram obtidos a partir do Plano de Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba conforme explorado no capítulo 4 (ECOPLAN, 2017). As categorias apresentadas no Quadro 5 são bem semelhantes para ambas as sub-bacias, se diferenciando apenas pelo banhado contido na sub-bacia do arroio Lami.

Quadro 5: Categorias de uso e ocupação do solo das sub-bacias do Arroio do Salso e do Arroio Lami

Sub-bacia	Arroio do Salso	Arroio Lami
Uso e ocupação do solo	Reflorestamento/silvicultura, área urbana, campo, mata, campo úmido, lavoura não irrigada.	Reflorestamento/silvicultura, área urbana, campo, mata, campo úmido, lavoura não irrigada, banhado.

FONTE: A autora

Tendo em vista o objetivo de avaliar a qualidade dos corpos hídricos optou-se por selecionar os usos considerando os estressores antrópicos: silvicultura, área urbana, campo, lavoura não irrigada. Restando assim as mesmas categorias para ambas as bacias. As categorias de uso foram padronizadas com nomenclaturas utilizadas pelo CCME de forma a integrar os parâmetros básicos tabelados no manual do IQA-CCME.

Considerou-se a categoria “campo” como área de atividade agropecuária, “lavoura” como atividade agrícola, a “área urbana” foi dividida em drenagem e esgoto sanitário, e reflorestamento/silvicultura é denominada apenas silvicultura. O Quadro 6 reúne os parâmetros básicos para as categorias de usos específicas das sub-bacias embasados pelo estudo do IQA-CCME (TRI-STAR ENVIRONMENTAL CONSULTING, 2012).

Quadro 6: Parâmetros básicos para as categorias de uso das sub-bacias do Arroio do Salso e Arroio Lami

Atividade/ Parâmetro	Agricultura	Agropecuária	Drenagem	Esgoto	Sivicultura
Coliformes Fecais	X	X	X	X	X
<i>Escherichia Coli</i>	X	X	X	X	X
Sólidos Dissolvidos Totais	X		X		
pH	X	X	X	X	X
OD	X	X	X	X	X
COT/ DBO/ DQO	X	X	X	X	X
Sólidos Suspensos Totais	X	X	X	X	X
Turbidez	X	X	X	X	X
Nitrogênio Amoniacal	X	X	X	X	X
Nitrato	X	X	X	X	X
Nitrito	X	X	X	X	X
Fósforo	X	X	X	X	X
Alumínio			X		
Cádmio			X		
Cobre			X	X	
Chumbo			X	X	
Níquel				X	
Zinco				X	
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos - HAPs			X	X	
Ftalatos				X	
Pesticidas	X				X

FONTE: A autora

5.2.2 Parâmetros específicos locais

Identificou-se através das referências abordadas no capítulo 4, que uma das preocupações ambientais nas áreas das sub-bacias são as ocupações irregulares que, entre outros problemas, causam desmatamento e erosão dos solos. Conforme Porto Alegre (2017) verificou-se ainda algumas não conformidades nos resultados das análises de metais (Alumínio, Ferro e Manganês) para a sub-bacia do Arroio do Salso. Neste sentido, o estudo da contaminação dos corpos hídricos através de elementos relacionados ao tipo de solo torna-se relevante.

Considerando-se que há dados da geoquímica disponíveis para sub-bacia do arroio do Salso, conforme apresentado no capítulo 4, julgou-se adequado embasar os parâmetros específicos para esta sub-bacia a partir dos elementos associados ao tipo de solo: Alumínio, Ferro, Manganês, Magnésio, Cálcio, Sódio, Potássio, Cromo, Cobre, Níquel, Chumbo e Zinco (OLIVEIRA, 2001 apud SOARES et al., 2004).

5.2.3 Disponibilidade de análises e de padrões definidos em legislação vigente

Utilizando como base a Resolução CONAMA nº357/05 e as estações já selecionadas (AL1, 71A, 71B), elaborou-se uma tabela com todos os parâmetros mencionados nos critérios de seleção. No Quadro 7 os parâmetros foram marcados com “X” nas colunas referentes aos limites disponíveis na legislação base, às categorias de uso e tipo de solo, e às estações de coleta para o caso de haver 5 anos ou mais de dados de parâmetro analisados.

Ao analisar criteriosamente o quadro 7 verificou-se a possibilidade de trabalhar com um total de 19 parâmetros, sendo eles: Alumínio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo Total, Ferro Total, Manganês Total, Níquel, Zinco, *Escherichia Coli*, Fósforo Total, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, OD, pH, SDT e Turbidez.

Quadro 7: Parâmetros disponíveis nas estações de coleta associados aos aspectos de legislação, usos e tipo do solo

Parâmetros	Estações de Coleta			Usos do Solo					Geoquímica	CONAMA 357/05
	AL1	71A	71B	Agricultura	Agropecuária	Drenagem	Esgoto	Sivicultura		
Alcalinidade										
Alumínio		X	X			X			X	X
Arsênio										X
Bário		X	X							X
Cálcio									X	
Cádmio		X	X			X				X
Chumbo		X	X			X	X		X	X
Cianeto		X								X
Cloreto	X	X	X							X
Cobre		X	X			X	X		X	X
Coliformes Fecais				X	X	X	X	X		X
Condutividade	X	X	X							
COT				X	X	X	X	X		
Cromo Total		X	X	X			X		X	X
DBO	X	X	X	X	X	X	X	X		X
DQO	X	X	X	X	X	X	X	X		
Escherichia Coli	X	X	X	X	X	X	X	X		
Enxofre	X		X							
Estanho		X	X							
Fenol	X		X							X
Ferro Solúvel									X	X
Ferro Total		X	X						X	
Flúor	X	X	X							X
Fósforo Total	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Ftalatos							X			
Íon amônio	X	X	X							
Magnésio									X	
Manganês Total		X	X						X	X
Mercurio		X	X							X
Níquel		X	X				X		X	X
Nitrato	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Nitrito	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Nitrogênio Amoniacal				X	X	X	X	X		X
Nitrogênio Kjeldahl		X	X							
Nitrogênio Orgânico	X	X	X							
Nitrogênio Total	X	X	X							
OD	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Óleos e graxas	X	X	X							
pH	X	X	X	X	X	X	X	X		X
PAHs						X	X			
Pesticidas				X				X		
Potássio									X	
Prata		X	X							X
Sódio									X	
SD	X	X	X							
SDT				X		X				X
SST	X	X	X	X	X	X	X	X		
ST	X	X	X							
Sulfato						X				X
Surfactantes	X	X	X							
Temperatura	X	X	X							
Turbidez	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Víbrio Fischeri										
Zinco		X	X				X		X	X

FONTE: A autora

Nota: os parâmetros foram marcados com “X” nas colunas referentes aos limites disponíveis na legislação base, às categorias de uso e tipo de solo, e às estações de coleta para o caso de haver 5 anos ou mais de dados de parâmetro analisados.

5.2.4 Aspectos relevantes para seleção de parâmetros de estudo e considerações necessárias

Para os parâmetros pré-selecionados, foi elaborado o Quadro 8 com aspectos de relevância do parâmetro quanto à fonte poluidora ou função do parâmetro como indicador de forma a contextualizar a escolha e verificar a adequação quanto à categoria avaliada.

Quadro 8: Aspectos relevantes para seleção dos parâmetros de estudo

Parâmetros	Relevância
Metais: Alumínio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo Total, Ferro Total, Manganês Total, Níquel, Zinco	Alguns metais, quando em pequenas quantidades, são essenciais aos seres vivos com importante papel no metabolismo dos organismos aquáticos. Porém quando em grandes concentrações, podem apresentar toxicidade aos organismos vegetais e animais. Outros, entretanto, não tem função biológica conhecida podendo apresentar toxicidade mesmo que em pequenas concentrações. As principais fontes de metais para o ambiente aquático continental são o intemperismo de rochas e a erosão de solos ricos nestes materiais. Porém, as ações antrópicas geradoras de resíduos de atividades industriais, mineração, efluentes domésticos e águas superficiais proveniente de áreas cultivadas com adubos químicos, têm grande relevância. (ESTEVES, 2011).
DBO	A matéria orgânica é um dos principais poluentes dos corpos hídricos podendo ser medida de forma indireta por alguns parâmetros, dentre eles a demanda bioquímica do oxigênio - DBO. A DBO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica para uma forma inorgânica estável. O aumento do teor de matéria orgânica num corpo hídrico pode levar ao completo esgotamento do oxigênio na água, causando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida (ANA, 2020f)
<i>Escherichia Coli</i>	As bactérias do grupo “coliforme” habitam normalmente o trato intestinal dos endotérmicos (animais de sangue quente), servindo, portanto, como indicadores da contaminação de uma amostra de água por fezes. Entretanto, o grupo dos coliformes inclui bactérias não exclusivamente de origem fecal, podendo ocorrer naturalmente no solo, água e plantas. O grupo de bactérias, denominadas “coliformes termotolerantes” engloba predominantemente o gênero <i>Escherichia</i> e, em menor quantidade, <i>Citrobacter</i> , <i>Klebsiella</i> e <i>Enterobacter</i> . O termo “coliformes totais” congrega um grupo mais amplo de bactérias, porém não são causadoras de doenças. Enquanto a <i>Escherichia Coli</i> é de origem exclusivamente fecal as demais bactérias podem ocorrer em águas com altos teores de matéria orgânica. Assim consolida-se progressivamente no meio técnico a tendência do emprego do exame de <i>Escherichia Coli</i> no monitoramento de água bruta (ANA, 2020g).
Fósforo Total	O fósforo pode ser encontrado na forma orgânica (matéria orgânica dissolvida e particulada da biomassa) e inorgânica (fração solúvel representada pelos sais dissolvidos de fósforo e fração insolúvel formada por minerais). O fosfato se apresenta nos mananciais sob três formas: fosfato particulado, fosfato orgânico dissolvido e fosfato total. O fosfato presente na água tem origem em fontes naturais (rochas das bacias de drenagem, material particulado presente na atmosfera e decomposição da matéria orgânica) e artificiais (esgotos domésticos e industriais e material particulado de origem industrial contido na atmosfera) (ANA, 2020f).
Série Nitrogenada: Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal	O nitrogênio pode ser encontrado nas águas de diversas formas que podem ser associadas às etapas de degradação da poluição orgânica: nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. As duas primeiras são formas reduzidas e as duas últimas, oxidadas. Nas zonas de autodepuração natural em rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas (PIVELI, 2020). A presença de nitrogênio na forma de nitrato em um corpo d’água é indicador da poluição relacionada ao final do processo de nitrificação e pode caracterizar a presença de efluentes de esgotos sanitários nos corpos hídricos (ANA, 2020f).

Parâmetros	Relevância
OD	Uma adequada provisão de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção da vida no ambiente aquático além de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e em estações de tratamento de esgotos (ANA, 2020f). As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese. Por outro lado, as perdas ocorrem pelo consumo e decomposição de matéria orgânica (oxidação), para a atmosfera, pela respiração de organismos aquáticos e pela oxidação de íons metálicos como, por exemplo, o ferro e manganês (ESTEVES, 2011).
pH	A dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese são origens naturais para alteração do pH. As origens antropogênicas são despejos domésticos (oxidação da matéria orgânica) e despejos industriais, como lavagem ácida de tanques (ANA, 2020g)
SDT	Os sólidos referem-se ao material suspenso ou dissolvido em água ou esgoto. Nos estudos de controle de poluição das águas naturais, principalmente nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos). Os SDT são a soma de todos os constituintes químicos dissolvidos na água (ANA, 2020f).
Turbidez	A turbidez na água é causada por materiais em suspensão, como por exemplo, argila, silte, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, compostos orgânicos solúveis coloridos, plâncton e outros organismos microscópicos (ANA, 2020f)

FONTE: A autora

Verifica-se que o conjunto de parâmetros apresentados no Quadro 8 é de fato relevante e deve ser estudado na presente pesquisa. Porém identificou-se a necessidade de algumas considerações importantes à metodologia:

- 1) Através das Tabelas 1, 2 e 3, de dados quantitativos das estações, verifica-se que a maior parte da disponibilidade de parâmetros analisados está concentrada entre os anos 2002 e 2017 para o arroio do Salso e entre 2002 e 2013 para o arroio Lami. Portanto, estes períodos foram delimitados para o cálculo do IQA.
- 2) Com o intuito de padronizar os dados quantitativos das amostragens e diminuir a variação quantitativa de parâmetros de um ano para outro, selecionou-se apenas quatro campanhas anuais para o cálculo buscando-se as campanhas mais completas em diferentes períodos do ano.
- 3) Há escassez ou inexistência de alguns dados para o arroio Lami, principalmente em relação aos metais. Encontrou-se como solução utilizar apenas um conjunto básico de parâmetros relacionados ao esgoto para comparar os IQA's dos diferentes arroios. Já as demais avaliações para usos de solo e geoquímica foram realizadas somente para o arroio do Salso.
- 4) A sub-bacia do Arroio do Salso, atualmente enquadrada na classe 4, possui como meta de enquadramento futuro a classe 3. Uma vez que a legislação adotada prevê para a classe 4

apenas os limites para OD, pH e fenóis, optou-se por trabalhar com padrões de meta de enquadramento para esta bacia. Já para a sub-bacia do Arroio Lami os cálculos do IQA foram feitos com base na classe 3 (atual) e na classe 2 (futura). As comparações entre as duas sub-bacias foram realizadas utilizando-se os limites para a classe 3.

- 5) Para fins de tornar a avaliação mais completa, alguns dados foram adaptados através de correlações ou aproximações possibilitando a utilização dos parâmetros selecionados.
- 6) Após verificada a disponibilidade de parâmetros analisados, as categorias Agricultura, Agropecuária e Sivicultura se igualaram em seus componentes. Portanto, optou-se por denominar este conjunto de parâmetros de Agro.
- 7) Os IQA's foram calculados anualmente para todos os casos estudados. Entretanto foram realizados agrupamentos de dados bianualmente sempre que ocorreu alguma variação brusca na quantidade de parâmetros de um ano para outro ou algum período fora das diretrizes do CCME.
- 8) As categorias foram organizadas em dois grupos para as avaliações relativas ao Arroio do Salso. O Grupo 1 contempla o conjunto de parâmetros sugeridos pelo CCME considerando os usos do solo conforme plano de bacia (Agro, Esgoto, Drenagem). Já o Grupo 2 representa os dois pontos problemáticos da bacia (Esgoto e Geoquímica), sendo que a categoria Esgoto deste segundo grupo não inclui os metais no seu conjunto de parâmetros com o intuito de melhorar a diferenciação entre as categorias.

O Quadro 9 apresenta um resumo da metodologia definida nas etapas anteriores, considerando as estações selecionadas seus respectivos períodos de avaliação e as categorias que dão origem ao grupo de parâmetros a serem avaliados.

Quadro 9: Resumo da metodologia definida nas etapas anteriores

Sub-bacia	Arroio do Salso	Arroio Lami
Estações	71A e 71B	AL1
Período	2002 a 2017	2002 a 2013
Categorias	Grupo 1 (Agro, Esgoto, Drenagem) Grupo 2 (Esgoto, Geoquímica)	Esgoto

FONTE: A autora

5.2.5 Correlações e aproximações de parâmetros

Os parâmetros *Escherichia Coli*, Sólidos Dissolvidos Totais, Nitrogênio Amoniacal e Ferro Solúvel foram considerados de fundamental importância na avaliação da qualidade da água. Portanto, alguns dados foram adaptados através de correlações ou aproximações aqui apresentados, o que possibilitou a utilização dos parâmetros selecionados.

Escherichia Coli

Em virtude das análises de Coliformes Termotolerantes ocorrerem apenas nos dois últimos anos da série histórica, foi necessário introduzir o parâmetro *Escherichia Coli* no IQA quando avaliado o uso esgoto doméstico, visto que este parâmetro é um importante representante do grupo Coliformes Termotolerantes. Entretanto, apenas os parâmetros Coliformes Fecais/Termotolerantes estão previstos na legislação base, Resolução CONAMA nº357/2005, sendo que a substituição pela *Escherichia Coli* é permitida de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente. Como não há esta delimitação no estado do Rio Grande do Sul, buscou-se nas legislações relacionadas os limites do parâmetro *Escherichia Coli*:

- A legislação estadual vigente Resolução CONSEMA nº355/2017 estabelece limites de lançamento de efluentes apenas para Coliformes Fecais/ Termotolerantes sem padrões de referência para *Escherichia Coli* (CONSEMA, 2017).
- A legislação de balneabilidade, Resolução CONAMA nº 274/2000, prevê o limite para parâmetro *Escherichia Coli*, porém é específica para o uso balneabilidade e não contemplaria os demais usos da bacia conforme enquadramento (CONAMA, 2000).
- Há uma legislação referência do Estado de São Paulo, a Decisão de Diretoria nº027/2013/E, utilizada pela CETESB para estabelecer os valores limites para o parâmetro *Escherichia Coli* no Estado de São Paulo (CETESB, 2013).

A Decisão de Diretoria nº027/2013/E, baseada em estudo de monitoramento de *Escherichia Coli* e Coliformes Termotolerantes de águas interiores do Estado de São Paulo, utiliza a relação de *Escherichia Coli* equivalente a 60% da concentração de Coliformes Termotolerantes. Apesar de o estudo ter encontrado a relação de 80% através de parâmetros estatísticos médios obtidos pela regressão linear, recomendou-se que a CETESB adotasse o critério mais conservativo, de 60%, que é o valor arredondado do limite inferior do intervalo de confiança para três dos quatro conjuntos de dados apresentados (CETESB, 2008). Portanto, na presente pesquisa, utilizou-se a mesma relação

adotada pela CETESB por tratar-se de um documento oficial precedido de estudo prévio (CETESB, 2013).

Houve ainda outra adaptação no cálculo para a *Escherichia Coli*, assim como os padrões para Coliformes Fecais do CONAMA nº 357/2005, a proposta da CETESB para *Escherichia Coli* baseia-se no percentil 80 de pelo menos seis amostras anuais de frequência bimestral. Esta particularidade foi desconsiderada ao incorporar somente o limite fixo ao índice.

Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

O parâmetro Sólidos Dissolvidos Totais, disponível na legislação base e solicitados em alguns usos tabelados pelo CCME, não estava na planilha de análises original fornecida pelo DMAE. Os dados continham valores apenas de Sólidos Decantáveis, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Totais em algumas das campanhas. Entretanto, não há padrão para estes sólidos na Resolução CONAMA nº357/2005.

A quantidade de sólidos dissolvidos totais pode ser estimada a partir da medida da condutividade elétrica. Multiplica-se o valor da condutividade por um fator empírico determinado a partir da composição conhecida da água. A maioria das medidas de condutividade aceita um fator empírico ao redor de 0,65 g cm/mS L, mas para águas com valor de condutividade acima de 5000 µS/cm esse fator deve ser reconsiderado para valores entre 0,735 e 0,8 g cm/mS L, e para casos de água pura de baixa condutividade os valores devem estar entre 0,47 e 0,5 g cm/mS L (CTA, 2021).

Para o caso específico da presente pesquisa, verificada a existência de análises de condutividade disponíveis, e os valores abaixo de 5000 µS/cm, encontrou-se como solução utilizar correlação de 0,65 g cm/mS L, criando-se colunas de valores para sólidos dissolvidos totais nas planilhas de dados.

Nitrogênio Amoniacal

O Nitrogênio Amoniacal é considerado um parâmetro importante conforme relacionado aos usos das sub-bacias em estudo, além de estar previsto na legislação aplicada. Entretanto, o parâmetro não se encontrava nas análises disponibilizadas. Considerando as formas predominantes que em efluentes brutos orgânicos, Nitrogênio Amoniacal e Nitrogênio Orgânico. Estes dois, conjuntamente são determinados em laboratório pelo método Kjeldahl, constituindo assim o denominado Nitrogênio Total Kjeldahl (BAUR, 2012). Desta forma, tem-se a Equação 5.1:

$$\text{Nitrogênio Kjeldahl} = \text{Nitrogênio Amoniacal} + \text{Nitrogênio Orgânico} \quad (5.1)$$

Há ainda a relação do Nitrogênio Kjeldahl com Nitrogênio Total dada pela Equação 5.2:

$$\text{Nitrogênio Total} = \text{Nitrogênio Kjeldahl} + \text{Nitrato} + \text{Nitrito} \quad (5.2)$$

Logo, o Nitrogênio Amoniacal se originou a partir de uma correlação de literatura uma vez que, através das equações acima, foi possível calcular os dados de Nitrogênio Amoniacal.

