**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**
Centro de Tecnologia e Ciências
Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação
de Recursos Hídricos

Sheila Carolina de Miranda Lima

# Avaliação histórica da qualidade da bacia representativa do rio Piabanha através de Índices de Qualidade da Água

Rio de Janeiro
2021

Sheila Carolina de Miranda Lima

# Avaliação histórica da qualidade da bacia representativa do rio Piabanha através de Índices de Qualidade da Água

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof.ª Dra. Cláudia Hamacher

Coorientadora: Dra. Mariana Dias Villas Boas

Rio de Janeiro

2021

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

L732 Lima, Sheila Carolina de Miranda.
Avaliação histórica da qualidade da bacia representativa do rio Piabanha através de Índices de Qualidade da Água / Sheila Carolina de Miranda Lima. – 2021.
127 f.: il.

Orientadora: Cláudia Hamacher.
Coorientadora: Mariana Dias Villas Boas.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências.

1. Água – Qualidade – Piabanha, Rio (RJ) – Teses. 2. Controle de qualidade da água – Piabanha, Rio (RJ) – Teses. 3. Índice de qualidade da água – Piabanha, Rio (RJ) – Teses. 4. Águas residuais nos rios, lagos, etc – Piabanha, Rio (RJ) – Teses. 5. Água residuais – Estações de eliminação – Teses. I. Hamacher, Cláudia. II. Villas Boas, Mariana Dias. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia e Ciências. IV. Título.

CDU 556.51(815.3)

Bibliotecária responsável: Taciane Ferreira da Silva / CRB-7: 6337

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

_____ _____

Assinatura Data

Sheila Carolina de Miranda Lima

**Avaliação histórica da qualidade da bacia representativa do rio Piabanha através de Índices de Qualidade da Água**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Aprovado em: 11 de fevereiro de 2021.

Banca Examinadora:

_____

Profª. Dra. Cláudia Hamacher (Orientador)

Faculdade de Oceanografia – UERJ

_____

Dra. Mariana Dias Villas Boas (Coorientador)

Serviço Geológico do Brasil – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

_____

Profª. Dra. Cassia de Oliveira Farias

Faculdade de Oceanografia – UERJ

_____

Dra. Ligia Maria Nascimento de Araújo

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Rio de Janeiro

2021

**DEDICATÓRIA**

A Deus, por me permitir a conclusão de mais uma etapa, e por não me deixar desistir.

A minha vó Iris, meu maior amor, por tudo o que sempre representou, representa e sempre representará na minha vida.

Ao meus pais, tia Márcia e irmã, por existirem e me incentivarem nessa caminhada.

Para “minha pessoa”, por ser quem é.

## AGRADECIMENTOS

Você pode não saber o quanto eu caminhei para chegar até aqui, mas tenho certeza que todas essas pessoas sabem e merecem meu agradecimento incondicional.

Em primeiro lugar agradeço a Deus e minha família, em especial a minha vó Iris (*in memoriam*), pois sem ela eu não teria chegado até aqui. Aos meus pais, Glória e Haroldo, tia/mãe Márcia, minha irmã Luísa, meus primos irmãos Ione e Iuri e a Erika, pois também foram incentivadores nessa nova etapa, além de entenderem minha ausência.

A todos os meus amigos por também entenderem minha ausência e me incentivarem nessa etapa.

A minha antiga equipe de trabalho, em especial a Tathiana Pacheco e Luiz Soraggi por permitirem eu me ausentar durante o curso. A Paula Paraizo por também permitir a ausência e me proporcionar ajuda de nosso estagiário para essa empreitada. A Aline Sousa por toda a ajuda e incentivos para concluir essa etapa. Ao João Victor, pois sem a ajuda dele na organização e conferência dos milhares de arquivos utilizados, esse trabalho não teria saído. A Brigida Evangelista, minha eterna chefe e também incentivadora. Agradeço ainda a todos os outros colegas de trabalho que fizeram parte desse processo.

A minha orientadora, Claudia Hamacher, meu agradecimento incondicional por ter me recebido e apoiado durante todo o processo, sempre com muita paciência e, quando estava perdida em meio a tantas planilhas e números, por ter me ajudado com sua experiência e me incentivado a seguir em frente, quando não vislumbrava um fim, principalmente na reta final deste trabalho.

Ao professor Fred, nosso coordenador, pelo exemplo de vida, ensinamentos e sua dedicação no mundo da gestão dos recursos hídricos.

A todos os outros professores do curso pela excelência e envolvimento com a causa.

À turma de 2017 do Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, pela união e companheirismo, o que possibilitou tornar mais suave a caminhada, em especial a Ana Paula, pelos conselhos e por ter me ajudado durante o aprofundamento de conhecimento do tema deste trabalho.

Ao Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – SGB/CPRM, em especial a minha coorientadora Mariana Villas Boas por ter me ajudado, ouvido e incentivado em todo o processo, desde a primeira graduação, além de ter me

apresentado a essa área. A Janaina por também ter ajudado durante o processo de compilação de dados.

Agradeço ainda a toda a banca examinadora, em especial a Ligia Araújo, por ser uma das defensoras e idealizadoras do Projeto EIBEX, e por ter acolhido a minha turma de amigos durante o Curso de Extensão em Hidrometria, lá em 2008, o que me permitiu chegar até aqui.

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. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) pelo apoio técnico científico oferecido, e a ANA e a CAPES pelo apoio ao ProfÁgua aportado até o momento.

Ninguém pode entrar duas vezes no mesmo rio, pois quando nele se entra novamente, não se encontra as mesmas águas, e o próprio ser já se modificou.

*Heráclito*

## RESUMO

LIMA, Sheila Carolina de Miranda. *Avaliação histórica da qualidade da bacia representativa do rio Piabanha através de Índices de Qualidade da Água*. 2020. 127 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA)) – Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Os problemas nos corpos hídricos decorrentes das atividades antrópicas são os elementos motivadores deste trabalho, principalmente em função do uso e ocupação do solo de uma bacia, aliados à dificuldade de acesso à informação de qualidade da água. Este estudo busca acessar as condições da qualidade da água na bacia representativa do rio Piabanha através IQAs. O objetivo principal é a avaliação temporal da qualidade da água nessa bacia representativa através do $IQA_{NSF}$, utilizado pelo INEA/RJ e $IQA_{CCME}$. Para a avaliação da qualidade da água foram utilizados dados do projeto EIBEX, fornecidos pelo SGB/CPRM, no período de 2009 a 2017 e comparados aos dados do INEA nas estações de monitoramento da região, a Piabanha e Santo Antônio, para o mesmo período. Foi verificada semelhança entre os valores dos IQAs, para as estações EIBEX e do INEA para o período de 2013 a 2017. Comparativamente, em relação aos dados de $IQA_{NSF}$ obtidos das estações EIBEX, duas estações apresentaram como resultado a categoria "média", a estação preservada de Rocio e a estação de controle Pedro do Rio (exutório da bacia); toda bacia urbana (Esperança, Morin e Liceu) e agrícola (Poço do Casinho, João Christ e Poço Tarzan), e de controle de Parque Petrópolis apresentaram resultado para o $IQA_{NSF}$ médio, a categoria "ruim". Ademais, os resultados do $IQA_{CCME}$ apresentaram como resultado "ruim" Esperança e Morin; "marginal" em Liceu, Parque Petrópolis e Pedro do Rio e "mediana" em Rocio, Poço do Casinho, João Christ e Poço do Tarzan. Resultados na categoria "ruim" do $IQA_{NSF}$ significam que a qualidade do rio Piabanha está distante da desejável para o abastecimento público, uma vez que esse índice foca nessa questão. Já os resultados ruins do $IQA_{CCME}$ indicam a qualidade da água quase sempre está afetada e que condições sempre ou quase sempre se afastam das condições naturais ou desejáveis em relação à qualidade de uma água classe 2, que foi utilizada como padrão de qualidade. Mesmo as melhores estações, classificadas como "medianas" pelo $IQA_{CCME}$, não têm a qualidade desejável aos seus usos propostos. O $IQA_{CCME}$ se mostrou mais adequado pois permitiu que um número maior de campanhas fosse incluído na análise, inclusive um período mais longo de observação em função de ausências de determinados parâmetros para o cálculo do $IQA_{NSF}$. Com os resultados dos parâmetros individuais monitorados nas estações EIBEX e do INEA, ficou evidenciada que a principal fonte de poluição da bacia representativa são os efluentes sanitários. Esse problema decorre do aumento populacional na região, nem sempre refletido no planejamento para melhoria do tratamento de efluentes. Inclusive há necessidade de melhorar a fiscalização do funcionamento das ETEs pelo órgão ambiental. Para as estações do SGB/CPRM, foram sugeridas algumas alterações de parâmetros monitorados, além de mudanças locacionais, além da disponibilização de dados em portal oficial. Em relação ao monitoramento do INEA, foi sugerida que a frequência das campanhas seja regular, bem como a disponibilização de todos os dados no portal, além da revisão da metodologia de cálculo do índice em relação aos parâmetros fosfato e fósforo total.