Além disso, outro ajuste deste parâmetro se deu pelo fato de a legislação diferenciar os padrões limites em faixas relacionadas ao pH. Devido a limitações da calculadora utilizou-se apenas o padrão da faixa mais comum de pH ($\text{pH} \leq 7,5$), desconsiderando as alterações que poderiam ocorrer nos raros casos em que o padrão corresponde à outra faixa de pH.

Ferro Total

Conforme os dados geoquímicos da sub-bacia do Arroio do Salso foi definido como relevante avaliar a concentração de ferro no corpo hídrico. As análises do monitoramento das sub-bacias trazem informações do parâmetro Ferro Total, porém a Resolução CONAMA nº357/2005 determina os limites apenas para o parâmetro de Ferro Solúvel. Neste caso foi necessário utilizar a quantidade total de ferro nos limites especificados pela legislação de Ferro Solúvel para que esta análise relevante não fosse desconsiderada. Assim, é importante levar em conta a interferência dessa consideração em caso de não conformidade neste parâmetro por ter sido provocado pela superestimativa do valor de ferro solúvel em relação ao limite adotado.

5.3 METODOLOGIA DE CÁLCULOS E AVALIAÇÕES DE RESULTADOS

Após as exposições metodológicas de seleção de parâmetros e considerações necessárias, a Tabela 4 mostra os parâmetros selecionados em cada sub-bacia e seus respectivos limites por classe de enquadramento conforme foram inseridos na calculadora CWQI 1.0 para gerar os IQA's. Foram calculadas as categorias dos dois grupos individualmente e o total de parâmetros de cada um dos grupos (Geral). A categoria Esgoto referente ao Grupo 2 que foi utilizado no cálculo da estação AL1 para gerar a comparação entre as duas sub-bacias.

Tabela 4: Parâmetros selecionados conforme grupos e categorias de estudo associados aos padrões por classe de enquadramento

PARÂMETROS	UNIDADES	SALSO (GRUPO 1)				SALSO (GRUPO 2)			LAMI	LIMITES CLASSE 2		LIMITES CLASSE 3	
		Agro	Drenagem	Esgoto	Geral	Esgoto	Geoquímica	Geral		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Alumínio	mg/L		X		X		X	X			0,1		0,2
Cádmio	mg/L		X		X						0,001		0,01
Chumbo	mg/L		X	X	X		X	X			0,01		0,033
Cobre	mg/L		X	X	X		X	X			0,009		0,013
Cromo Total	mg/L						X	X			0,05		0,05
DBO	mg/L	X	X	X	X	X		X	X		5		10
Escherichia Coli	NMP/100mL	X	X	X	X	X		X	X		600		600
Ferro Total	mg/L						X	X			0,3		5
Fósforo Total	mg/L	X	X	X	X	X		X	X		0,03		0,05
Manganês Total	mg/L						X	X			0,1		0,5
Níquel	mg/L						X	X			0,025		0,025
Nitrato	mg/L	X	X	X	X	X		X	X		10		10
Nitrito	mg/L	X	X	X	X	X		X	X		1		1
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	X	X	X	X	X		X	X		3,7		13,3
OD	mg/L	X	X	X	X	X		X	X	5		4	
pH		X	X	X	X	X		X	X	6	9	6	9
SDT	mg/L	X	X	X	X	X		X	X		500		500
Turbidez	mg/L	X	X	X	X	X		X	X		100		100
Zinco	mg/L		X	X	X		X	X			0,18		5
TOTAL PARÂMETROS		10	15	13	15	10	8	18	10				

FONTE: A autora

Os resultados foram compilados em planilhas de MS Excel® de forma a gerar os gráficos dos resultados de IQA-CCME ao longo do tempo. A avaliação da qualidade da água das sub-bacias a partir dos resultados de IQA ocorreu conforme exposto na Figura 19:

Qualidade da água arroio do Salso	Qualidade da água do arroio Lami	Comparação entre estações de coleta
<ul style="list-style-type: none"> • A análise de dados de qualidade da água para o arroio do Salso se deu por confecção de gráficos com IQA calculados para os usos e tipo de solo. • O período de avaliação foi de 2002 a 2017 agrupados em IQAs anuais e bianuais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Os gráficos do arroio Lami foram elaborados com as curvas de IQAs referentes à classe 2 e classe 3. • O período de avaliação foi de 2002 a 2013 agrupados em IQAs anuais e bianuais. 	<ul style="list-style-type: none"> • A comparação espacial entre as estações, considerando os diferentes arroios, foi realizada inserindo os resultados dos IQA's com as três estações no mesmo gráfico. • O período de avaliação foi de 2002 a 2013 agrupados em IQAs bianuais.

Figura 19: Procedimento de avaliação das sub-bacias a partir dos resultados de IQA.

FONTE: A autora

Após a fase de avaliação da qualidade das estações individualmente e comparação entre dados das diferentes sub-bacias, julgou-se pertinente verificar a sensibilidade dos resultados à variação de alguns parâmetros específicos. Esta verificação foi motivada pela hipótese de que a variação de alguns parâmetros influenciaria mais o IQA-CCME do que outros. Para esta avaliação foi adotado o seguinte procedimento:

- 1) Foram trabalhados com os dados da estação 71B por conter maior quantidade de campanhas.
- 2) Para a realização dos testes utilizou-se a categoria Esgoto referente ao Grupo 2 devido à relevância do conjunto de parâmetros e por apresentar parâmetros de não conformidades recorrentes.
- 3) Selecionou-se três parâmetros que apresentaram muitas análises não conformes em quantidade e magnitude e que possuíam disponibilidade de doze campanhas em uma sequência de pelos menos cinco anos de estudo: *Escherichia Coli*, Fósforo, DBO.
- 4) Identificou-se dados suficientes dos anos de 2008 a 2012. Logo, este foi o período definido para os testes.
- 5) Utilizando-se como referência os IQA's já calculados anteriormente contendo quatro campanhas, aumentou-se para oito campanhas apenas do parâmetro *Escherichia Coli*, mantendo as mesmas campanhas para os demais parâmetros do conjunto. Depois de testar o

IQA com oito campanhas para *Escherichia Coli* o procedimento foi repetido com um total de doze campanhas. O mesmo procedimento foi realizado para Fósforo e DBO.

Para fins de visualização de dados utilizados em cada cálculo, a quantidade de parâmetros testados (T), os parâmetros não conformes (N) e os valores de IQA com seus respectivos fatores F1, F2 e F3 são apresentados em tabelas no decorrer do capítulo 6. Também foram elaboradas tabelas com as informações de cada parâmetro individualmente, sendo a quantidade total de parâmetros testados fora dos parênteses e os não conformes entre parênteses. As linhas de tendência lineares de das curvas também foram tabeladas de forma a auxiliar na compreensão dos resultados.

Foram gerados gráficos de variação do IQA ao longo dos anos para cada parâmetro de duas formas: Primeiramente, com valores de IQA no eixo y e anos no eixo x gerando três curvas referentes a determinado número de análises. A segunda forma de visualização gráfica foi elaborada com os diferentes números de análises testados no eixo x e com o IQA no eixo y, resultando em cinco curvas referentes aos diferentes anos estudados.

5.3.1 Tratamento de dados e utilização da calculadora CWQI 1.0

A calculadora CWQI 1.0, disponível na página oficial do Governo do New Foundland Labrador - Canada, possui um modelo específico de planilha onde os dados devem estar dispostos em coluna, respectivamente, data, estação e parâmetros (NEW FOUNDLAND LABRADOR, 2020). Os dados das coletas foram adequados a este formato (Figura 20) para que pudessem ser integrados à calculadora posteriormente. Foi utilizada sempre a mesma lista de parâmetros para todos os testes. Para isto, os parâmetros e períodos sem coletas ficaram com as células em branco.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Date	Station	Alc	Al	As	Ba	Cd	Pb	CN-	Cl-	Cu	Cond
2			mgCaCO ₃	mg/L	mg/L	uS/cm						
3	25/02/1992	AL1	28,00	0,14		0,09	0,00	0,00		9,90	0,01	96,60
4	14/05/1992	AL1	25,00	1,50		0,03	0,00	0,00		10,40	0,01	92,10
5	13/08/1992	AL1	19,00	1,90		0,07	0,00	0,00		8,30	0,00	73,70
6	09/11/1992	AL1	23,20	1,34		0,08	0,00	0,01		8,00	0,01	78,50
7	11/02/1993	AL1	33,30	0,40		0,08	0,00	0,00		8,20	0,00	101,00
8	06/05/1993	AL1	26,50	0,40		0,01	0,00	0,00		11,70	0,03	103,40
9	05/08/1993	AL1	21,50	1,20		0,04	0,00	0,00		8,30	0,00	66,10
10	11/11/1993	AL1	29,00	1,30		0,15	0,00	0,01		8,80	0,00	81,50
11	20/01/1994	AL1										
12	04/02/1994	AL1										
13	16/02/1994	AL1										
14	10/03/1994	AL1										
15	24/03/1994	AL1										
16	19/04/1994	AL1										
17	19/05/1994	AL1										
18	23/06/1994	AL1										
19	18/07/1994	AL1										
20	24/08/1994	AL1										
21	24/11/1994	AL1										
22	18/01/1995	AL1										
23	25/01/1995	AL1										

Figura 20: Ilustração do modelo de inserção de dados na calculadora CWQI 1.0.

FONTE: A autora

Ao realizar um teste na calculadora, foi observado o seu comportamento em relação aos códigos dos dados de análises para fins de verificar a necessidade de tratamento adicional:

- O símbolo “<” (menor que) ocorre quando o valor encontrado na análise está abaixo do limite de detecção. Este dado foi reconhecido pela calculadora CWQI 1.0 que adotou o valor como conforme por estar abaixo do padrão estabelecido. Segundo CCME (2001) o símbolo já estava previsto pela calculadora de forma a contornar os problemas estatísticos associados.
- Outro símbolo utilizado nos bancos de dados de análise é o não detectado (ND), porém, neste caso a calculadora não reconheceu a análise. Assim, foram substituídos todos os símbolos “ND” pelo valor numérico “0” de forma a contornar o problema estatístico gerando resultados conformes integrados ao cálculo.

A calculadora CWQI 1.0 possui campos para agrupar os parâmetros desejados e inserir os limites de legislação. Para efetuar os cálculos é necessário inserir a planilha em formato especificado com o período que se deseja avaliar. Os períodos foram agrupados de ano em ano e, posteriormente, de dois em dois anos para os casos em que ocorreu alguma variação brusca na quantidade de parâmetros de um ano para outro ou algum período fora das diretrizes do CCME.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na pesquisa estão apresentados neste capítulo. No item 6.1 são mostradas as análises dos gráficos relacionados aos dados históricos de qualidade da água do Arroio do Salso considerando o Grupo 1 (Agro, Drenagem e Esgoto) e o Grupo 2 (Esgoto e Geoquímica). O item 6.2 contém os resultados relativos ao comparativo entre índice calculado para classe 2 e classe 3 do Arroio Lami. Em 6.3 apresenta-se o comparativo entre os índices dos dois arroios para a categoria esgoto. No item 6.4 são apresentados os testes de análise da sensibilidade dos resultados de IQA à variação de parâmetros. Em 6.5, foram discutidos aspectos de adequação da metodologia ao caso de estudo. E por fim, no item 6.6, apresentou-se uma proposta para melhoria na efetividade do monitoramento de corpos hídricos a partir da experiência com a metodologia aplicada na pesquisa.

As informações mais específicas utilizadas nos cálculos, que serviram de base para avaliações de resultados, são expostas em tabelas. As tabelas mostram a quantidade de parâmetros testados (T), os parâmetros não conformes (N) e os valores de IQA com seus respectivos fatores F1, F2 e F3. Também foram elaboradas tabelas com as informações de cada parâmetro individualmente, sendo a quantidade de parâmetros testados fora dos parênteses e os não conformes entre parênteses. As linhas de tendência lineares das curvas também foram tabeladas de forma a auxiliar na compreensão dos resultados. Os resultados, separados por grupos de parâmetros, podem ser visualizados por períodos anuais ou, nos casos específicos, em períodos bianuais.

6.1 RESULTADOS DE IQA PARA O ARROIO DO SALSO

Os dados de qualidade da água do Arroio do Salso referentes ao período de 2002 a 2017 estão apresentados em tabelas e graficamente para as estações 71A e 71B. As discussões foram separadas nos grupos 1 e 2 para melhor observação da influência da escolha de categorias e seus respectivos conjuntos de parâmetros.

As representações gráficas dos índices equivalentes a cada grupo de parâmetros foram apresentadas combinando-se as diferentes categorias no mesmo gráfico como forma de simplificar a visualização e verificar as influências dos diferentes conjuntos de parâmetros, uma vez que as contribuições de cada categoria à degradação hídrica poderiam ser avaliadas individualmente através dos IQA's.

6.1.1 Grupo 1

As Tabelas 5 e 6 apresentam dados gerados no cálculo de IQA das categorias Agro, Drenagem e Esgoto e as Figuras 21 e 22 mostram graficamente a evolução do IQA ao longo do tempo para as diferentes categorias. Na sequência são mostrados os dados de cálculo relativos ao conjunto total de parâmetros do Grupo 1 (Geral) para cada estação nas Tabelas 7 e 8 e seus respectivos gráficos (Figuras 23 e 24). As Tabelas 9 e 10 contém os dados testados e não conformes específico por parâmetros para o conjunto Geral. E a tabela 11 mostra as equações das linhas de tendência lineares para cada curva dos gráficos das Figuras 21, 22, 23 e 24.

Tabela 5: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para as categorias do Grupo 1 da estação 71A

ARROIO NO SALSO - 71A																			
GRUPO 1																			
Período	Agro						Drenagem						Esgoto						
	T	N	F1	F2	F3	IQA	T	N	F1	F2	F3	IQA	T	N	F1	F2	F3	IQA	
Anual	2002	10	4	40	25	98	37	11	5	45	28	98	36	10	4	40	25	98	37
	2003	9	3	33	24	81	48	14	4	29	24	79	50	12	3	25	22	80	50
	2004	9	3	33	23	75	51	14	4	29	21	69	55	12	3	25	18	70	56
	2005	8	5	62	35	82	37	13	6	46	30	75	47	11	5	45	24	76	47
	2006	9	5	56	50	93	31	14	6	43	38	90	39	12	5	42	37	91	39
	2007	10	6	60	50	98	27	15	7	47	40	98	33	13	6	46	39	98	34
	2008	10	6	60	36	91	34	15	7	47	29	89	40	13	6	46	29	89	40
	2009	10	5	50	38	91	36	14	5	36	27	87	43	13	5	38	29	88	42
	2010	10	5	50	42	92	35	15	6	40	33	90	40	13	5	38	33	91	40
	2011	10	6	60	47	94	30	15	7	47	41	93	36	13	6	46	40	93	36
	2012	7	4	57	73	100	22	12	5	42	56	99	30	10	4	40	57	99	30
	2013	5	4	80	60	92	22	10	5	50	47	89	35	8	4	50	46	90	35
	2014	5	4	80	60	99	19	10	5	50	52	99	29	8	4	50	52	99	29
	2015	7	4	57	73	97	23	12	5	42	53	95	33	10	4	40	57	96	32
	2016	5	4	80	75	98	15	10	6	60	57	98	26	8	5	62	62	98	24
2017	5	4	80	70	95	17	10	5	50	50	93	32	8	4	50	54	94	31	

Nota: N° de parâmetros testados (T); N° parâmetros não conformes (N).

Tabela 6: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para as categorias do Grupo 1 da estação 71B

ARROIO NO SALSO - 71B																			
GRUPO 1																			
Período	Agro						Drenagem						Esgoto						
	T	N	F1	F2	F3	IQA	T	N	F1	F2	F3	IQA	T	N	F1	F2	F3	IQA	
Anual	2002	10	4	40	30	84	44	11	5	45	34	84	41	10	4	40	30	84	44
	2003	10	4	40	35	92	39	15	5	33	33	91	41	13	4	31	32	91	41
	2004	10	4	40	33	92	39	15	5	33	31	89	42	13	4	31	27	90	43
	2005	10	5	50	35	85	39	15	6	40	31	80	45	13	5	38	27	81	46
	2006	10	6	60	46	97	29	15	7	47	35	96	35	13	6	46	36	96	35
	2007	10	6	60	38	98	30	15	7	47	29	97	36	13	6	46	29	97	35
	2008	10	5	50	32	89	38	15	6	40	26	87	43	13	5	38	27	87	43
	2009	10	5	50	40	90	36	14	5	36	29	87	43	13	5	38	31	88	42
	2010	10	6	60	38	94	32	15	7	47	30	92	38	13	6	46	31	93	38
	2011	10	6	60	42	94	31	15	7	47	38	93	36	13	6	46	36	94	36
	2012	9	4	44	54	99	30	14	5	36	45	98	34	12	4	33	44	99	35
	2013	7	4	57	54	92	30	12	5	42	44	89	38	10	4	40	44	90	38
	2014	10	5	50	42	96	33	15	6	40	39	95	36	13	5	38	39	95	37
	2015	9	4	44	53	94	32	14	5	36	42	92	38	12	4	33	44	93	37
	2016	8	5	62	65	95	24	13	7	54	53	94	30	11	6	55	56	94	29
2017	8	5	62	47	91	31	13	6	46	38	89	38	11	5	45	39	90	38	

Nota: N° de parâmetros testados (T); N° parâmetros não conformes (N).

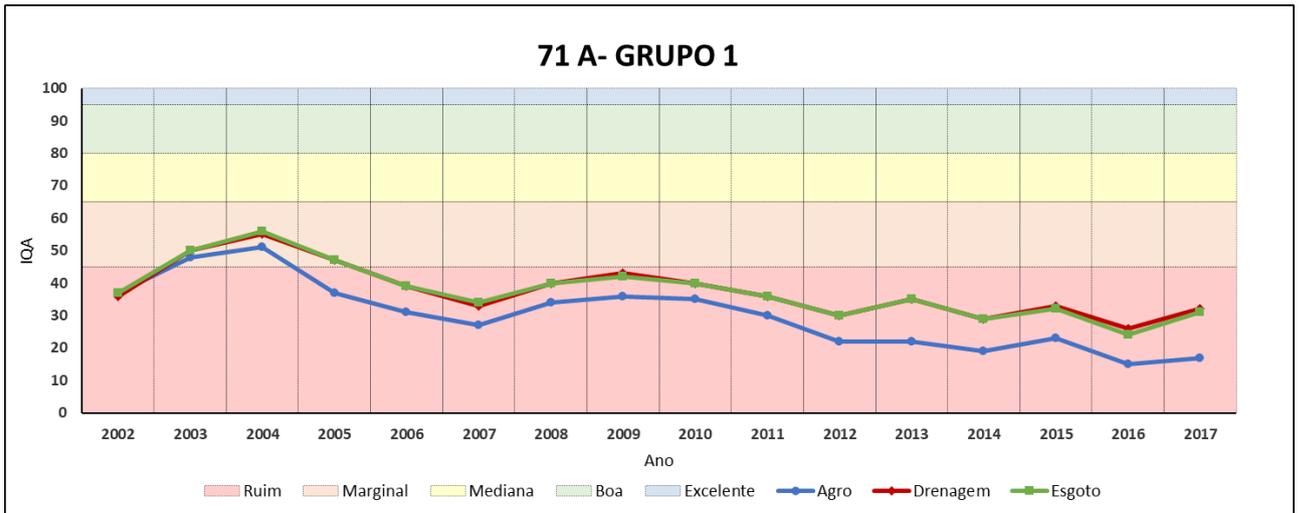


Figura 21: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME para as categorias do Grupo 1 na estação 71A.