Palavras-chave: Índices de Qualidade da Água (IQA); $IQA_{CCME}$; $IQA_{NSF}$; Monitoramento de qualidade das águas; Bacia representativa do Piabanha; Bacias experimentais; Tratamento de efluentes e Estação de Tratamento de Efluente.

# ABSTRACT

LIMA, Sheila Carolina de Miranda. *Historical quality assessment of the representative basin at Piabanha River through Water Quality Indexes.* 2020. 127 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA)) – Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

The motivating elements of this work are the problems in water bodies resulting from anthropic activities, mainly due to the use and occupation of soil in a basin, together with the difficulty of accessing water quality information. This study seeks to access water quality conditions in the representative basin of the Piabanha River through WQIs. The main objective is the temporal water quality assessment in this representative basin using the $WQI_{NSF}$ used by INEA/RJ and the $WQI_{CCME}$. For the water quality evaluation, data from the EIBEX project were used, provided by SGB/CPRM, in the period from 2009 to 2017 and compared to data from INEA in the region's monitoring stations, Piabanha and Santo Antônio, for the same period. A Similarity was found in the WQIs values, for the EIBEX and INEA stations within period from 2013 to 2017. Comparatively, concerning the $WQI_{NSF}$ obtained from the EIBEX stations, two stations resulted in the "medium" category, the preserved Rocio station and the Pedro do Rio control station (basin exutory); all urban (Esperança, Morin, and Liceu) and agricultural basins (Poço do Casinho, João Christ and Poço Tarzan), and control of Parque Petrópolis presented results for the average $WQI_{NSF}$, the "bad" category. Furthermore, the results of the $WQI_{CCME}$ presented as a "bad" result Esperança and Morin; "Marginal" in Liceu, Parque Petrópolis and Pedro do Rio and "median" in Rocio, Poço do Casinho, João Christ and Poço do Tarzan. Results in the "bad" category of the $WQI_{NSF}$ mean that the quality of the Piabanha River is far from desirable for public supply since this index focuses on this issue. The poor results of the $WQI_{CCME}$ mean that water quality is almost always affected and that conditions always or almost always deviate from natural or desirable conditions in relation to the quality of class 2, which was used as a quality standard. Even the best stations, classified as "average" by the $WQI_{CCME}$, do not have the desired quality for their proposed uses. The $WQI_{CCME}$ proved to be more appropriate because it allowed a greater number of campaigns to be included in the analysis, including a longer period of observation due to the absence of certain parameters for the $WQI_{NSF}$'s calculation. With the results of the individual parameters monitored in the EIBEX and from INEA, it became evident that the main source of pollution in the representative basin is sanitary effluents. This problem stems from the population increase in the region, which is not always reflected in the planning to improve the effluents' treatment. There is even a need to improve the oversight of the ETPs' operations by the environmental agency. For SGB/CPRM stations, some changes in monitored parameters were suggested, beyond changes in the location of some stations, also the data availability on the official portal. Concerning INEA monitoring, it was suggested that the frequency of campaigns be regular, besides the availability of all data on the portal, besides the review of the methodology for calculating the index about the phosphate and total phosphorus parameters.

Key Words: Water Quality Index (WQI), $WQI_{CCME}$, $WQI_{NSF}$, Water quality monitoring, Piabanha representative basin, Experimental basins, Effluents Treatments and Effluent Treatment Plant.