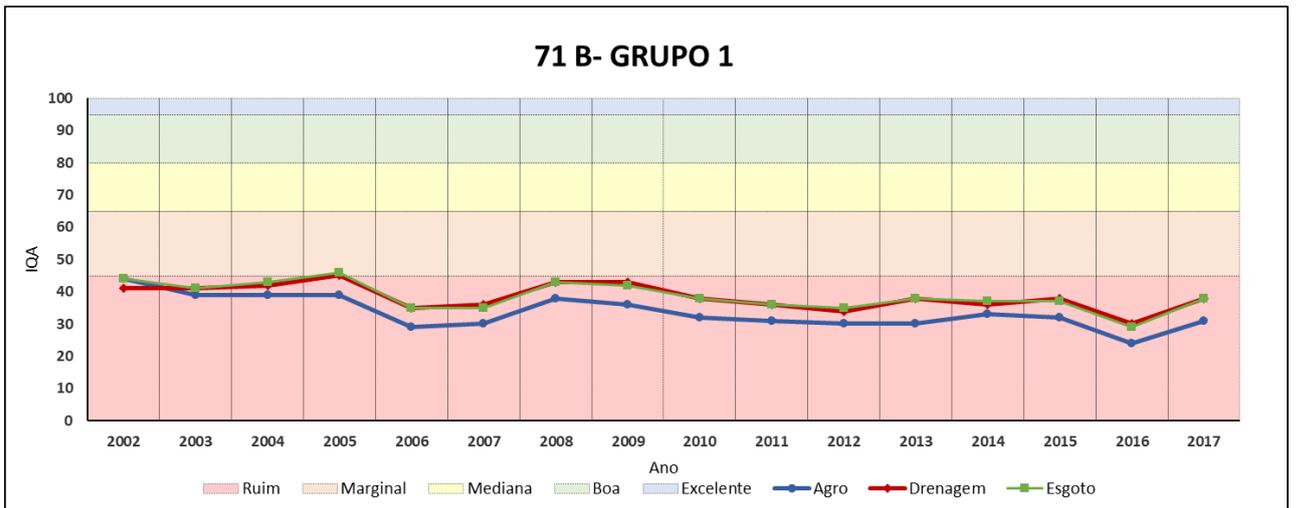


Figura 22: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME para as categorias do Grupo 1 na estação 71B.

Conforme já exposto no capítulo anterior (Tabela 4), os parâmetros selecionados se interseccionam nas categorias do Grupo 1. Sendo que a categoria Drenagem engloba todos os parâmetros de Esgoto que, por sua vez, engloba os parâmetros de Agro. Estas relações geram curvas com “desenhos” semelhantes nos gráficos do Grupo 1. Esta característica da intersecção de conjunto de parâmetros não permite afirmar quais usos contribuem mais expressivamente para a degradação hídrica, visto que a categoria Agro pode ter seus resultados de IQA's baixos influenciados pela contribuição de esgoto na sub-bacia.

A categoria Drenagem se difere de Esgoto apenas por dois parâmetros (Alumínio e Cádmiu), o que faz com que as curvas de ambas as categorias se sobreponham ou fiquem muito próximas em ambas as estações por apresentarem IQA's iguais ou próximos. Já a

categoria Agro apresenta valores de IQA inferiores às demais categorias, pois no conjunto menor de parâmetros não ocorre a diluição das não conformidades como nas categorias Esgoto e Drenagem, concentrando muitos parâmetros orgânicos com mais ocorrências de não conformidades.

Tabela 7: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para o conjunto total de parâmetros do Grupo 1 da estação 71A

ARROIO NO SALSO - 71A							
GRUPO 1							
Período	Geral						
	T	N	F1	F2	F3	IQA	
Anual	2002	11	5	45	28	98	36
	2003	14	4	29	24	79	50
	2004	14	4	29	21	69	55
	2005	13	6	46	30	75	47
	2006	14	6	43	38	90	39
	2007	15	7	47	40	98	33
	2008	15	7	47	29	89	40
	2009	14	5	36	27	87	43
	2010	15	6	40	33	90	40
	2011	15	7	47	41	93	36
	2012	12	5	42	56	99	30
	2013	10	5	50	47	89	35
	2014	10	5	50	52	99	29
	2015	12	5	42	53	95	33
	2016	10	6	60	57	98	26
2017	10	5	50	50	93	32	

Nota: N° de parâmetros testados (T); N° parâmetros não conformes (N).

Tabela 8: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para o conjunto total de parâmetros do Grupo 1 da estação 71B

ARROIO NO SALSO - 71B							
GRUPO 1							
Período	Geral						
	T	N	F1	F2	F3	IQA	
Anual	2002	11	5	45	34	84	41
	2003	15	5	33	33	91	41
	2004	15	5	33	31	89	42
	2005	15	6	40	31	80	45
	2006	15	7	47	35	96	35
	2007	15	7	47	29	97	36
	2008	15	6	40	26	87	43
	2009	14	5	36	29	87	43
	2010	15	7	47	30	92	38
	2011	15	7	47	38	93	36
	2012	14	5	36	45	98	34
	2013	12	5	42	44	89	38
	2014	15	6	40	39	95	36
	2015	14	5	36	42	92	38
	2016	13	7	54	53	94	30
2017	13	6	46	38	89	38	

Nota: N° de parâmetros testados (T); N° parâmetros não conformes (N).

Tabela 9: Parâmetros testados e não conformes em período anual para o conjunto total de parâmetros do Grupo 1 da estação 71A

ARROIO DO SALSO - 71A																
GRUPO 1																
Período	Geral															
	Alumínio	Cádmio	Chumbo	Cobre	DBO	Esherichia Coli	Fósforo Total	Nitrato	Nitrito	Nitrogênio Amoniacal	OD	pH	SDT	Turbidez	Zinco	
Anual	2002	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	4(1)	1(1)	3(3)	3(0)	3(0)	1(0)	3(2)	4(0)	3(0)	3(0)	0(0)
	2003	1(1)	1(0)	1(0)	1(0)	4(2)	0(0)	4(4)	4(0)	4(0)	4(0)	3(2)	4(0)	3(0)	3(0)	1(0)
	2004	4(3)	3(0)	3(0)	3(0)	4(2)	0(0)	4(4)	4(0)	4(0)	4(0)	3(1)	4(0)	2(0)	2(0)	3(0)
	2005	4(4)	3(0)	3(0)	4(0)	4(2)	1(1)	4(4)	4(0)	4(0)	4(1)	1(0)	4(0)	0(0)	0(0)	4(0)
	2006	4(3)	3(0)	3(0)	4(0)	4(4)	4(4)	4(4)	4(0)	4(0)	4(2)	1(1)	4(0)	1(0)	0(0)	4(0)
	2007	3(3)	3(0)	3(0)	3(0)	4(3)	4(4)	4(4)	4(0)	4(1)	4(2)	2(2)	4(0)	1(0)	1(0)	3(0)
	2008	1(1)	3(0)	3(0)	3(0)	4(2)	4(4)	4(4)	4(0)	4(2)	4(1)	4(1)	4(0)	3(0)	4(0)	3(0)
	2009	0(0)	4(0)	4(0)	4(0)	4(3)	4(4)	4(4)	4(0)	4(0)	4(1)	4(3)	4(0)	3(0)	4(0)	4(0)
	2010	1(0)	3(0)	3(0)	3(0)	4(2)	4(4)	4(4)	3(0)	3(0)	3(2)	4(3)	4(0)	3(0)	4(0)	3(0)
	2011	2(2)	2(0)	2(0)	2(0)	4(3)	4(4)	4(4)	3(0)	3(1)	2(1)	4(4)	4(0)	4(0)	4(0)	2(0)
	2012	2(2)	2(0)	2(0)	2(0)	4(4)	4(4)	4(4)	2(0)	1(0)	1(0)	4(4)	4(0)	0(0)	0(0)	2(0)
	2013	2(2)	2(0)	2(0)	2(0)	4(1)	4(4)	4(4)	0(0)	0(0)	0(0)	4(3)	4(0)	0(0)	0(0)	2(0)
	2014	1(1)	1(0)	1(0)	1(0)	4(3)	4(3)	4(4)	0(0)	0(0)	0(0)	4(2)	4(0)	0(0)	0(0)	1(0)
	2015	2(1)	2(0)	2(0)	2(0)	4(4)	4(4)	4(4)	1(0)	1(0)	0(0)	4(4)	4(0)	0(0)	0(0)	2(0)
	2016	2(1)	2(0)	2(0)	2(1)	4(4)	4(4)	4(4)	0(0)	0(0)	0(0)	4(3)	4(0)	0(0)	0(0)	2(0)
	2017	2(1)	2(0)	2(0)	2(0)	4(3)	4(4)	4(4)	0(0)	0(0)	0(0)	4(3)	4(0)	0(0)	0(0)	2(0)

Nota: O número de análises testadas encontra-se fora dos parênteses e o número de análises não conformes está representado entre parênteses.

Tabela 10: Parâmetros testados e não conformes em período anual para o conjunto total de parâmetros do Grupo 1 da estação 71B

ARROIO DO SALSO - 71B																
GRUPO 1																
Período	Geral															
	Alumínio	Cádmio	Chumbo	Cobre	DBO	Esherichia Coli	Fósforo Total	Nitrato	Nitrito	Nitrogênio Amoniacal	OD	pH	SDT	Turbidez	Zinco	
Anual	2002	2(2)	0(0)	0(0)	0(0)	4(2)	1(1)	4(4)	3(0)	3(0)	2(0)	4(3)	4(0)	4(0)	4(0)	0(0)
	2003	1(1)	1(0)	1(0)	1(0)	4(3)	3(3)	4(4)	4(0)	4(0)	4(0)	3(2)	4(0)	2(0)	2(0)	1(0)
	2004	4(4)	3(0)	3(0)	3(0)	4(1)	4(4)	4(4)	3(0)	4(0)	3(0)	4(3)	4(0)	3(0)	3(0)	3(0)
	2005	4(4)	3(0)	3(0)	4(0)	4(3)	1(1)	4(4)	4(0)	4(0)	4(1)	3(3)	4(0)	3(0)	3(0)	4(0)
	2006	4(2)	3(0)	3(0)	4(0)	4(4)	4(4)	4(4)	4(0)	4(1)	4(2)	3(3)	4(0)	4(0)	4(0)	4(0)
	2007	4(2)	4(0)	4(0)	4(0)	4(3)	4(4)	4(4)	4(0)	4(1)	4(1)	4(2)	4(0)	3(0)	4(0)	4(0)
	2008	1(1)	3(0)	3(0)	3(0)	4(2)	4(4)	4(4)	4(0)	4(2)	4(0)	4(1)	4(0)	4(0)	4(0)	3(0)
	2009	0(0)	4(0)	4(0)	4(0)	4(4)	4(4)	4(4)	4(0)	4(2)	4(2)	4(0)	4(0)	4(0)	4(0)	4(0)
	2010	1(0)	3(0)	3(0)	3(0)	4(3)	4(4)	4(4)	4(0)	4(1)	4(1)	4(2)	4(0)	4(0)	4(0)	3(0)
	2011	2(2)	2(0)	2(0)	2(0)	4(3)	4(4)	4(4)	3(0)	4(2)	3(1)	4(2)	4(0)	4(0)	4(0)	2(0)
	2012	2(2)	2(0)	2(0)	2(0)	4(3)	4(4)	4(4)	1(0)	1(0)	0(0)	4(3)	4(0)	3(0)	3(0)	2(0)
	2013	2(2)	2(0)	2(0)	2(0)	4(3)	4(4)	4(4)	0(0)	0(0)	0(0)	4(2)	4(0)	3(0)	3(0)	2(0)
	2014	1(1)	1(0)	1(0)	1(0)	4(3)	4(4)	4(4)	3(0)	3(1)	3(0)	4(2)	4(0)	2(0)	2(0)	1(0)
	2015	2(1)	2(0)	2(0)	2(0)	4(4)	4(4)	4(4)	3(0)	3(0)	0(0)	4(4)	4(0)	2(0)	2(0)	2(0)
	2016	2(1)	2(0)	2(1)	2(0)	4(4)	4(4)	4(4)	2(0)	2(0)	2(1)	4(4)	4(0)	0(0)	0(0)	2(0)
	2017	2(1)	2(0)	2(0)	2(0)	4(3)	4(4)	4(4)	4(0)	4(0)	4(1)	4(3)	4(0)	0(0)	0(0)	2(0)

Nota: O número de análises testadas encontra-se fora dos parênteses e o número de análises não conformes está representado entre parênteses.

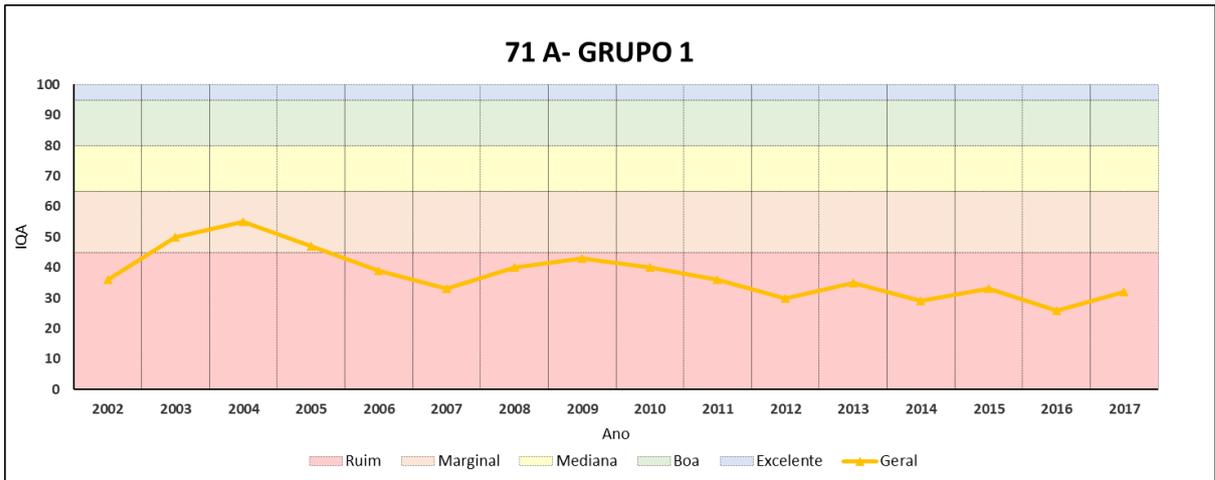


Figura 23: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME para o conjunto total de parâmetros do Grupo 1 na estação 71A.

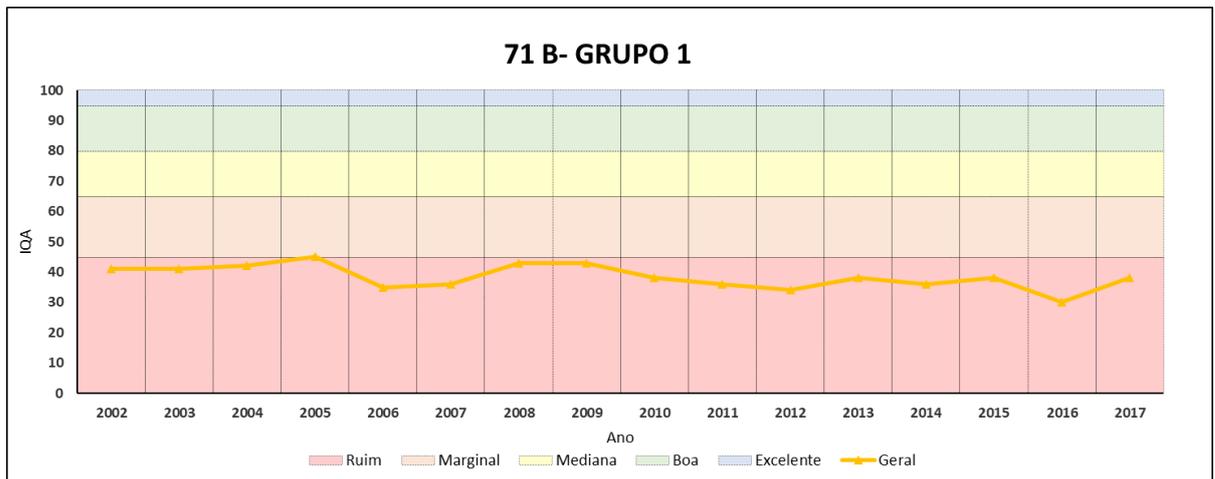


Figura 24: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME para o conjunto total de parâmetros do Grupo 1 na estação 71B.

Apesar da avaliação por categorias não trazer informações específicas da contribuição de determinado uso na qualidade da água da sub-bacia, o conjunto formado pelo total de parâmetros, aqui representado como Geral, é formado por parâmetros relevantes para a sub-bacia. Para os gráficos das estações 71A e 71B (Figuras 23 e 24) foi apresentada a curva referente ao conjunto total de dados.

Os gráficos mostram que ambas as estações permaneceram com a classificação ruim na maioria dos resultados pelos critérios do IQA-CCME. Nos anos iniciais, alguns IQA's atingiram a classificação marginal ou apresentaram-se mais próximo do limite entre ambas. Com o passar dos anos houve um distanciamento da classificação marginal verificando-se IQA's gradualmente decrescentes. Conforme Tabelas 9 e 10, os parâmetros que apresentaram

mais não conformidades são DBO, *Escherichia Coli*, Fósforo Total, OD, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, Alumínio e Manganês Total, com destaque para *Escherichia Coli* e Fósforo Total.

Verifica-se que a estação 71A apresenta um pico nos anos iniciais da curva (Figura 23). O ano de 2002 apresenta um IQA mais baixo, e logo após ocorre um aumento em 2003 e o pico superior em 2004. Logo o IQA decresce novamente nos anos seguintes. Este pico pode ser explicado por dois fatores relacionados à variação de parâmetros testados, mais precisamente, pela presença ou ausência de análises de *Escherichia Coli* e presença ou ausência de análise de alguns metais:

- Em 2002, considerando os metais, só havia análise para o Alumínio. Os demais metais que apresentam raras ou nenhuma não conformidade (Cádmio, Chumbo, Cobre, Zinco) não foram analisados neste ano. Isto acaba proporcionando maior peso aos parâmetros restantes, que ao apresentarem não conformidades, causam redução no IQA.
- Já em 2003 foi realizada uma análise de cada um dos metais, diluindo o peso das não conformidades dos demais parâmetros. Além disso, não ocorreu análise de *Escherichia Coli*, parâmetro que se caracteriza pelo distanciamento dos limites dos padrões estabelecidos. A ausência da *Escherichia Coli* no cálculo contribui para redução no IQA.
- No ano de 2004 além de não haver análise de *Escherichia Coli*, aumentaram as quantidades de análises dos metais mencionados, o que gerou um IQA ainda maior, formando o pico superior da curva do gráfico para este ano.
- A análise de *Escherichia Coli* volta a ser realizada em 2005 reduzindo o valor do IQA. Em 2006 aumenta o número de análises de *Escherichia Coli* de uma para quatro o que causa redução ainda maior no IQA.

Tabela 11: Equações das linhas de tendência lineares para as curvas dos gráficos das Figuras 21, 22, 23 e 24

Equação da Linha de Tendência Linear		
Grupo 1 - anual	71A	71B
Agro	$Y = -1,91X + 46,50$	$Y = -0,79X + 40,30$
Drenagem	$Y = -1,23X + 48,18$	$Y = -0,48X + 42,48$
Esgoto	$Y = -1,35X + 49,07$	$Y = -0,58X + 43,53$
Geral	$Y = -1,23X + 48,18$	$Y = -0,48X + 42,48$

A aparente tendência à redução dos IQA's ao longo do tempo para as curvas das categorias Agro, Drenagem, Esgoto e Geral, pode ser verificada pelos coeficientes angulares negativos para as equações das respectivas curvas. O distanciamento entre as curvas é verificado nos coeficientes lineares das respectivas equações, apresentando-se bastante próximos para todas as categorias. As categorias Drenagem e Geral são representadas por equações idênticas por serem compostas pelos mesmos parâmetros.