## LISTA DE FIGURAS


Figura 1 – Alterações do Ciclo Hidrológico..... 20
Figura 2 – Funcionamento do SINGREH..... 29
Figura 3 – CBHs do estado do Rio de Janeiro..... 32
Figura 4 – Área de atuação do Comitê Piabanha..... 33
Figura 5 – Evolução do monitoramento da qualidade da água no Brasil..... 40
Figura 6 – Curvas dos parâmetros que compõem o $IQA_{NSF}$ – Rio de Janeiro. ..... 45
Figura 7 – Modelo conceitual do $IQA_{CCME}$..... 46
Figura 8 – Localização da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul e, em destaque, a do rio Piabanha, Rio de Janeiro..... 50
Figura 9 – Principais rios da RH-IV - Rio Piabanha..... 51
Figura 10 – Localização político-administrativa da Bacia do Rio Piabanha..... 52
Figura 11 – Média da precipitação (mm) de Petrópolis..... 54
Figura 12 – Perfil longitudinal do rio Piabanha..... 55
Figura 13 – Sub-bacias da Bacia do Rio Piabanha..... 56
Figura 14 – Distribuição da população em setores censitários, com a localização dos pontos de captações de água e de lançamento de efluentes na bacia do Piabanha..... 59
Figura 15 – Mapa de volume diário de lançamento de efluentes na RH-IV, tratados e não tratados..... 61
Figura 16 – Mapa de localização das bacias representativa e experimentais do rio Piabanha..... 63
Figura 17 – Mapa das estações de monitoramento da qualidade da água do INEA na bacia do Piabanha..... 71
Figura 18 – Mapa das estações de monitoramento da qualidade da água do projeto EIBEX e INEA localizadas na bacia representativa do Piabanha..... 76
Figura 19 – Foto da área da bacia experimental preservada, próxima à estação Rocio..... 77
Figura 20 – Foto da área da bacia experimental de uso agrícola, próxima à estação Bonfim..... 77
Figura 21 – Foto da área da bacia experimental de uso urbano, próxima à estação Esperança..... 78

Figura 22 – Modelo da planilha do INEA usada para cálculo do $IQA_{NSF}$..... 82
Figura 23 – Localização das Estações do INEA e do Projeto EIBEX de monitoramento de qualidade da água e das saídas de efluentes na bacia representativa do Piabanha..... 86

## LISTA DE GRÁFICOS


Gráfico 1 – Comparação do $IQA_{NSF}$ das bacias Urbana e Preservada..... 89
Gráfico 2 – Comparação do $IQA_{NSF}$ das bacias Agrícola e Preservada..... 90
Gráfico 3 – Comparação do $IQA_{NSF}$ das bacias de Controle e Preservada..... 91
Gráfico 4 – Vazão na estação de Pedro do Rio de 2009 a 2017..... 93
Gráfico 5 – Comparação do $IQA_{CCME}$ das bacias Urbana e Preservada..... 96
Gráfico 6 – Comparação do $IQA_{CCME}$ das bacias Agrícola e Preservada..... 98
Gráfico 7 – Comparação do $IQA_{CCME}$ das bacias de Controle e Preservada..... 101
Gráfico 8 – Comparação dos valores de $IQA_{NSF}$ e $IQA_{CCME}$ das estações de monitoramento localizadas nas bacias Urbana e Preservada..... 105
Gráfico 9 – Comparação dos valores de $IQA_{NSF}$ e $IQA_{CCME}$ das estações de monitoramento localizadas nas bacias Agrícola e Preservada..... 105
Gráfico 10 – Comparação dos valores de $IQA_{NSF}$ e $IQA_{CCME}$ das estações de monitoramento localizadas nas bacias de Controle e Preservada..... 106
Gráfico 11 – Média dos valores de IQAs de cada estação de monitoramento do projeto do EIBEX. Período considerado de 2013 a 2017..... 107
Gráfico 12 – Média dos valores do $IQA_{CCME}$ da estação Piabanha/INEA. Período considerado de 2009 a 2017..... 110

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros disponíveis para as estações de monitoramento do INEA e que serão utilizados para cálculo dos $IQA_{NSF}$ e do $IQA_{CCME}$ nas estações do INEA..... 73

Quadro 2 – Parâmetros utilizados para cálculo dos IQAs nas estações do Projeto EIBEX... 78

Quadro 3 – Valores limites dos parâmetros utilizados para cálculo do $IQA_{CCME}$. Valores para água de classe 2 segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005..... 84

## LISTA DE TABELAS


Tabela 1 – Índices de coleta e tratamento de esgoto sanitário no Brasil..... 36
Tabela 2 – Índices de coleta e tratamento de esgoto sanitário na região Sudeste..... 37
Tabela 3 – Parâmetros do Índice de Qualidade das Águas do INEA ($IQA_{NSF}$)..... 43
Tabela 4 – Categorias do $IQA_{NSF}$ – INEA, com suas respectivas faixas de valores e cores indicativas..... 44
Tabela 5 – Categorias do $IQA_{CCME}$..... 49
Tabela 6 – Dados de uso e ocupação do solo de Petrópolis..... 57
Tabela 7 – Interferências nas sub-bacias que banham Petrópolis..... 60
Tabela 8 – Dimensão das bacias de estudo comparadas com a bacia principal do rio Piabanha..... 64
Tabela 9 – Número de habitantes dos municípios da RH-IV, volume percentual de esgoto tratado e não tratado e população atendida da RH-IV..... 66
Tabela 10 – Estações de monitoramento do INEA na área de estudo e suas localizações. 72
Tabela 11 – Número e distribuição das campanhas de monitoramento do INEA no rio Piabanha (Estação PB002) durante o período estudado..... 74
Tabela 12 – Número e distribuição das campanhas de monitoramento do INEA no rio Santo Antônio (Estação SA100) durante o período estudado..... 74
Tabela 13 – Localização das estações de monitoramento do SGB/CPRM na área de estudo..... 75
Tabela 14 – Dados obtidos da SGB/CPRM..... 80
Tabela 15 – Número e distribuição das campanhas de monitoramento do EIBEX durante o período estudado..... 80
Tabela 16 – Médias anuais do $IQA_{NSF}$ calculadas para as estações monitoradas pelo EIBEX..... 87
Tabela 17 – Resumo do $IQA_{CCME}$ anual das estações do Projeto EIBEX..... 92
Tabela 18 – Comparação da composição das categorias do $IQA_{NSF}$ e $IQA_{CCME}$..... 102
Tabela 19 – Média anual do $IQA_{NSF}$ das estações de monitoramento do INEA situadas dentro da bacia representativa do rio Piabanha..... 108
Tabela 20 – Média anual do $IQA_{CCME}$ das estações de monitoramento do INEA situadas dentro da bacia representativa do rio Piabanha..... 109

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| AGEVAP | Agência da Bacia do Rio Paraíba do Sul |
| ANA | Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico |
| APA | Área de Proteção Ambiental |
| CNARH | Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos |
| CTs | Câmaras Técnicas |
| CCME | Canadian Council of Ministers of the Environment |
| CETEM | Centro de Tecnologia Mineral |
| CEIVAP | Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul |
| CBHs | Comitês de Bacias Hidrográficas |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo |
| CERHI | Conselho Estadual de Recursos Hídricos |
| CONAMA | Conselho Nacional de Meio Ambiente |
| CNRH | Conselho Nacional de Recursos Hídricos |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| ETEs | Estações de Tratamento de Efluentes |
| EIBEX | Estudos em Bacias Experimentais e Representativas |
| GTs | grupos de trabalho |
| IQAs | Índices de Qualidade das Águas |
| INEA | Instituto Estadual do Ambiente |
| LAMIN | Laboratórios de Análises Minerais |
| LNSB | Lei Nacional de Saneamento Básico |
| NSF | National Sanitation Foundation |
| OD | Oxigênio dissolvido |
| PARNASO | Parque Nacional da Serra dos Órgãos |
| PERHI | Plano Estadual de Recursos Hídricos |
| pH | Potencial Hidrogeniônico |
| PBH | Planos de Bacia Hidrográfica |
| PMUL’s | Planos de Manejo de Usos Múltiplos de Lagoa ou Laguna |
| PERH | Política Estadual de Recursos Hídricos do estado do Rio de Janeiro |