6.1.2 Grupo 2

As Tabelas 12 e 13 apresentam dados gerados no cálculo de IQA das categorias Esgoto e Geoquímica do Grupo 2 e as Figuras 25 e 26 mostram graficamente a evolução do IQA ao longo do tempo para as diferentes categorias. Os cálculos dos dados agrupados em biênio estão nas Tabelas 14 e 15 e os respectivos gráficos estão nas Figuras 27 e 28. Na sequência são mostrados os dados de cálculo relativos ao conjunto total de parâmetros do Grupo 2 (Geral) nas Tabelas 16 e 17 representados nos gráficos das Figuras 29 e 30. As Tabelas 18 e 19 contém os dados testados e não conformes específico por parâmetros para o conjunto Geral. As equações das linhas de tendência lineares para cada curva dos gráficos das Figuras 25, 26, 27 e 28 são apresentadas na Tabela 20 e para as Figuras 29 e 30 na Tabela 21.

Tabela 12: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para as categorias do Grupo 2 da estação 71A

ARROIO NO SALSO - 71A													
GRUPO 2													
Período	Esgoto							Geoquímica					
	T	N	F1	F2	F3	IQA	T	N	F1	F2	F3	IQA	
Anual	2002	10	4	40	25	98	37						
	2003	9	3	33	24	81	48	6	1	17	17	25	80
	2004	9	3	33	23	75	51	8	2	25	15	34	74
	2005	8	5	62	35	82	37	8	1	12	16	33	77
	2006	9	5	56	50	93	31	8	2	25	14	14	82
	2007	10	6	60	50	98	27	8	1	12	13	53	68
	2008	10	6	60	36	91	34	8	1	12	6	62	63
	2009	10	5	50	38	91	36	4	0	0	0	0	100
	2010	10	5	50	42	92	35	8	2	25	12	22	79
	2011	10	6	60	47	94	30	8	2	25	27	17	77
	2012	7	4	57	73	100	22	7	1	14	14	9	87
	2013	5	4	80	60	92	22	7	1	14	14	3	88
	2014	5	4	80	60	99	19	7	1	14	14	29	80
	2015	7	4	57	73	97	23	7	1	14	7	20	85
	2016	5	4	80	75	98	15	7	2	29	14	15	80
	2017	5	4	80	70	95	17	7	1	14	7	8	90

Nota: N° de parâmetros testados (T); N° parâmetros não conformes (N).

Tabela 13: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para as categorias do Grupo 2 da estação 71B

ARROIO NO SALSO - 71B													
GRUPO 2													
Período	Esgoto						Geoquímica						
	T	N	F1	F2	F3	IQA	T	N	F1	F2	F3	IQA	
Anual	2002	10	4	40	30	84	44						
	2003	10	4	40	35	92	39	6	1	17	17	37	75
	2004	10	4	40	33	92	39	8	1	12	15	33	78
	2005	10	5	50	35	85	39	8	1	12	16	31	79
	2006	10	6	60	46	97	29	8	1	12	7	7	91
	2007	10	6	60	38	98	30	8	1	12	6	55	67
	2008	10	5	50	32	89	38	8	1	12	6	55	67
	2009	10	5	50	40	90	36	4	0	0	0	0	100
	2010	10	6	60	38	94	32	8	2	25	12	10	83
	2011	10	6	60	42	94	31	8	2	25	20	20	78
	2012	9	4	44	54	99	30	7	1	14	14	3	88
	2013	7	4	57	54	92	30	7	1	14	14	8	88
	2014	10	5	50	42	96	33	7	1	14	14	5	88
	2015	9	4	44	53	94	32	7	1	14	7	10	89
	2016	8	5	62	65	95	24	7	2	29	14	23	77
	2017	8	5	62	47	91	31	7	1	14	7	7	90

Nota: N° de parâmetros testados (T); N° parâmetros não conformes (N).

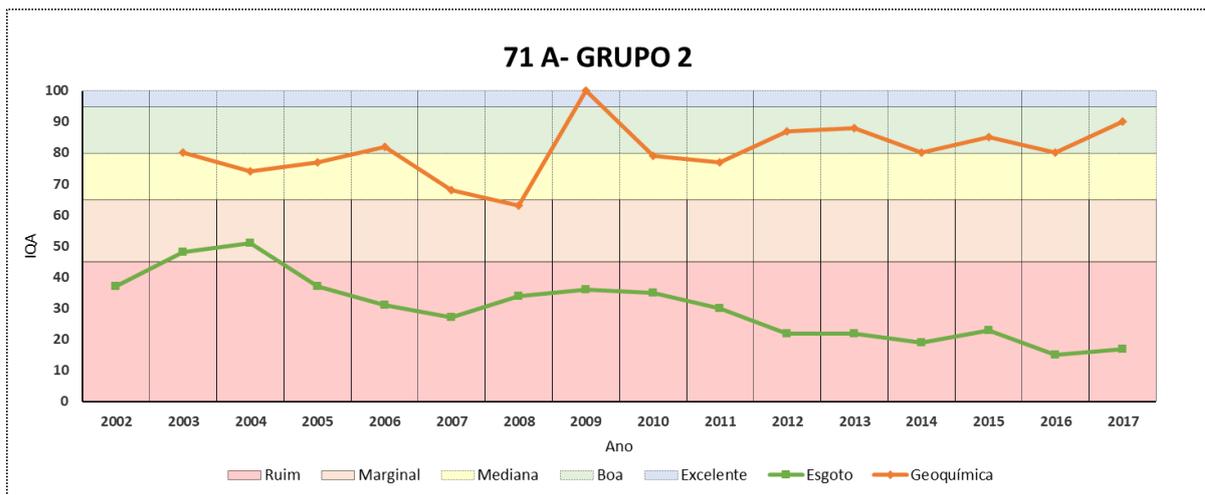


Figura 25: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME para as categorias do Grupo 2 na estação 71A.

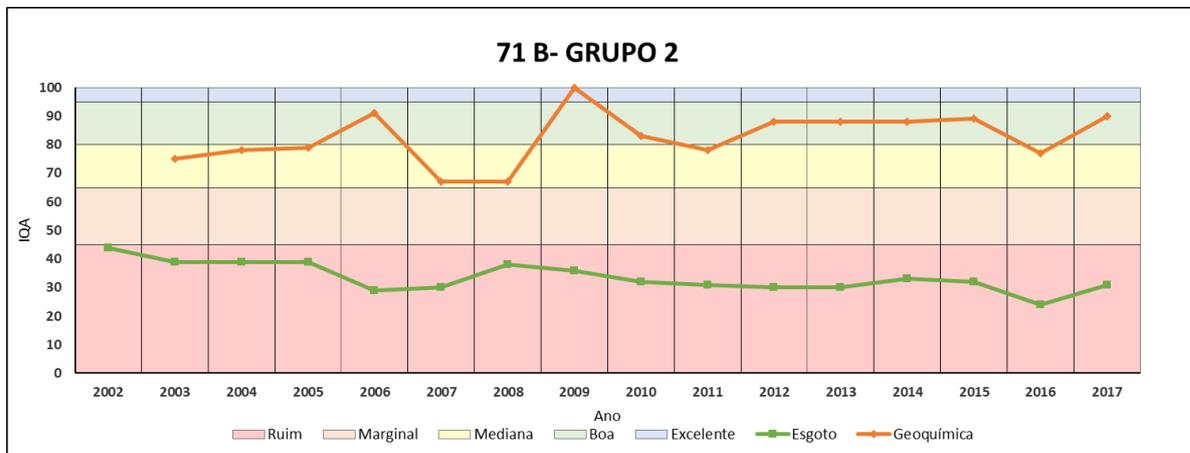


Figura 26: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME para as categorias do Grupo 2 na estação 71B.

As categorias do Grupo 2 não possuem parâmetros em comum. Esta peculiaridade permite que sejam verificadas as contribuições dos diferentes aspectos avaliados na qualidade da água. Tanto o gráfico da estação 71A (Figura 25) como da estação 71B (Figura 26) mostram que a categoria geoquímica apresenta valores de IQA's altos o que indica pouca contribuição dos parâmetros associados ao tipo de solo para a degradação da sub-bacia. Já a curva da categoria Esgoto, mostra que os parâmetros relacionados ao uso esgoto estão contribuindo expressivamente para a degradação do corpo hídrico.

Não havia dados suficientes para cálculo do IQA da categoria geoquímica para o ano de 2002. Portanto, o gráfico não possui o ponto da curva referente à Geoquímica para este ano, apenas a partir de 2003. Ainda na categoria Geoquímica verifica-se um pico bem acentuado no ano de 2009. Isto ocorre pela mudança brusca na quantidade de parâmetros analisados que passa de oito para quatro no ano de 2009 e retorna para oito a partir de 2010. Neste caso, calcularam-se os IQA's para os dados agrupados bianualmente de forma a contornar as interferências causadas por falta de dados de monitoramento.

Tabela 14: Dados de cálculos do IQA-CCME bianual para as categorias do Grupo 2 da estação 71A

ARROIO NO SALSO - 71A													
GRUPO 2													
Período	Esgoto							Geoquímica					
	T	N	F1	F2	F3	IQA	T	N	F1	F2	F3	IQA	
Bianual	2002-2003	10	4	40	25	96	38	6	1	17	25	38	72
	2004-2005	10	5	50	28	78	44	8	2	25	16	34	74
	2006-2007	10	6	60	50	97	28	8	2	25	14	37	73
	2008-2009	10	6	60	37	91	34	8	1	12	3	45	73
	2010-2011	10	6	60	44	93	31	8	2	25	19	20	78
	2012-2013	7	4	57	67	99	24	7	1	14	14	6	88
	2014-2015	7	4	57	67	99	24	7	1	14	10	23	83
2016-2017	5	4	80	72	98	16	7	2	29	11	12	81	

Nota: N° de parâmetros testados (T); N° parâmetros não conformes (N).

Tabela 15: Dados de cálculos do IQA-CCME bianual para as categorias do Grupo 2 da estação 71B

ARROIO NO SALSO - 71B													
GRUPO 2													
Período	Esgoto							Geoquímica					
	T	N	F1	F2	F3	IQA	T	N	F1	F2	F3	IQA	
Bianual	2002-2003	10	4	40	33	89	41	6	1	17	30	66	57
	2004-2005	10	5	50	34	89	38	8	1	12	16	32	78
	2006-2007	10	6	60	42	98	29	8	1	12	7	40	75
	2008-2009	10	6	60	36	90	34	8	1	12	3	39	76
	2010-2011	10	6	60	40	94	32	8	2	25	16	15	81
	2012-2013	9	4	44	54	98	31	7	1	14	14	5	88
	2014-2015	10	5	50	48	95	32	7	1	14	10	9	89
2016-2017	8	5	62	55	94	28	7	2	29	11	16	80	

Nota: N° de parâmetros testados (T); N° parâmetros não conformes (N).

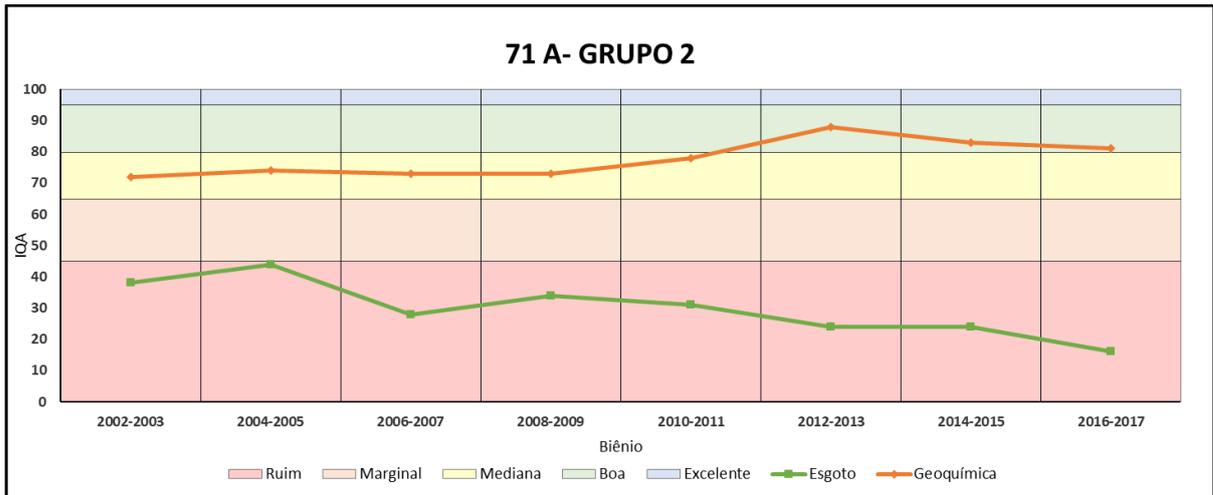


Figura 27: Gráfico da evolução temporal bianual do IQA-CCME para as categorias do Grupo 2 na estação 71A.

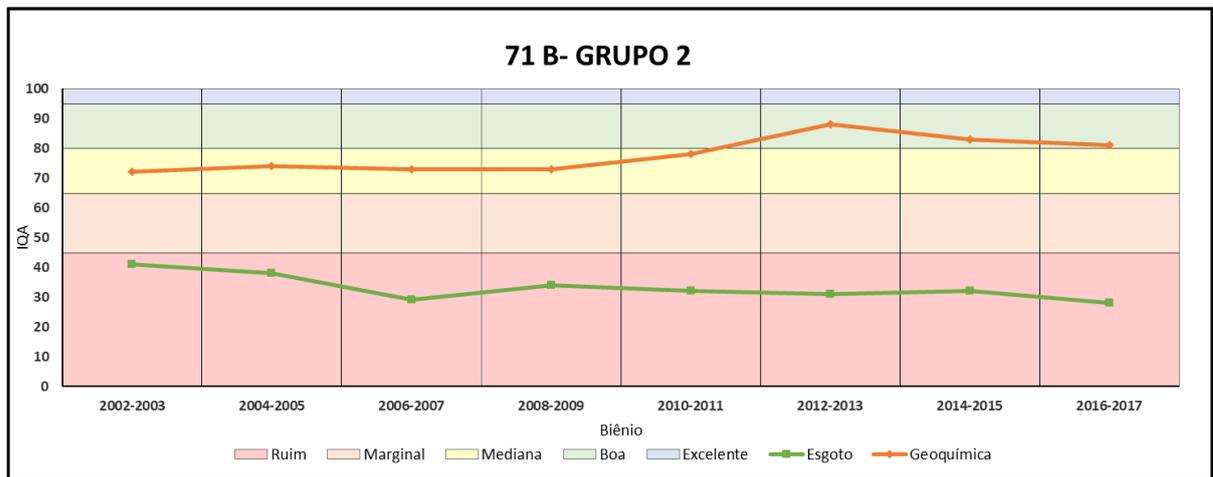


Figura 28: Gráfico da evolução temporal bianual do IQA-CCME para as categorias do Grupo 2 na estação 71B.

Os gráficos representados pelas Figuras 27 e 28 mostram que o agrupamento dos dados em biênios torna-se vantajoso ao eliminar o pico acentuado em 2009 na curva de IQA's analisados anualmente. Observa-se a utilidade da metodologia de combinação de anos ao avaliar séries históricas mais longas, com pouca regularidade ou falhas nos parâmetros por considerar que as interferências nos resultados são contornadas ou amenizadas.

Os gráficos bianuais também evidenciam o distanciamento entre as curvas das categorias. Observa-se ainda que a categoria Geoquímica apresenta a curva de IQA's crescentes enquanto a curva referente a Esgoto decresce ao longo dos anos.

Tabela 16: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para o conjunto total de parâmetros do Grupo 2 da estação 71A

ARROIO NO SALSO - 71A							
GRUPO 2							
Período	Geral						
	T	N	F1	F2	F3	IQA	
Anual	2002	12	5	42	27	98	37
	2003	15	4	27	23	79	50
	2004	17	5	29	19	65	57
	2005	16	6	38	25	72	51
	2006	17	7	41	33	88	41
	2007	18	7	39	35	97	36
	2008	18	7	39	29	88	42
	2009	14	5	36	27	87	43
	2010	18	7	39	33	89	41
	2011	18	8	44	41	92	36
	2012	14	5	36	50	99	33
	2013	12	5	42	41	87	39
	2014	12	5	42	48	99	32
	2015	14	5	36	47	95	36
	2016	12	6	50	50	97	31
2017	12	5	42	44	93	36	

Nota: N° de parâmetros testados (T); N° parâmetros não conformes (N).

Tabela 17: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para o conjunto total de parâmetros do Grupo 2 da estação 71B

ARROIO NO SALSO - 71B							
GRUPO 2							
Período	Geral						
	T	N	F1	F2	F3	IQA	
Anual	2002	12	5	42	32	83	43
	2003	16	5	31	32	90	42
	2004	18	1	28	26	87	45
	2005	18	6	33	27	78	49
	2006	18	7	39	30	95	38
	2007	18	7	39	24	97	38
	2008	18	6	33	25	86	45
	2009	14	5	36	29	87	43
	2010	18	8	44	30	92	39
	2011	18	8	44	36	92	37
	2012	16	5	31	40	98	36
	2013	14	5	36	40	88	41
	2014	17	6	35	38	95	38
	2015	16	5	31	39	32	40
	2016	15	7	47	48	93	34
2017	15	6	40	35	88	41	

Nota: N° de parâmetros testados (T); N° parâmetros não conformes (N).

Tabela 18: Parâmetros testados e não conformes em período anual para o conjunto total de parâmetros do Grupo 2 da estação 71A

ARROIO DO SALSO - 71A																			
GRUPO 2																			
Período	Geral																		
	Alumínio	Chumbo	Cobre	Cromo	DBO	Escherichia Coli	Ferro Total	Fósforo Total	Manganês Total	Níquel	Nitrato	Nitrito	Nitrogênio Amoniacoal	OD	pH	SDT	Turbidez	Zinco	
Anual	2002	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	4(1)	1(1)	1(0)	3(3)	0(0)	0(0)	3(0)	3(0)	1(0)	3(2)	4(0)	3(0)	3(0)	0(0)
	2003	1(1)	1(0)	1(0)	1(0)	4(2)	0(0)	1(0)	4(4)	0(0)	0(0)	4(0)	4(0)	4(0)	3(2)	4(0)	3(0)	3(0)	1(0)
	2004	4(3)	3(0)	3(0)	3(0)	4(2)	0(0)	4(0)	4(4)	3(1)	3(0)	4(0)	4(0)	4(0)	3(1)	4(0)	2(0)	2(0)	3(0)
	2005	4(4)	3(0)	3(0)	4(0)	4(2)	1(1)	4(0)	4(4)	1(0)	2(0)	4(0)	4(0)	4(1)	1(0)	4(0)	0(0)	0(0)	4(0)
	2006	4(3)	3(0)	3(0)	3(0)	4(4)	4(4)	4(0)	4(4)	3(1)	3(0)	4(0)	4(0)	4(2)	1(1)	4(0)	1(0)	0(0)	4(0)
	2007	3(3)	3(0)	3(0)	3(0)	4(3)	4(4)	3(0)	4(4)	2(0)	3(0)	4(0)	4(1)	4(2)	2(2)	4(0)	1(0)	1(0)	3(0)
	2008	1(1)	3(0)	3(0)	3(0)	4(2)	4(4)	2(0)	4(4)	1(0)	1(0)	4(0)	4(2)	4(1)	4(1)	4(0)	3(0)	4(0)	3(0)
	2009	0(0)	4(0)	4(0)	4(0)	4(3)	4(4)	0(0)	4(4)	0(0)	0(0)	4(0)	4(0)	4(1)	4(3)	4(0)	3(0)	4(0)	4(0)
	2010	1(0)	3(0)	3(0)	3(0)	4(2)	4(4)	1(0)	4(4)	1(1)	1(0)	3(0)	3(0)	3(2)	4(3)	4(0)	3(0)	4(0)	3(0)
	2011	2(2)	2(0)	2(0)	2(0)	4(3)	4(4)	2(0)	4(4)	2(2)	1(0)	3(0)	3(1)	2(1)	4(4)	4(0)	4(0)	4(0)	2(0)
	2012	2(2)	2(0)	2(0)	2(0)	4(4)	4(4)	2(0)	4(4)	0(0)	2(0)	2(0)	1(0)	1(0)	4(4)	4(0)	0(0)	0(0)	2(0)
	2013	2(2)	2(0)	2(0)	2(0)	4(1)	4(4)	2(0)	4(4)	0(0)	2(0)	0(0)	0(0)	0(0)	4(3)	4(0)	0(0)	0(0)	2(0)
	2014	1(1)	1(0)	1(0)	1(0)	4(3)	4(3)	1(0)	4(4)	0(0)	1(0)	0(0)	0(0)	0(0)	4(2)	4(0)	0(0)	0(0)	1(0)
	2015	2(1)	2(0)	2(0)	2(0)	4(4)	4(4)	2(0)	4(4)	0(0)	2(0)	1(0)	1(0)	0(0)	4(4)	4(0)	0(0)	0(0)	2(0)
	2016	2(1)	2(0)	2(0)	2(1)	4(4)	4(4)	2(0)	4(4)	0(0)	2(0)	0(0)	0(0)	0(0)	4(3)	4(0)	0(0)	0(0)	2(0)
	2017	2(1)	2(0)	2(0)	2(0)	4(3)	4(4)	2(0)	4(4)	0(0)	2(0)	0(0)	0(0)	0(0)	4(3)	4(0)	0(0)	0(0)	2(0)

Nota: O número de análises testadas encontra-se fora dos parênteses e o número de análises não conformes está representado entre parênteses.

Tabela 19: Parâmetros testados e não conformes em período anual para o conjunto total de parâmetros do Grupo 2 da estação 71B

ARROIO DO SALSO - 71B																			
GRUPO 2																			
Período	Geral																		
	Alumínio	Chumbo	Cobre	Cromo	DBO	Escherichia Coli	Ferro Total	Fósforo Total	Manganês Total	Níquel	Nitrato	Nitrito	Nitrogênio Amoniacoal	OD	pH	SDT	Turbidez	Zinco	
Anual	2002	2(2)	0(0)	0(0)	0(0)	4(2)	1(1)	2(0)	4(4)	0(0)	0(0)	3(0)	3(0)	2(0)	4(3)	4(0)	4(0)	4(0)	0(0)
	2003	1(1)	1(0)	1(0)	1(0)	4(3)	3(3)	1(0)	4(4)	0(0)	0(0)	4(0)	4(0)	4(0)	3(2)	4(0)	2(0)	2(0)	1(0)
	2004	4(4)	3(0)	3(0)	3(0)	4(1)	4(4)	4(0)	4(4)	3(0)	3(0)	3(0)	4(0)	3(0)	4(0)	3(0)	3(0)	3(0)	3(0)
	2005	4(4)	3(0)	3(0)	3(0)	4(3)	1(1)	4(0)	4(4)	1(0)	2(0)	4(0)	4(0)	4(1)	3(3)	4(0)	3(0)	3(0)	4(0)
	2006	4(2)	3(0)	3(0)	3(0)	4(4)	4(4)	4(0)	4(4)	3(0)	3(0)	4(0)	4(1)	4(2)	3(3)	4(0)	4(0)	4(0)	4(0)
	2007	4(2)	4(0)	4(0)	4(0)	4(3)	4(4)	4(0)	4(4)	3(0)	4(0)	4(0)	4(1)	4(1)	4(2)	4(0)	3(0)	4(0)	4(0)
	2008	1(1)	3(0)	3(0)	3(0)	4(2)	4(4)	2(0)	4(4)	1(0)	1(0)	4(0)	4(2)	4(0)	4(1)	4(0)	4(0)	4(0)	3(0)
	2009	0(0)	4(0)	4(0)	4(0)	4(4)	4(4)	0(0)	4(4)	0(0)	0(0)	4(0)	4(2)	4(2)	4(0)	4(0)	4(0)	4(0)	4(0)
	2010	1(0)	3(0)	3(0)	3(0)	4(3)	4(4)	1(0)	4(4)	1(0)	1(0)	4(0)	4(1)	4(1)	4(2)	4(0)	4(0)	4(0)	3(0)
	2011	2(2)	2(0)	2(0)	2(0)	4(3)	4(4)	2(0)	4(4)	2(1)	1(0)	3(0)	4(2)	3(1)	4(2)	4(0)	4(0)	4(0)	2(0)
	2012	2(2)	2(0)	2(0)	2(0)	4(3)	4(4)	2(0)	4(4)	0(0)	2(0)	1(0)	1(0)	0(0)	4(3)	4(0)	3(0)	3(0)	2(0)
	2013	2(2)	2(0)	2(0)	2(0)	4(3)	4(4)	2(0)	4(4)	0(0)	2(0)	0(0)	0(0)	0(0)	4(2)	4(0)	3(0)	3(0)	2(0)
	2014	1(1)	1(0)	1(0)	1(0)	4(3)	4(4)	1(0)	4(4)	0(0)	1(0)	3(0)	3(1)	3(0)	4(2)	4(0)	2(0)	2(0)	1(0)
	2015	2(1)	2(0)	2(0)	2(0)	4(4)	4(4)	2(0)	4(4)	0(0)	2(0)	3(0)	3(0)	0(0)	4(4)	4(0)	2(0)	2(0)	2(0)
	2016	2(1)	2(0)	2(1)	2(0)	4(4)	4(4)	2(0)	4(4)	0(0)	2(0)	2(0)	2(0)	2(1)	4(4)	4(0)	0(0)	0(0)	2(0)
	2017	2(1)	2(0)	2(0)	2(0)	4(3)	4(4)	2(0)	4(4)	0(0)	2(0)	4(0)	4(0)	4(1)	4(3)	4(0)	0(0)	0(0)	2(0)

Nota: O número de análises testadas encontra-se fora dos parênteses e o número de análises não conformes está representado entre parênteses.

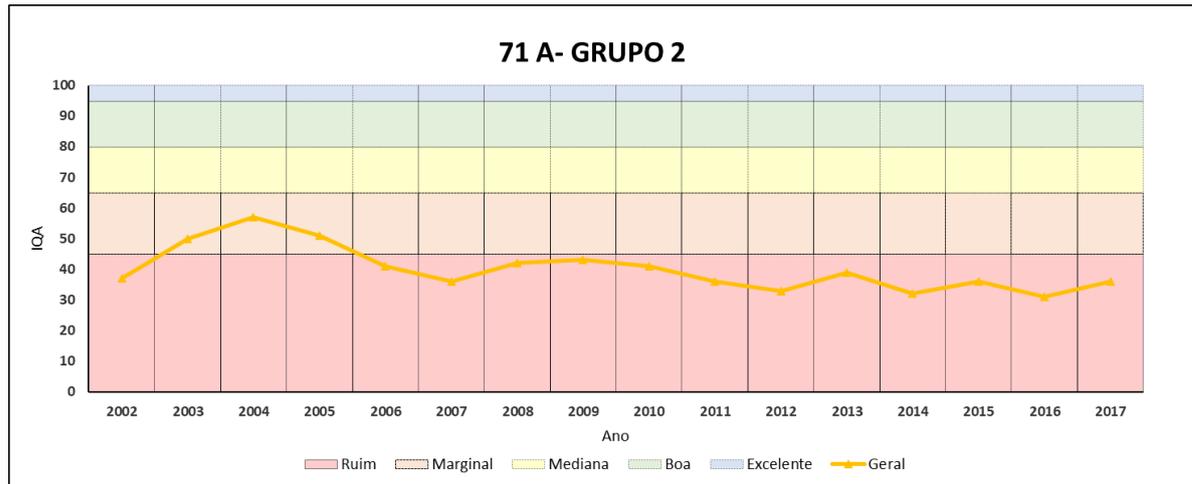


Figura 29: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME para o conjunto total de parâmetros do Grupo 2 na estação 71A.



Figura 30: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME para o conjunto total de parâmetros do Grupo 2 na estação 71B

O conjunto formado pelo total de parâmetros do grupo 2, aqui representado como Geral, é formado por parâmetros relevantes para a sub-bacia. Para os gráficos das estações 71A (Figura 29) e 71B (Figura 30) foram apresentadas as curvas referentes ao conjunto total de dados. Não foi necessário trabalhar com os gráficos bianuais neste caso, pois o conjunto total de dados dilui a interferência causada pela mudança brusca de parâmetros que ocorre quando se avalia a categoria Geoquímica individualmente.

Os gráficos mostram que ambas as estações permaneceram com a classificação ruim na maioria dos resultados pelos critérios do IQA-CCME. Nos anos iniciais alguns IQA's atingiram a classificação marginal ou apresentaram-se mais próximo do limite entre ambas. Com o passar dos anos houve um distanciamento da classificação marginal verificando-se IQA's gradualmente decrescentes.

Comparando-se o comportamento das curvas do conjunto Geral dos Grupos 1 e 2 verifica-se semelhança entre ambos, o que pode ser justificado pelo fato dos conjuntos resultantes das metodologias de seleção de dados diferenciarem-se apenas em 4 parâmetros. O Grupo 2 apresenta o mesmo pico nos anos iniciais que ocorreu no Grupo 1, o que também pode ser explicado pelos mesmos dois fatores relacionados à variação de parâmetros testados: presença ou ausência de análises de *Escherichia Coli* e presença ou ausência de análise de alguns metais.

Em geral, os parâmetros que apresentaram mais não conformidades são DBO, *Escherichia Coli*, Fósforo Total, OD, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, Alumínio e Manganês Total com destaque para *Escherichia Coli* e Fósforo Total. No grupo 2 com melhor diferenciação entre as categorias integrantes (Geoquímica e Esgoto), é possível perceber, pelos resultados dos gráficos e tabelas do presente item, que os parâmetros relacionados ao esgoto contribuem expressivamente para a poluição do trecho do arroio do Salso estudado, enquanto os problemas de poluição por metais são mais pontuais de alguns parâmetros (Alumínio e Manganês Total).

Tabela 20: Equações das linhas de tendência lineares para as curvas dos gráficos das Figuras 25, 26, 27 e 28

Equação da Linha de Tendência Linear		
Grupo 2 - anual	71A	71B
Esgoto	$Y = -1,91X + 46,50$	$Y = -0,79X + 40,30$
Geoquímica	$Y = 0,80X + 73,50$	$Y = 0,78X + 75,46$
Geral	$Y = -1,05 + 48,98$	$Y = -0,45X + 44,38$

Tabela 21: Equações das linhas de tendência lineares para as curvas dos gráficos das Figuras 29 e 30

Equação da Linha de Tendência Linear		
Grupo 2 - bianual	71A	71B
Esgoto	$Y = -3,20X + 44,29$	$Y = -1,39X + 39,39$
Geoquímica	$Y = 1,88X + 69,29$	$Y = 1,88X + 69,29$

A aparente tendência à redução dos IQA's ao longo do tempo para as curvas das categorias Esgoto e Geral, pode ser verificada pelos coeficientes angulares negativos para as equações das respectivas curvas. Já a categoria Geoquímica apresenta as equações com coeficientes angulares positivos indicando IQA's crescentes ao longo dos anos. O distanciamento entre as curvas Esgoto e Geoquímica é verificado nos coeficientes lineares das respectivas equações. Enquanto a categoria Geral apresenta um coeficiente linear intermediário, mais próximo da categoria Esgoto.

Comparando as equações das Tabelas 11 e 20, verifica-se ainda a semelhança entre a categoria Geral dos Grupos 1 e 2. Além disso, as categorias Agro do Grupo 1 e Esgoto do Grupo 2 são representadas por equações idênticas por serem compostas pelos mesmos parâmetros.

6.2 RESULTADOS DE IQA PARA O ARROIO LAMI

As Tabelas 22 e 23 apresentam os dados gerados no cálculo de IQA da estação AL1 para as classes 2 e 3 para os períodos anuais e bianuais, respectivamente. A tabela 24 contém os dados testados e não conformes específico por parâmetros para ambas as classes avaliadas. As Figuras 31 e 32 mostram graficamente a evolução do IQA ao longo do tempo para as duas classes considerando os períodos anuais e bianuais. As equações das linhas de tendência lineares para as curvas dos gráficos das Figuras 31 e 32 são apresentadas na Tabela 25.

Tabela 22: Dados de cálculos do IQA-CCME anual para a estação AL1 nas classes 2 e 3

ARROIO LAMI - AL1													
Período	Classe 3							Classe 2					
	T	N	F1	F2	F3	IQA	T	N	F1	F2	F3	IQA	
Anual	2002	10	2	20	20	14	82	10	2	20	20	25	78
	2003	10	3	30	16	22	77	10	3	30	16	34	72
	2004	10	3	30	18	35	72	10	3	30	18	42	69
	2005	10	2	20	18	22	80	10	2	20	18	34	75
	2006	10	4	40	28	21	69	10	4	40	35	35	63
	2007	10	4	40	30	31	66	10	4	40	35	46	59
	2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2009	10	3	30	18	62	59	10	3	30	18	70	55
	2010	10	3	30	20	26	74	10	4	40	25	36	66
	2011	10	4	40	24	33	67	10	4	40	29	48	60
	2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: N° de parâmetros testados (T); N° parâmetros não conformes (N).

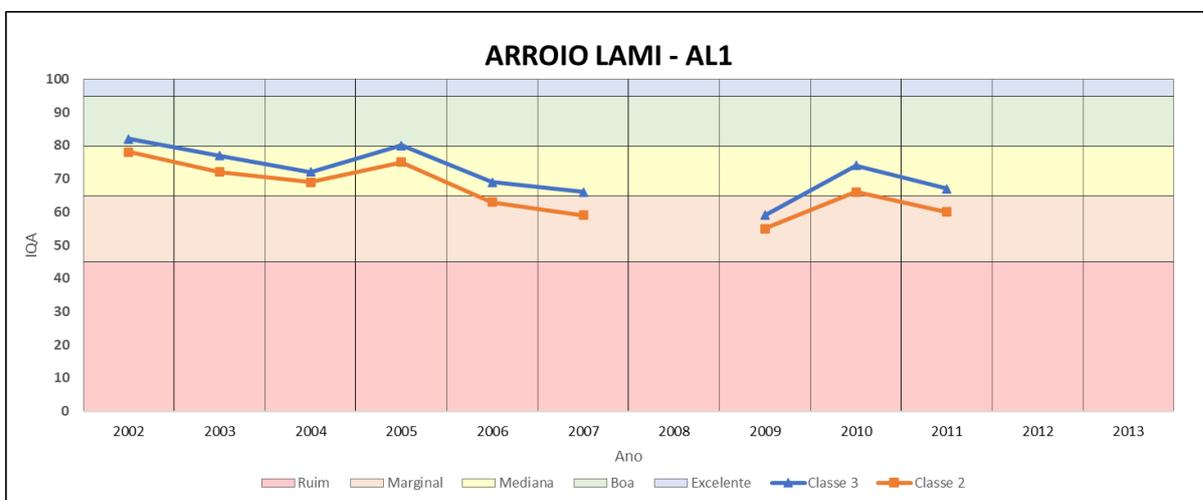


Figura 31: Gráfico da evolução temporal anual do IQA-CCME na estação AL1 para as classes 2 e 3.

Verifica-se que não foi possível realizar o cálculo do IQA para alguns anos de estudo. Isto ocorreu devido à quantidade mínima de campanhas de amostragem ser inferior a quatro nos anos de 2008, 2012 e 2013. O problema de não cumprimento das diretrizes do CCME foi contornado ao agrupar os dados em biênios conforme mostra o gráfico da Figura 32 e suas respectivas Tabelas 20 e 21.

Tabela 23: Dados de cálculos do IQA-CCME bianual para a estação AL1 nas classes 2 e 3

ARROIO LAMI - AL1													
Período	Classe 3							Classe 2					
	T	N	F1	F2	F3	IQA	T	N	F1	F2	F3	IQA	
Bianual	2002-2003	10	3	30	18	18	77	10	3	30	18	30	74
	2004-2005	10	3	30	18	29	74	10	3	30	18	38	70
	2006-2007	10	4	40	29	26	68	10	4	40	35	41	61
	2008-2009	10	4	40	19	51	61	10	4	40	20	61	57
	2010-2011	10	4	40	22	30	69	10	4	40	27	43	63
	2012-2013	9	4	44	28	29	65	9	4	44	34	44	59

Nota: N° de parâmetros testados (T); N° parâmetros não conformes (N).

Tabela 24: Parâmetros testados e não conformes em período bianual para a estação AL1 nas classes 2 e 3.

ARROIO LAMI - AL1												
Período	ESGOTO											
	DBO	Escherichia Coli	Fósforo Total	Nitrato	Nitrato	Nitrogênio Amoniacal	OD	pH	SDT	Turbidez		
Bianual	2002-2003	6 (0)	8 (4)	7 (7)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (1)	8 (0)	7 (0)	7 (0)	
	2004-2005	8 (0)	8 (5)	8 (8)	8 (0)	8 (0)	8 (0)	8 (1)	8 (0)	8 (0)	8 (0)	
	2006-2007	8 (7)	8 (6)	8 (8)	8 (0)	8 (0)	8 (0)	8 (7)	8 (0)	8 (0)	8 (0)	
	2008-2009	7 (1)	7 (4)	7 (7)	7 (0)	7 (0)	7 (0)	7 (2)	7 (0)	7 (0)	7 (0)	
	2010-2011	8 (4)	8 (5)	8 (8)	8 (0)	8 (0)	7 (0)	7 (4)	8 (0)	8 (0)	8 (0)	
	2012-2013	4 (1)	4 (1)	4 (4)	1 (0)	1 (0)	0 (0)	4 (4)	4 (0)	3 (0)	4 (0)	

Nota: O número de análises testadas encontra-se fora dos parênteses e o número de análises não conformes está representado entre parênteses.

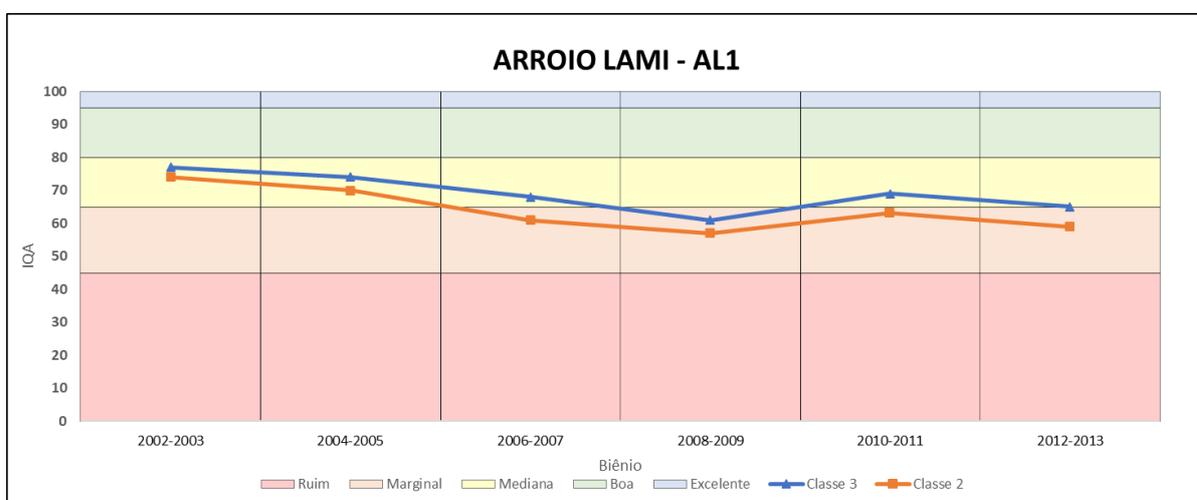


Figura 32: Gráfico da evolução temporal bianual do IQA-CCME na estação AL1 para as classes 2 e 3.

Analisando-se o gráfico da Figura 32, com dados agrupados em biênios, verifica-se que os IQA's da classe 3 são sempre superiores aos da classe 2, o que está condizente com os limites mais restritivos da classe 2 em relação à classe 3. Os “desenhos” das curvas são idênticos por se tratar dos mesmos parâmetros de avaliação para ambas. Os parâmetros que apresentaram não conformidades são DBO, *Escherichia Coli*, Fósforo Total e OD, com destaque para *Escherichia Coli* e Fósforo Total. Neste caso também se verifica a vantagem de trabalhar com dados agrupados em períodos bianuais.

Tabela 25: Equações das linhas de tendência lineares para as curvas dos gráficos das Figuras 31 e 32.

Equação da Linha de Tendência Linear		
AL1 - bianual	Classe 2	Classe 3
Anual	$Y = -1,90X + 76,47$	$Y = -1,55X + 80,07$
Bianual	$Y = -2,86X + 74,00$	$Y = -2,34X + 77,20$

A aparente tendência à redução dos IQA's ao longo do tempo para as curvas das classes 2 e 3, pode ser verificada pelos coeficientes angulares negativos para as equações das respectivas curvas. O distanciamento pouco expressivo entre as curvas das classes 2 e 3 são verificados nos coeficientes lineares das respectivas equações.

6.3 RESULTADOS DA COMPARAÇÃO DA CATEGORIA ESGOTO ENTRE ARROIO LAMI E ARROIO DO SALSO

De forma a utilizar os mesmos critérios de avaliação em ambos os Arroios, os resultados foram analisados com padrões de águas doces classe 3. Ainda neste sentido, o conjunto de parâmetros utilizado nesta comparação trata-se somente da categoria Esgoto, já utilizados para o Arroio Lami e equivalente ao conjunto de parâmetros utilizado para esgoto do Grupo 2 do Arroio do Salso. Considerando a falta de dados anuais para a estação AL1 identificada no item 6.2, a comparação foi realizada em biênios entre 2002 e 2013 (Figura 33). As equações das linhas de tendência para as curvas do gráfico da Figura 33 são apresentadas na Tabela 26.

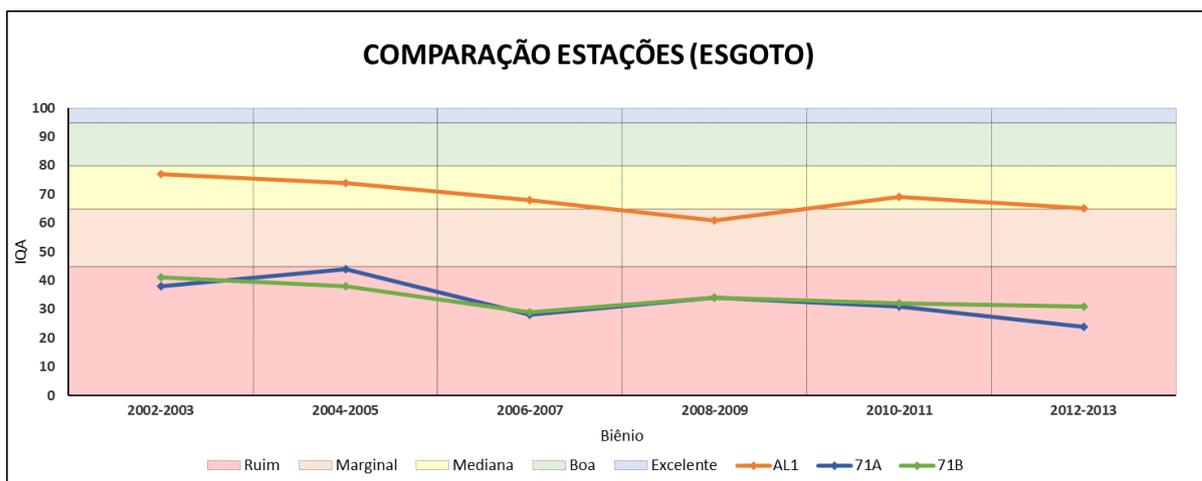


Figura 33: Gráfico da evolução temporal bianual do IQA-CCME comparativo entre estações AL1, 71A e 71B para a categoria Esgoto.

Observa-se que as estações 71A e 71B, apresentam comportamentos muito semelhantes. Sendo a estação 71A a montante e 71B a jusante do lançamento do efluente da ETE Ipanema no corpo receptor, os resultados indicam que o lançamento do esgoto tratado não causou alteração no arroio do Salso no período avaliado. Ambas as estações resultaram em IQA's ruins ao longo dos anos indicando que o problema está relacionado ao esgoto lançado in natura e não ao efluente tratado na ETE.

Já a estação AL1 tem sua curva bem distante das estações do arroio do Salso indicando que o ponto do arroio Lami está menos degradado. O resultado está de acordo com o esperado visto que o capítulo 4 trouxe o embasamento teórico mostrando as diferentes intensidades de ocupação, onde a sub-bacia do Arroio Lami encontra-se mais preservada em relação à sub-bacia do arroio do Salso. A estação AL1 resultou em IQA's medianos na maior parte do tempo, com apenas um IQA marginal. Porém com baixa qualidade ao considerar a meta de enquadramento estabelecida no plano de bacia e aprovada pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba.

A redução dos IQA's indica que há uma aparente tendência de degradação da qualidade da água ao longo do tempo. Desta forma, verifica-se que esta degradação pode estar relacionada ao crescimento das ocupações no extremo sul do município de Porto Alegre, região das duas sub-bacias em estudo. A situação pode ter sido agravada devido à problemática levantada sobre ocupações irregulares e pelo baixo índice de coleta de esgoto para tratamento. Este resultado indica um possível não acompanhamento da cobertura de esgoto à taxa de urbanização da região.

Tabela 26: Equações das linhas de tendência lineares para as curvas do gráfico da Figura 33.

Equação da Linha de Tendência Linear			
Esgoto - bianual	AL1	71A	71B
Classe 3	$Y = -2,34X + 77,20$	$Y = -2,94X + 43,47$	$Y = -1,80X + 40,47$

A aparente tendência à redução dos IQA's ao longo do tempo para as curvas das estações AL1, 71A e 71B pode ser verificada pelos coeficientes angulares negativos para as equações das respectivas curvas. O distanciamento entre as curvas, representados pelos coeficientes lineares, mostram-se pouco expressivo entre as curvas das duas estações do arroio do Salso. Já a estação AL1 apresenta coeficiente linear mais alto representando os IQA's maiores em relação às demais estações.

6.4 ANÁLISE DA SENSIBILIDADE DOS IQA'S À VARIAÇÃO NO NÚMERO DE ANÁLISES PARA UM DETERMINADO PARÂMETRO

Os resultados da análise da sensibilidade dos IQA's à variação no número de análises para um determinado parâmetro são mostrados na Tabela 27. Nesta tabela são apresentados os IQA's calculados para referência e cada teste de variação do número de análises de parâmetros para o período de 2008 a 2012. Para os IQA's de referência foram fixadas quatro campanhas anuais, onde os parâmetros *Escherichia Coli*, Fósforo Total e DBO estão igualmente com quatro análises em cada ano. As variações testadas referem-se a oito e doze análises anuais para cada parâmetro analisado mantendo fixos os demais parâmetros.

Os resultados são representados graficamente de duas formas:

Nas Figuras 34, 35 e 36, com os valores para *Escherichia Coli*, Fósforo Total e DBO respectivamente, são apresentados os gráficos comparativos de IQA de referência e IQA's para variação de análises do parâmetro ao longo dos anos.

Nas Figuras 37, 38 e 39, com os valores para *Escherichia Coli*, Fósforo Total e DBO respectivamente, são apresentados os gráficos dos IQA's anuais variando com o número de análises do parâmetro.

As equações das linhas de tendência lineares para as curvas dos gráficos das Figuras 34, 35 e 36 são apresentadas na Tabela 28 e na Tabela 29 para as Figuras 37, 38 e 39.

Tabela 27: IQA's para referência e testes de variação de número de análises de *Escherichia Coli*, Fósforo Total e DBO com suas respectivas linhas de tendência lineares das curvas resultantes.

ARROIO DO SALSO - 71B (Esgoto G2)																				
Variação análises	2008				2009				2010				2011				2012			
	F1	F2	F3	IQA																
Referência	50	32	89	38	50	40	90	36	60	38	94	32	60	42	94	31	44	59	99	30
<i>Escherichia Coli</i> (8)	50	39	98	33	50	45	92	34	60	43	96	30	60	48	98	28	44	59	99	29
<i>Escherichia Coli</i> (12)	50	44	99	31	50	50	95	32	60	48	97	29	60	52	99	27	44	64	99	27
Fósforo Total (8)	50	39	91	36	50	45	91	34	60	43	94	31	60	48	95	30	44	59	99	29
Fósforo Total (12)	50	44	92	34	50	50	93	33	60	48	94	30	60	52	95	28	44	64	99	27
DBO (8)	50	34	89	38	50	43	90	36	60	43	94	31	60	48	94	30	44	56	99	30
DBO (12)	50	38	88	38	50	48	89	35	60	46	93	31	60	52	93	29	44	61	98	28

Nota: Referência = *Escherichia Coli* (4) = DBO (4) = Fósforo Total (4)

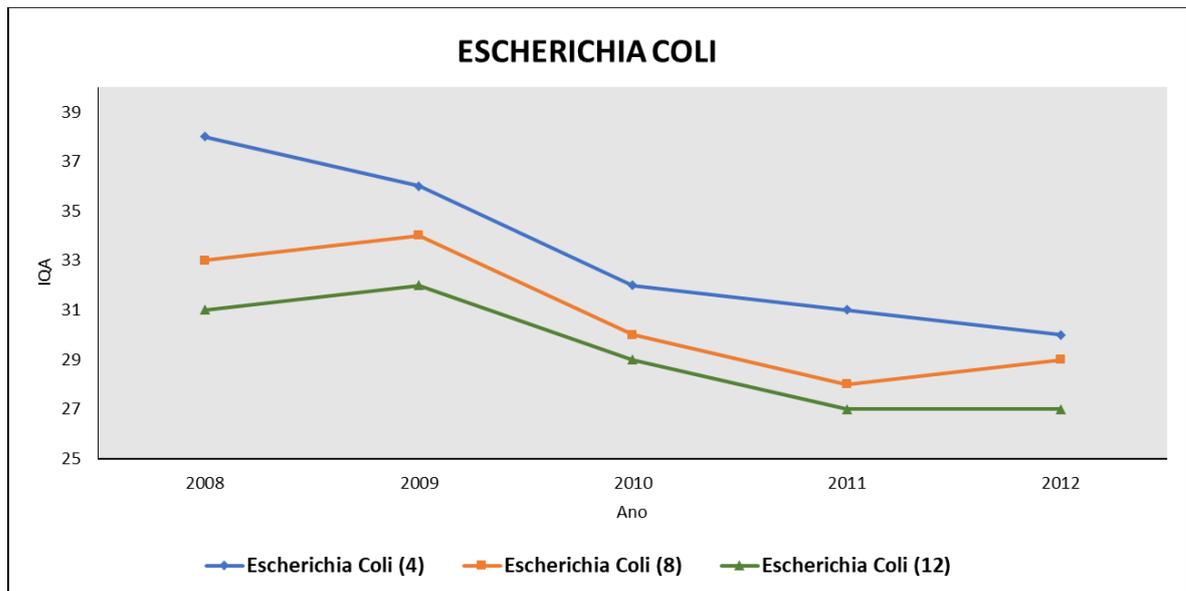


Figura 34: Gráfico comparativo de IQA de referência e IQA's para variação de análises do parâmetro *Escherichia Coli* ao longo dos anos.

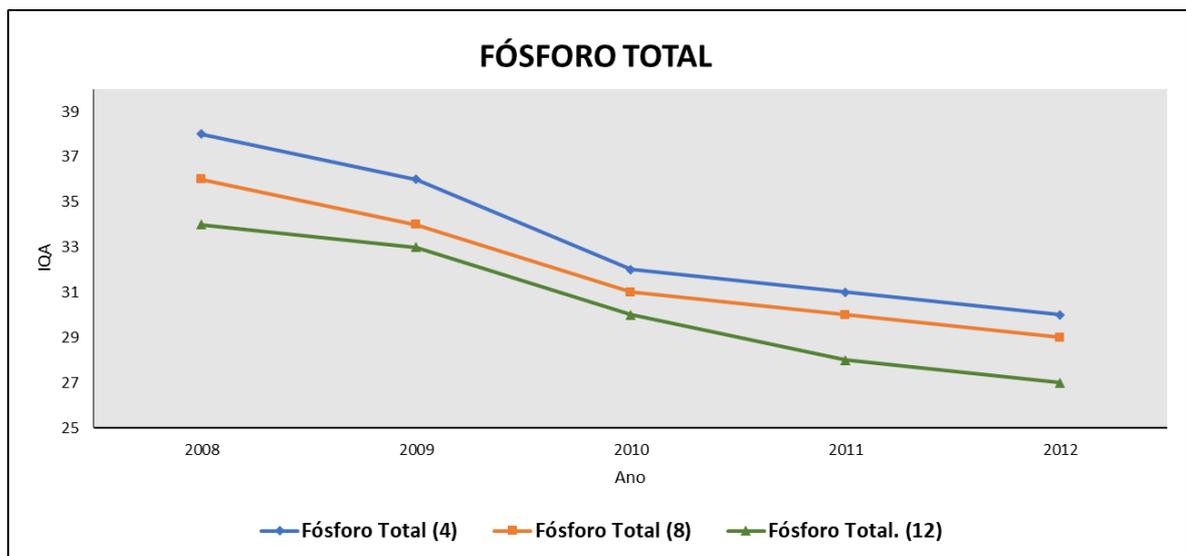


Figura 35: Gráfico comparativo de IQA de referência e IQA's para variação de análises do parâmetro Fósforo Total ao longo dos anos.

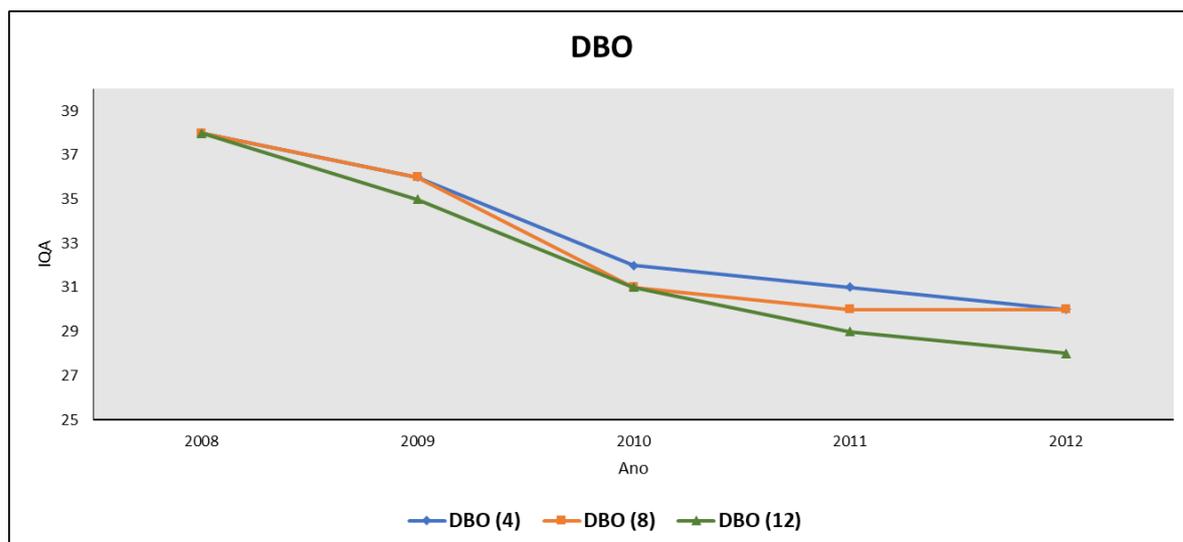


Figura 36: Gráfico comparativo de IQA de referência e IQA's para variação de análises do parâmetro DBO ao longo dos anos.

Os gráficos mostram que os resultados do IQA são bem mais sensíveis à variação na quantidade de análises de *Escherichia Coli* e Fósforo Total do que para DBO.

O gráfico de *Escherichia Coli* (Figura 34) mostra maior distanciamento entre as curvas indicando que uma quantidade maior de análises altera bastante o IQA assim como uma quantidade pequena de análises pode mascarar os resultados.

O gráfico de Fósforo Total (Figura 35), com um resultado bastante próximo à *Escherichia Coli*, porém com um distanciamento entre as curvas um pouco menor. Os resultados mostram que também deve ser realizada maior quantidade de análises de Fósforo Total em relação à referência.

Já o gráfico de DBO (Figura 36) mostra pequeno distanciamento entre as curvas, o que indica que a variação na quantidade de análises de DBO altera muito pouco os resultados de IQA.

Tabela 28: Equações das linhas de tendência lineares para as curvas dos gráficos das Figuras 34, 35 e 36.

Equação da Linha de Tendência Linear	
71B (Esgoto G2)	
Referência	$Y = -2,10X + 39,70$
Escherichia Coli (8)	$Y = -1,40X + 35,00$
Escherichia Coli (12)	$Y = -1,30X + 33,10$
Fósforo Total (8)	$Y = -1,80X + 37,40$
Fósforo Total (12)	$Y = -1,90X + 36,10$
DBO (8)	$Y = -2,20X + 39,60$
DBO (12)	$Y = -2,60X + 40,00$

As equações para todos os casos apresentados possuem coeficientes angulares negativos representando a redução dos IQA's ao longo dos anos conforme já identificado nos gráficos. O distanciamento entre as curvas com variações nas análises em relação à referência pode ser verificado pelos coeficientes lineares das equações, sendo que os parâmetros *Escherichia Coli* e Fósforo Total apresentam distanciamentos mais expressivos do que DBO. E quanto maior o número de análises menor o coeficiente linear para os três parâmetros testados.

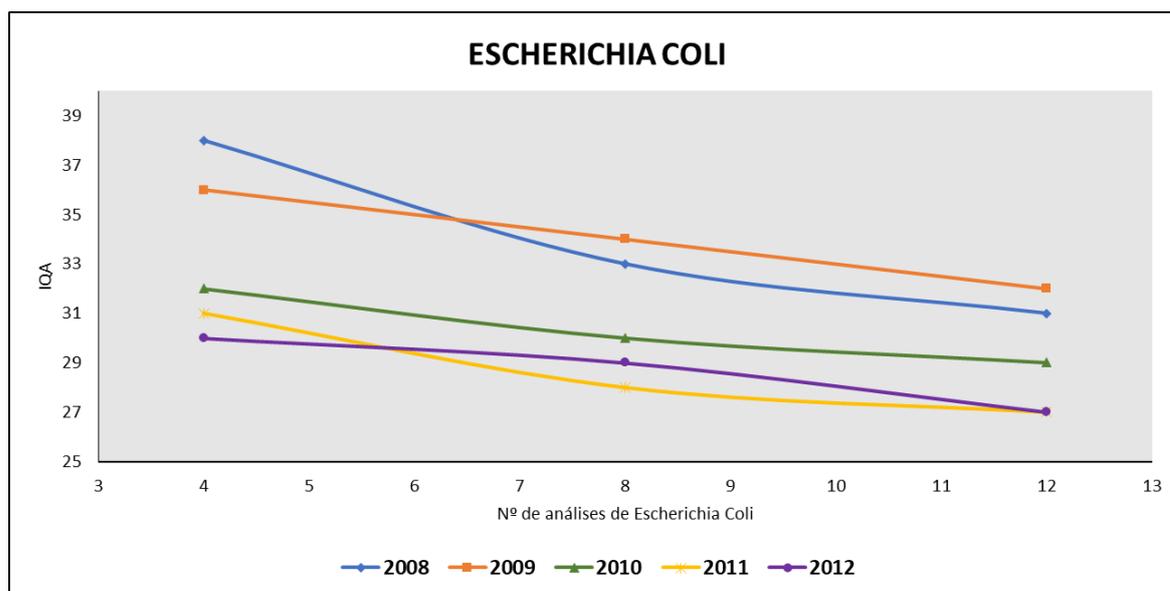


Figura 37: gráficos dos IQA's anuais variando com o número de análises do parâmetro *Escherichia Coli*.

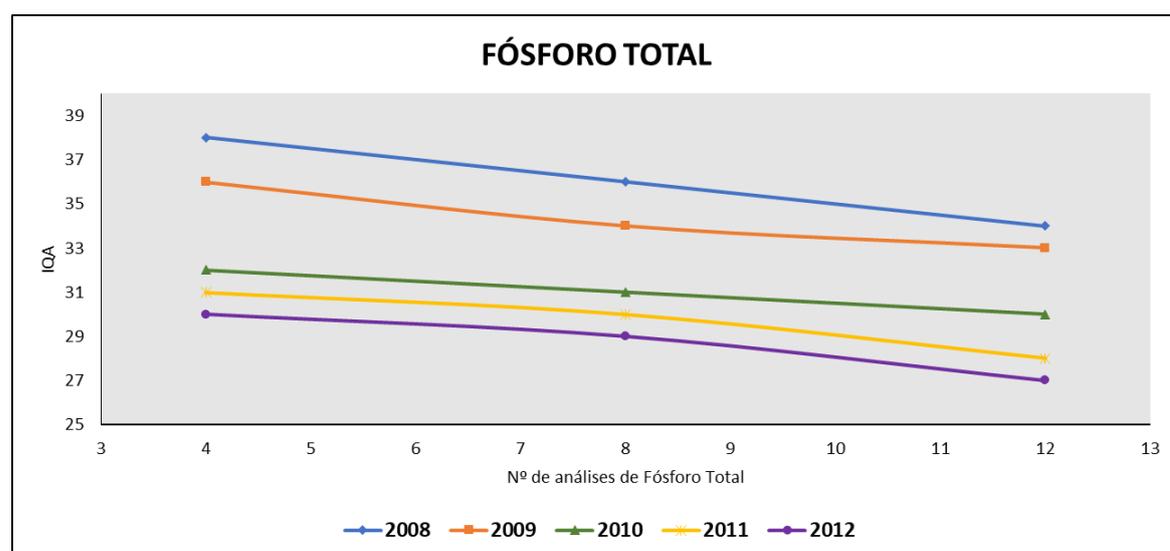


Figura 38: gráficos dos IQA's anuais variando com o número de análises do parâmetro Fósforo Total.

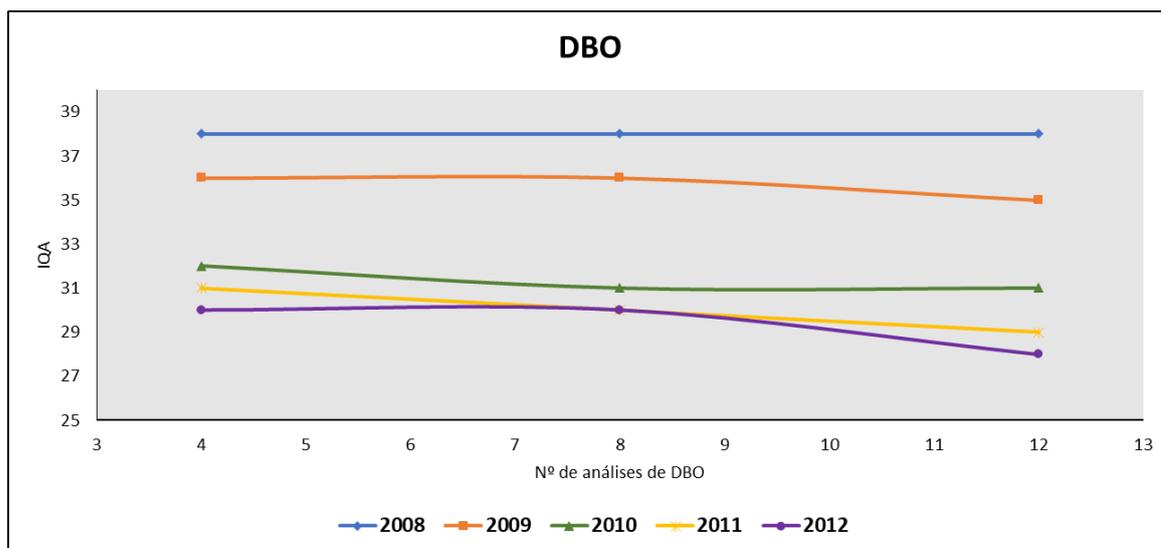


Figura 39: gráficos dos IQA's anuais variando com o número de análises do parâmetro DBO.

Em geral, com algumas exceções, as curvas anuais apresentam IQA's maiores nos anos iniciais. Verifica-se ainda a maior redução dos IQA's com o aumento da quantidade de análises para o parâmetro *Escherichia Coli*, seguido do parâmetro Fósforo Total. Já para o parâmetro DBO esta redução é pouco expressiva.

Tabela 29: Equações das linhas de tendência lineares para as curvas dos gráficos das Figuras 37, 38 e 39.

Equação da Linha de Tendência Linear			
71B (Esgoto G2)			
Ano	<i>Escherichia Coli</i>	Fósforo Total	DBO
2008	$Y = -0,87X + 41,00$	$Y = -0,50X + 40,00$	$Y = 0,00X + 38,00$
2009	$Y = -0,50X + 38,00$	$Y = -0,37X + 37,33$	$Y = -0,12X + 36,67$
2010	$Y = -0,37X + 33,00$	$Y = -0,25X + 33,00$	$Y = -0,12X + 32,33$
2011	$Y = -0,50X + 32,67$	$Y = -0,37X + 32,67$	$Y = -0,25X + 32,00$
2012	$Y = -0,37X + 31,67$	$Y = -0,37X + 31,67$	$Y = -0,25X + 31,33$

Alinhando os resultados gráficos com as equações das linhas de tendência lineares, observa-se a média dos coeficientes angulares das curvas apresentadas para cada parâmetro: Para o parâmetro *Escherichia Coli*, com coeficiente angular médio de -0,52, estima-se que ao acrescentar oito análises ao mínimo de campanhas anuais haverá uma redução de quatro unidades de IQA. Para o parâmetro Fósforo Total, com coeficiente angular médio de -0,37, a variação estimada passa a ser três unidades de IQA com o aumento de oito análises. Já o parâmetro DBO, com coeficiente angular médio de -0,15, possui a variação estimada em uma unidade de IQA para cada oito análises acrescentadas.

Verifica-se a partir dos resultados apresentados que Fósforo Total e *Escherichia Coli* devem estar em maior quantidade de análises anuais nos monitoramentos, para que o acompanhamento da qualidade da água seja mais efetivo considerando os poluentes mais críticos na bacia.

6.5 ASPECTOS DE ADEQUAÇÃO DA METODOLOGIA AO CASO DE ESTUDO

Verificou-se a vantagem do IQA-CCME por permitir a escolha de parâmetros a serem avaliados, uma vez que, em caso da utilização de outros índices com parâmetros fixos, considerando a variabilidade dos dados disponíveis em cada ano, não seria possível fazer análise alguma sobre a série histórica de qualidade da água. Entretanto, esta flexibilidade característica do índice exige capacitação do corpo técnico devido à complexidade da garantia de requisitos que permitam as comparações de IQA's ao longo do tempo ou entre regiões diferenciadas em usos e classes de enquadramento, além da adequada fixação dos parâmetros a serem incluídos no cálculo do IQA.

Ainda neste contexto, observa-se a vantagem do IQA-CCME permitir agregar informações dos usos e características da bacia. A composição do grupo de análises mostrou-se bastante útil por possibilitar a escolha de parâmetros que avaliem os possíveis impactos da bacia característicos dos usos, bem como, os impactos relacionados ao tipo de solo, aqui representado pelas características geoquímicas. Considera-se uma contribuição para a efetividade do monitoramento por evitar análise de parâmetros excessivos e permitir o acompanhamento necessário.

Apesar da evidente capacidade de integração do índice ao enquadramento que contribui para a implementação do instrumento de gestão previsto na PNRH, deve-se atentar para algumas limitações neste quesito:

- Tanto o parâmetro Coliformes Termotolerantes como *Escherichia Coli* têm os padrões baseados no percentil 80 de pelo menos seis amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Esta condição é desconsiderada ao especificar apenas o valor de limite máximo na composição do índice. Apesar disso, no caso estudado, o padrão sempre é ultrapassado além de 80% das amostras, o que não gerou interferências nos cálculos.

- O parâmetro Nitrogênio Amoniacal possui uma especificidade ao estipular padrões diferentes por faixas de pH das amostras. A calculadora não permite avaliar considerando esta diferenciação, mas este problema poderia ser facilmente ajustado ao elaborar planilhas com as fórmulas e inserir as faixas de pH no cálculo utilizando condicionais junto as fórmulas do índice em uma planilha de MS Excel®.
- A classe 4 para águas doces estabelecida pela Resolução CONAMA nº357/2005 delimita padrões numéricos apenas fenóis, OD e pH. Neste caso, não é possível calcular o índice considerando esta classe do enquadramento. O que, neste trabalho, buscou-se como solução avaliar apenas a meta de enquadramento em classe 3 para o arroio do Salso.

Os maiores problemas encontrados na aplicação do índice estão bastante associados à falta de padronização do monitoramento, onde, só foi possível realizar a avaliação descartando-se muitos dados da série disponível. Mesmo após a retirada de dados de monitoramento foram identificadas algumas interferências causadas pela irregularidade das coletas e/ou análises, que foram contornadas agrupando-se os períodos de análise em biênios. Dito isto, considera-se fundamental complementar as orientações relativas ao monitoramento de forma que o IQA-CCME, ou qualquer outro método de avaliação possa fornecer a real situação da qualidade do corpo hídrico.

Outra dificuldade encontrada na aplicação do IQA-CCME, que pode ser atribuída à deficiência na padronização no monitoramento, refere-se às considerações necessárias para que fossem avaliados índices que tivessem padrões determinados pela Resolução CONAMA nº357/2005. Os ajustes realizados podem ter influenciado na avaliação da qualidade da água dos arroios. Portanto, para aprimoramento da gestão dos recursos hídricos, o monitoramento deveria fazer melhor uso do instrumento de enquadramento de corpos d'água baseado em padrões de legislação, assim como a legislação deve sofrer atualizações constantes no sentido de se adequar ao monitoramento.

As variações das quantidades de análises ocorreram durante todo o estudo, mesmo após as padronizações, não se descarta a possibilidade de algumas influências nos IQA's de um ano para outro. Entretanto, estas influências pontuais não modificam o principal resultado de redução dos IQA's ao longo do tempo que foi bastante explorado através das linhas de tendência lineares das curvas. Observou-se o comportamento geral das curvas de aparente redução dos IQA's ao longo do tempo, verificado pelos coeficientes angulares negativos, para

ambas as bacias em todas as categorias testadas, exceto para a categoria Geoquímica do Grupo 2.

6.6 PROPOSTA PARA MELHORIA NA EFETIVIDADE DO MONITORAMENTO DE CORPOS HÍDRICOS

As dificuldades experienciadas nesta pesquisa evidenciam a necessidade de que os órgãos ambientais orientem ou executem monitoramentos que possam trazer respostas mais efetivas para a sociedade. Mesmo que os objetivos do monitoramento sejam limitados às necessidades de determinada empresa, um monitoramento mais amplo e estruturado pode ser motivado através de convênios entre comitês de bacia, órgãos ambientais, universidades, companhias de saneamento e demais empresas afins. Os convênios podem ser elaborados e implantados a partir de programas que incentivem o fortalecimento do controle ambiental e do sistema de informações de recursos hídricos.

O caso deste estudo pode ser considerado uma experiência bem realística da gestão dos recursos hídricos. O exercício prático de aplicação do IQA-CCME, mesmo que este índice seja flexível e com capacidade de contornar algumas irregularidades na frequência de parâmetros, tornou-se desafiador ao se deparar com a falta de padronização do monitoramento. Todavia, é importante ressaltar que esta situação, ou até mesmo a ausência de monitoramento, é comum para muitos corpos hídricos do país. Diante disto, verifica-se a necessidade de medidas de gestão que permitam o acompanhamento dos corpos hídricos com devidas comparações temporais e espaciais e avaliação de melhorias ou degradações na qualidade da água.

A padronização e ampliação do monitoramento consistem em contemplar aspectos relevantes das bacias. Isto inclui, entre outras providências, avaliar a adequação de pontos de amostragem significativos e seleção de parâmetros apropriada considerando os objetivos do monitoramento e especificidades das bacias. Este segundo quesito, que foi explorado na pesquisa, gerou inquietações propositivas ao tema monitoramento.

Neste sentido o estudo procurou contribuir para a melhoria do monitoramento através de duas sugestões: o item 6.6.1 expõe a proposta de um roteiro para elaboração de plano de monitoramento aplicado à adequação na seleção de parâmetros analisados; Já o item 6.6.2 traz uma sugestão de parâmetros e frequência de análises para a sub-bacia de Arroio do Salso.

6.6.1 Roteiro para elaboração de plano de monitoramento de corpos d'água aplicado à seleção de parâmetros

A partir desta experiência e dificuldades encontradas na pesquisa julga-se apropriado propor um roteiro para plano de monitoramento de corpos d'água, aplicado à seleção de parâmetros, que auxilie na padronização dos dados monitorados favorecendo a avaliação da qualidade da água. O roteiro é apresentado nos itens a seguir:

- 1) Estabelecer os objetivos específicos do monitoramento e as ferramentas mais adequadas para sintetizar os dados de qualidade da água possibilitando ao público maior acesso à informação;
- 2) Identificar usos do solo da bacia a partir do plano de bacia hidrográfica e demais características do tipo do solo em referências específicas;
- 3) Definir os usos impactantes, considerando os estressores antrópicos e características relevantes que possam contribuir na avaliação da qualidade do corpo hídrico;
- 4) Indicar os conjuntos de parâmetros representativos de cada grupo de avaliação considerando especificidades locais a partir de embasamento teórico, relatórios com histórico local e experiência de técnicos atuantes no monitoramento da área;
- 5) Estabelecer graus de prioridade de parâmetros que devam ser avaliados prevendo diferentes situações como restrições financeiras ou de pessoal para a realização das coletas ou análises;
- 6) Garantir que a escolha de parâmetros esteja adequada às ferramentas de avaliação selecionadas anteriormente e que haja algum tipo de padronização entre as bacias monitoradas, como um grupo de parâmetros básicos comuns a todas elas, para o caso de comparação de informações.

6.6.2 Sugestão de parâmetros e frequência de análises para a sub-bacia de Arroio do Salso

Devido à possibilidade de maior exploração da série histórica de qualidade da água do Arroio do Salso conseqüente da disponibilidade de dados de análises do arroio e de estudo da sub-bacia, observou-se a oportunidade de usar os conceitos trabalhados para trazer outra contribuição. Selecionaram-se os parâmetros e suas frequências considerados adequados para o monitoramento da sub-bacia do Arroio do Salso com base nos resultados da pesquisa. As

Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA

frequências sugeridas a seguir podem ser confirmadas através de verificações preliminares com testes semelhantes aos realizados no item 6.4.

Com base nos dados geoquímicos da área da sub-bacia do Arroio do Salso apresentados no capítulo 4, tem-se os elementos maiores (Chumbo, Cobre, Cromo Total, Níquel, Zinco) e os elementos traços (Alumínio, Cálcio, Ferro, Manganês Total, Magnésio, Potássio, Sódio) (OLIVEIRA, 2001 apud SOARES et al., 2004). Sugere-se que os parâmetros associados aos respectivos metais sejam analisados, sendo os elementos traço em menor quantidade (1 a 2 campanhas anuais) que os elementos maiores (2 a 4 campanhas anuais). Destaca-se que a legislação prevê limites para o Ferro Solúvel e não para Ferro Total, então seria condizente a realização da análise do parâmetro com limite já estabelecidos.

Os parâmetros de esgoto utilizados no estudo são considerados adequados para esta categoria. Considera-se uma necessidade maior de campanhas destes parâmetros do que para os metais. Neste caso sugere-se que as amostragens sejam feitas de 4 a 8 vezes por ano para DBO, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal – N. Amoniacal, OD, pH, SDT, Turbidez. Já para os parâmetros que apresentaram não conformidades em maior quantidade magnitude e que, conforme testes realizados no item 6.4, necessitam de maior número de análises no conjunto de dados, sugere-se a faixa de 8 a 12 análises anuais.

A contribuição dos usos como Agropecuária, Silvicultura e Agricultura não ficam evidentes na avaliação da qualidade do corpo hídrico devido aos parâmetros relevantes serem os mesmos do Esgoto. Porém, as categorias Agricultura e Sicultura permitem uma avaliação específica de Pesticidas conforme apresentado anteriormente em tabela sugerida pelo CCME. Logo, esta análise foi proposta com a frequência de 2 a 4 campanhas anuais, sendo necessário estudo das principais culturas da região e os agroquímicos utilizados de forma a especificar o(s) parâmetro(s) a ser(em) introduzido(s) no cálculo.

Com um total de 23 parâmetros, a Tabela 23 sugere os parâmetros e frequência de análises para o monitoramento da sub-bacia do Arroio do Salso.

Tabela 30: Sugestão de parâmetros e frequência de análises para o monitoramento da sub-bacia do Arroio do Salso.

Nº DE ANÁLISES ANUAIS*	1 a 2	2 a 4	4 a 8	8 a 12
PARÂMETROS	Chumbo	Alumínio	DBO	Fósforo Total
	Cobre	Cálcio	Nitrato	<i>Escherichia Coli</i>
	Cromo Total	Ferro Solúvel	Nitrito	
	Níquel	Manganês	N. Amoniacal	
	Zinco	Magnésio	OD	
		Potássio	pH	
		Sódio	SDT	
		Pesticidas	Turbidez	

*Deve ser escolhida uma quantidade de análises ideal, dentro da faixa sugerida, que pode atingir um valor mínimo em períodos críticos. Porém a variação indiscriminada da quantidade de análises anuais deve ser evitada.

7 CONCLUSÕES

Considerando a quantidade e complexidade dos dados gerados no monitoramento de corpos d'água e sua finalidade de informar o público em geral, bem como orientar os órgãos responsáveis na tomada de decisão, o estudo traz a importância da utilização dos índices como ferramentas de gestão dos recursos hídricos. A presente pesquisa explora a aplicabilidade do IQA-CCME, desenvolvido pelo Canadian Council of the Ministers of the Environmental. Neste contexto, foi proposta a avaliação a evolução histórica da qualidade da água do Arroio Lami e do Arroio do Salso através da aplicação do IQA-CCME de forma a considerar as potencialidades da utilização do índice como ferramenta de gestão de recursos hídricos.

Ao abranger duas sub-bacias pertencentes à bacia hidrográfica do Lago Guaíba – sub-bacia do Arroio Lami e sub-bacia do Arroio do Salso - utilizou-se dados de qualidade da água monitorados pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) para aplicação do IQA-CCME através da calculadora CCME WATER QUALITY INDEX 1.0 (CWQI 1.0). O primeiro desafio surgiu logo na obtenção dos dados que se apresentaram bastantes heterogêneos em relação aos parâmetros analisados no decorrer dos anos. Foi então definida uma metodologia que contemplasse todos os aspectos necessários para o atingimento dos objetivos propostos.

Foi possível verificar as principais vantagens atribuídas ao IQA-CCME no decorrer da pesquisa. O IQA-CCME permitiu a escolha de parâmetros a serem avaliados, em que agregou informações dos usos da bacia. Além da diferenciação dos parâmetros por categoria de uso do solo proposta pelo CCME foram inseridos aspectos geoquímicos à avaliação complementando a avaliação sob a ótica do tipo de solo. Os limites utilizados para o cálculo do índice mostram a capacidade do IQA-CCME alinhar a avaliação com um dos instrumentos da PNRH, o enquadramento de corpos d'água. Também ficou evidente a capacidade do índice contornar algumas falhas decorrentes da irregularidade no monitoramento.

No que se refere à qualidade da água avaliada a partir do IQA-CCME, considera-se um grande desafio a solução dos problemas no que tange ao atingimento das metas de enquadramento, principalmente para a sub-bacia do Arroio do Salso. A aparente tendência da redução dos IQA's ao longo do tempo indica que o aumento da degradação dos arroios pode estar relacionado ao crescimento das ocupações no extremo sul do município de Porto Alegre, região das duas sub-bacias em estudo.

Identificou-se algumas limitações ao aplicar o método decorrentes da falta de sistematização no monitoramento, sendo necessárias algumas considerações e uso de correlações para adequação dos cálculos aos padrões delimitados na legislação. Neste sentido, além da exclusão de parte dos dados disponíveis, observou-se a vantagem metodológica de agrupar os períodos de avaliação em biênios para séries históricas heterogêneas uma vez que os resultados contornaram os picos nas curvas dos gráficos anuais que não correspondem a alterações na qualidade da água propriamente dita.

Observou-se ainda que o IQA pode ser alterado conforme o conjunto de parâmetros utilizados, e a variação da quantidade de dados de cada parâmetros. Conforme testes realizados, os resultados do IQA são bem mais sensíveis à variação na quantidade de parâmetros analisados de *Escherichia Coli* e Fósforo Total do que para DBO. Desta forma, verificou-se que Fósforo Total e *Escherichia Coli* devem estar em maior quantidade nos monitoramentos da sub-bacia do Arroio do Salso para que o acompanhamento da qualidade da água seja mais efetivo considerando os poluentes mais críticos.

A partir das dificuldades experienciadas nesta pesquisa evidenciou-se a necessidade de que os órgãos ambientais orientem ou executem monitoramentos que possam trazer respostas mais efetivas para a sociedade. Além disso, julgou-se apropriado propor um roteiro para plano de monitoramento que auxilie na padronização dos dados monitorados e observou-se a oportunidade de usar os conceitos trabalhados para contribuir com uma sugestão de parâmetros e frequência de análises para a sub-bacia do Arroio do Salso.

Ao final da pesquisa verifica-se ainda que alguns assuntos relacionados ao tema carecem de estudos e linhas norteadoras sob a ótica da gestão dos recursos hídricos. Neste sentido, concebe-se como sugestão para trabalhos futuros aplicar o IQA-CCME em bacias onde os conjuntos de parâmetros sejam mais diferenciados em seus usos preponderantes, bem como explorar a influência sazonal na qualidade do corpo hídrico através do índice. Sugere-se ainda a elaboração de referencial técnico, no âmbito nacional ou regional, com conjuntos de parâmetros que caracterizem os impactos dos diferentes usos do solo na bacia facilitando a seleção dos parâmetros mais relevantes no monitoramento.

Considerando a importância dos resultados obtidos, que demonstram a degradação da qualidade da água ao longo do tempo e distanciamento das metas de enquadramento para ambos os arroios, o estudo realizado mostrou que o IQA-CCME é bem apropriado para a avaliação de séries históricas de qualidade de água em bacias hidrográficas, devendo ser estabelecido um protocolo com os tópicos indicados no estudo para a sua padronização e

Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA

utilização pelos órgãos gestores. A utilização do IQA-CCME exige capacitação do corpo técnico devido à complexidade da garantia de requisitos e escolha de parâmetros que permitam as comparações de IQA's ao longo do tempo ou entre regiões diferenciadas em usos e classes de enquadramento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil.** Caderno de Recursos Hídricos 5. Brasília: ANA - Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 2007. 124p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas.** Brasília: ANA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2017. 92p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil.** Brasília: ANA, 2012. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/Panorama_Qualidade_Aguas_Superficiais_BR_2012.pdf. Acesso em: 02 mai. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Planos de Recursos Hídricos e Enquadramento dos Corpos de Água.** Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos. Brasília: ANA, 2013a. 73p. Volume 5. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/8>. Acesso em: 30 dez. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil.** Brasília: ANA, 2013b. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html. Acesso em: 02 mai. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Apostila Marco legal: Lei das águas.** Módulo 1. Brasília. 32p. Disponível em: <http://dspace.agencia.gov.br:8080/conhecerhana/3198>. Acesso em: 30 dez. 2020a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Rede Nacional - Redes de Monitoramento.** Brasília: ANA - Portal da qualidade das águas. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/rede-nacional-rede-monitoramento.aspx>. Acesso em: 30 dez. 2020b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Política Nacional de Recursos Hídricos.** Brasília: ANA. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/gestao-da-agua/sistema-de-gerenciamnto-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 30 dez. 2020c.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Enquadramento – Bases Conceituais.** Brasília: ANA - Portal da qualidade das águas. Disponível em <http://pnqa.ana.gov.br/enquadramento-bases-conceituais.aspx>. Acesso em: 30 dez. 2020d.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Região Hidrográfica Atlântico Sul.** Brasília: ANA. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/atlantico-sul>. Acesso em: 30 dez. 2020e.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Monitoramento da qualidade da água em rios e reservatórios.** Unidade 3- Variáveis e parâmetros de qualidade de água em rios e reservatórios. Brasília: ANA. Disponível em: <http://dspace.agencia.gov.br:8080/conhecerhana/2227>. Acesso em 30 dez. 2020f.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Qualidade de água em reservatórios.** Unidade 2- Qualidade de água reservatórios. Brasília: ANA. Disponível em: <http://dspace.agencia.gov.br:8080/conhecerhana/2205>. Acesso em 30 dez. 2020g.

ALVES, M. T. R., TERESA, F. B., NABOUT, J. C. **A global scientific literature of research on water quality indices: trends, biases and future directions.** Acta Limnologica Brasiliensia, 2014, vol. 26, no. 3, p. 245-253. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2179975X2014000300004&script=sci_abstract. DOI: [10.1590/S2179-975X2014000300004](https://doi.org/10.1590/S2179-975X2014000300004). Acesso 30 dez. 2020

AMARO, C. A.; BRITES, A.P. Z.; PORTO, R. L.; PORTO, M.F. A. & MARTINS, J. R. S. **Estudo preliminar de um índice de conformidade ao enquadramento de corpos hídricos.** In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 2., 2008, Rio de Janeiro.

AMARO, C. A. **Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento.** 2009. Dissertação (Mestrado) - Poli-USP, São Paulo.

ANDRADE, L.C. **Impactos do ambiente urbano na poluição dos sedimentos do Lago Guaíba.** 2018. Tese (Doutorado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

QGIS DEVELOPMENT TEAM, (2017). QGIS (3.16). **QGIS Geographic Information System.** Open Source Geospatial Foundation Project. <http://www.qgis.org>. Acesso em 03 dez. 2020.

BASSO, L. A; SILVA, M. W. **A qualidade da água na bacia hidrográfica do arroio do Salso e sua relação com a pluviometria.** Boletim Gaúcho de Geografia, 40: 254-267, maio, 2013. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/bgg/article/view/37120>. Acesso em 30 dez. 2020.

BAUR, L. **Estudo e identificação de nitrogênio em efluentes de curtume.** 2012. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Química, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BENDATI, M. M., et al. Avaliação da qualidade da água do Lago Guaíba. Subsídios para a gestão da bacia hidrográfica. **Revista Pesquisa ECOS. DMAE.** Porto Alegre. ano 4. n. 7, 2003.

BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental.** 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

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 União,** Brasília, 2 set. 1981.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília, Senado Federal, 1988.

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, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 9 jan. 1997.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME). **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0 Technical Report**. Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canada, 2001.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME). **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index User's Manual 2017 Update**. Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canada, 2017.

CENTRO DE TECNOLOGIA ACADÊMICA (CTA). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Projeto [de olho nas águas](#). Medidor de condutividade elétrica para fins de monitoramento ambiental. Disponível em: http://cta.if.ufrgs.br/projects/medidor-de-condutividade-eletrica-monitoramento-ambiental/wiki/Estado_da_Arte. Acesso em 12 fev. 2021.

COMITÊ DO LAGO GUAÍBA. Comitê de bacia hidrográfica do Lago Guaíba. Disponível em: <http://comitedolagogaiba.com.br/historico/>. Acesso em 30 dez. 2020.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Apêndice D - Índices de Qualidade das Águas. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em 30 dez. 2020.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relatório Técnico - Monitoramento de *Escherichia coli* e coliformes termotolerantes em pontos da rede de avaliação da qualidade de águas interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2008. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em 30 dez. 2020.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Decisão de Diretoria nº 112/2013/e, de 09 de abril de 2013. **Diário Oficial Estado de São Paulo**, São Paulo, 12 abr. 2013.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO AMBIENTAL E DE ADMINISTRAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS (CPRH). Índice e Indicadores de Qualidade da Água – Revisão da Literatura. PNMA II- índices e indicadores. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf>. Acesso em 30 dez. 2020.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (CONSEMA). Resolução nº 355, de 13 de julho de 2017. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial do Estado**, Porto Alegre, 13 jul. 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 jun. 1986.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução Nº 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras.

Diário Oficial da União nº 018, Brasília, 25 jan. 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União nº 053**, Brasília, 17 mar. 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008. Altera o inciso II do § 4º e a Tabela X do § 5º, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA no 357, de 2005. **Diário Oficial da União nº 66**, Brasília, 03 abr. 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº410, de 04 de maio de 2009. Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, e no art. 3º da Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008. **Diário Oficial da União nº 083**, Brasília, 04 mai. 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União nº 092**, Brasília, 13 mai. 2011.

CORADI, P.C. et al. **Qualidade da Água Superficial da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim**. Revista de Ciências Ambientais, Canoas, v.3, n.1, p. 53 a 64, 2009. Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/114>. DOI: <http://dx.doi.org/10.18316/114>. Acesso em: 30 dez 2020.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS (DMAE). Plano Municipal de Saneamento Básico. v. 1 . Diagnóstico. Porto Alegre, 2015.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS (DMAE). Dados Gerais 2020. Porto Alegre. Disponível em: https://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?p_secao=187. Acesso em: 12 fev 2021.

DERISIO, J.C. Introdução ao controle de poluição ambiental. 5 ed. atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

ECOPLAN. **Plano da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba - Relatório Final Síntese e SIG (RS)**. Revisão 01, abril, 2016. Disponível em: <http://comitedolagoguaiba.com.br/plano-da-bacia-guaiba/>. Acesso em: 30 dez 2020.

ECOPLAN. **Revista do Plano da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba**. Março, 2017. Disponível em: <http://comitedolagogaiba.com.br/plano-da-bacia-guaiba/>. Acesso em 30 dez 2020.

EMBRAPA. **Água e saneamento: contribuições da Embrapa**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciencia, 2011. 826 p.

FARIA, C. M.; LERSCH, E. C.; MORANDI, I. C. Influência do Lançamento do Efluente de Lagoas de Estabilização na Qualidade das Águas do Arroio do Salso. **Revista Pesquisa ECOS. DMAE**. Porto Alegre. ano 2, n. 4, 2000.

GOOGLE. Google Earth PRO. **Programa de mapas da Google**. US Dept of State Geographer. Versão: 7.1.5.1557. Disponível em: <https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>. Acesso em: 03 dez. 2020.

JUNQUEIRA, I.C. **Morfometria comparativa de três arroios afluentes ao Lago Guaíba no município de Porto Alegre/RS/Brasil, com uso da tecnologia Sistema de Informações Geográficas (SIG)**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2019. Disponível em: http://professor.ufrgs.br/sites/default/files/collischonn/files/artigo_isabel.pdf. Acesso em 30 dez. 2020.

KOZENIESKI, E. M. **O Rural Agrícola na Metrópole: O Caso de Porto Alegre**. 2010. Dissertação (Mestrado). – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de Trofia em Corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

LUMB, A.; SHARMA, T. C.; BIBEAULT, J. A Review of Genesis and Evolution of Water Quality Index (WQI) and Some Future Directions. **Water Qual Expo Health**, 2011. DOI: 10.1007/s12403-011-0040-0

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). Programa de Capacitação em Gestão da Água. **Monitoramento e diagnóstico de qualidade de água superficial**. Florianópolis: Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014. Disponível em: <http://tsga.ufsc.br/index.php/biblioteca/materiaispedagogicos/apostilas2?task=weblink.go&id=13>. Acesso em: 30 dez. 2020.

MENEGAT, R.; PORTO, M.L.; CARRARO, C.C.; FERNANDES, L.L.D. **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. UFRGS/ PMPA/ INPE. Editora da Universidade-Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/atlas/>. Acesso em 30 dez. 2020.

MOURA, N.S.V.; BASSO. L.A; STROHAECKER, T.M. **Indicadores ambientais da bacia hidrográfica do arroio do Salso, Município de Porto Alegre- RS.** Boletim Gaúcho de Geografia, 40: 236-253, maio, 2013. Disponível em: - <http://seer.ufrgs.br/bgg/article/view/40021>. Acesso em 30 dez. 2020.

MOURA, N. S. V.; BASSO. L. A; SANCHES, N. D. **Áreas suscetíveis à inundação na bacia hidrográfica do arroio do Salso, Porto Alegre-RS: características das chuvas e sua influência na qualidade das águas superficiais.** Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia, v15 n. 30, 2013. DOI: <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2013.v15i30.a13664>. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/geographia/article/view/13664>. Acesso em 30 dez. 2020.

NEW FOUNDLAND LABRADOR. **Canadian Water Quality Index 1.0 Calculator.** The official website of the Government of Newfoundland and Labrador. [Environment, Climate Change and Municipalities](https://www.gov.nl.ca/eccm/waterres/quality/background/cwqi/). Canada. Disponível em: <https://www.gov.nl.ca/eccm/waterres/quality/background/cwqi/>. Acesso em 03 dez. 2020.

OLIVEIRA, I.S et al. **Índice de Conformidade ao Enquadramento nos Reservatórios Jucazinho, Bituri, Botafogo e Pirapama, em Pernambuco, Brasil.** Revista Brasileira de Geografia Física v.11, n.04, 2018. Disponível em <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234614>. Acesso em 30 dez. 2020.

OPPA, L.F. **Utilização de modelo matemático de qualidade da água para análise de alternativas de enquadramento do Rio Vacacaí Mirim.** 2007. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (RS).

PIVELI, R. P. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos - Nutrientes: compostos de nitrogênio e fósforo em águas (Fascículo 11).** São Paulo: USP. Disponível em: http://www.pha.poli.usp.br/default.aspx?id=36&link_uc=disciplina. Acesso em 03 dez. 2020.

PORTO ALEGRE. Lei n° 434/99. Lei do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre. Porto Alegre: CORAG, 1999.

PORTO ALEGRE. **Plano de Manejo: Refúgio de Vida Silvestre São Pedro.** Anexo 2 – Sustentabilidade (SMAMS), 2017.

PORTO ALEGRE. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre.** Porto Alegre: Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SMAMS), 2008.

PORTO ALEGRE. Secretaria Municipal de Cultura. **História dos Bairros de Porto Alegre.** Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/observatorio/usu_doc/historia_dos_bairros_de_porto_alegre.pdf. Acesso em 03 dez. 2020a.

SANTOS, P. R. P. **Metodologia para a tomada de decisão sobre a utilização de água subterrânea para abastecimento público no entorno das áreas urbanas**

industrializadas. 2016. 335p. Tese (Doutorado) Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA (SEMA). G080 - Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/g080-bh-guaiba>. Acesso em: 01 mar. 2021.

SILVA, M.T.L. **Adaptação e aplicação do índice de conformidade ao enquadramento (ICE) de cursos d'água**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SILVEIRA, L. G. **Estudo comparativo da utilização do IQA-NSF e IQA-CCME para análise da qualidade da água no estado do Rio De Janeiro**. 2018. Dissertação (Mestrado) Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

SINGH, K. P. **Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) – a case study**. Water Research, n. 38, p. 3980-3992, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135404003367>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.06.011>. Acesso em: 30 dez. 2020.

SOARES, M. C. C. et al. **Análise Geoquímica dos Sedimentos de Fundo do Arroio do Salso, Porto Alegre – RS – Brasil**. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/22614/000442812.pdf?sequence=1>. Acesso em 30 dez. 2020.

STEIWI, A. D. **Recentes mudanças na cobertura florestal na bacia hidrográfica do arroio Lami, Porto Alegre, com dados de sensores remotos e SIG**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TRI-STAR ENVIRONMENTAL CONSULTING. **Synthesis of research and application of the CCME water quality index**. Canada, 2012. 54 pp.

TIRKEY, P; BHATTACHARYA, T; CHAKRABORTY, S. **Water Quality Indices- Important Tools for Water Quality Assessment: A Review**. International Journal of Advances in Chemistry (IJAC) Vol.1, No.1, 2015. Disponível em: <https://airccse.com/ijac/papers/1115ijac02.pdf>. Acesso em 30 dez. 2020.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. - Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. v.1. 472p.

**ANEXO A - PARÂMETROS A SEREM CONSIDERADOS NOS DIFERENTES
USOS DA ÁGUA E TIPOS DE DESCARGA CONFORME MANUAL DO IQA-
CCME.**

Column #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	Agriculture – livestock	Agriculture – crops	Fertilizer mfg.	Forestry – range	Forestry – road building	Forestry – Silviculture	Mining – base metal	Mining – coal	Mining – oil sands	Pulp and paper	Sewage (&CSO) Discharges	Smelters	Stormwater	Wood Preservation	Aquaculture	Oil and gas	Landfills – wood waste	Landfills – municipal	Landfills – industrial
Fecal coliforms	√	√ ¹		√		√ ³					√		√					√ ⁵	
E. coli	√	√ ¹		√		√ ³					√		√					√ ⁵	
T. Diss. Solids		√	√										√				√	√	√
pH	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
DO	√	√	√	√		√	√	√	√	√	√	√	√		√	√	√	√	√
TOC, DOC, BOD	√	√	√	√		√	√	√	√	√	√	√	√		√	√	√	√	√
Susp. Solids	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√				√	√	√
Turbidity	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√				√	√	√
Ammonia	√	√	√	√		√	√	√	√		√		√		√		√	√	√
Nitrate	√	√	√	√		√	√	√	√		√		√		√		√	√	√
Nitrite	√	√	√	√		√	√	√	√		√		√		√		√	√	√
Phosphorus	√	√	√	√		√	√	√	√		√		√		√		√	√	√
SO ₄							√	√		√			√			√	√	√	√
Al							√ ⁴		√			√ ⁴	√						
Sb									√										
As							√ ⁴		√			√ ⁴							
Ba								√											
Be									√										
Cd							√ ⁴		√			√ ⁴	√						
Cu							√ ⁴		√		√	√ ⁴	√	√ ⁴					
Cr									√										
Fe					√		√ ⁴					√ ⁴							
Pb							√ ⁴		√		√	√ ⁴	√						
Hg									√										
Mn								√											
Ni									√										

Column #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	Agriculture - livestock	Agriculture - crops	Fertilizer mfg.	Forestry - range	Forestry - road building	Forestry - silviculture	Mining - base metal	Mining - coal	Mining - oil sands	Pulp and paper	Sewage (& CSO) Discharges	Smelters	Stormwater	Wood Preservation	Aquaculture	Oil and gas	Landfills-wood waste	Landfills - municipal	Landfills - industrial
Se							√ ⁴	√	√			√ ⁴							
Ag									√										
Tl									√										
V								√	√							√			
Zn							√ ⁴		√		√	√ ⁴	√						
Cyanide							√ ⁴					√ ⁴							
PAHs								√	√		√	√	√			√		√	
Pthalates											√							√	
BTEX																√			
Hydrocarbons																√			
Pesticides		√ ³				√ ²								√ ²	√	√	√	√	√

1 If fertilized with manure or similar animal-based product

2 If pesticides are applied and only for the pesticides used

3 If sheep are used as a control on vegetation growth

4 Metals appropriate to the operation – cyanide if gold leaching takes place

5 If sewage sludge disposed of at the site

6 Depends on industry

FONTE: Tri-Star Environmental Consulting (2012)