| | |
|---|---|
| PNMA | Política Nacional de Meio Ambiente |
| PNRH | Política Nacional de Recursos Hídricos |
| QUALIÁGUA | Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água |
| PROHIDRO | Programa Estadual de Conservação e Revitalização de Recursos Hídricos |
| PNQA | Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas |
| RMQA | Rede de Monitoramento de Qualidade da Água |
| RHN | Rede Hidrometeorológica Nacional |
| RNQA | Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade de Água |
| RH | Região Hidrográfica |
| SEIRHI | Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos |
| SGB/CPRM | Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais |
| SINGREH | Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos |
| SNIRH | Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos |
| SNIS | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento |
| SISNAMA | Sistema Nacional do Meio Ambiente |
| UC | Unidade de Conservação |
| UERJ | Universidade do Estado do Rio de Janeiro |
| UFRJ | Universidade Federal do Rio de Janeiro |
| UFF | Universidade Federal Fluminense |
| UFRRJ | Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro |
| WQI | Water Quality Index |

## LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|---|---|
| $F_1$ | Alcance |
| $F_2$ | Frequência |
| $F_3$ | Amplitude |
| $i$ | Número de parâmetros que compõem o $IQA_{NSF}$ |
| km² | Quilômetro quadrado |
| L | Litro |
| $q_i$ | Qualidade do i-ésimo parâmetro |
| $w_i$ | Peso do i-ésimo parâmetro |
| mg | Miligrama |
| *nse* | Soma normalizada das discrepâncias |
| > | Maior que |
| < | Menor que |
| ≥ | Maior ou Igual |
| ≤ | Menor ou Igual |
| % | Porcentagem |
| ∏ | Produtório ponderado |
| ∑ | Somatório |

**SUMÁRIO**


| | | |
|---|---|---|
| | **INTRODUÇÃO** | 19 |
| 1 | **REFERENCIAL TEÓRICO** | 25 |
| 1.1 | **Hidrologia: Bacias Hidrográficas** | 25 |
| 1.2 | **Legislação e Recursos Hídricos no Brasil** | 26 |
| 1.2.1 | Lei Federal nº 9.433/1997: Política Nacional de Recursos Hídricos | 27 |
| 1.2.2 | Lei Estadual nº 3.239/1999: Política Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro | 30 |
| 1.2.3 | Resolução CONAMA nº 357/2005: Enquadramento de corpos hídricos | 33 |
| 1.3 | **Recursos hídricos e poluição** | 34 |
| 1.3.1 | Panorama do esgotamento sanitário no Brasil | 36 |
| 1.4 | **Monitoramento da qualidade das águas** | 38 |
| 1.5 | **Índices de qualidade das águas (IQAs)** | 41 |
| 1.5.1 | Índice de Qualidade das Águas da National Sanitation Foundation – $IQA_{NSF}$ | 42 |
| 1.5.2 | Índice de Qualidade das Águas do Canadian Council of Ministers of the Environment – $IQA_{CCME}$ | 46 |
| 2 | **ÁREA DE ESTUDO: BACIA REPRESENTATIVA DO RIO PIABANHA/RJ** | 50 |
| 2.1 | **Características da vegetação e relevo** | 52 |
| 2.2 | **Caracterização do regime climático e pluviométrico** | 53 |
| 2.3 | **Hidrografia** | 54 |
| 2.4 | **Uso e ocupação do solo** | 57 |
| 2.5 | **Principais problemas ambientais da bacia do rio Piabanha** | 58 |
| 2.6 | **Monitoramento da qualidade da água e o Projeto EIBEX** | 62 |
| 2.7 | **Tratamento de efluentes** | 65 |
| 3 | **METODOLOGIA** | 71 |
| 3.1 | **Monitoramento da qualidade das águas na bacia do Piabanha** | 71 |
| 3.1.1 | Programa de Monitoramento Sistemático do INEA | 71 |
| 3.1.2 | Projeto EIBEX | 75 |
| 3.2 | **Aplicação dos Índices de Qualidade das Águas (IQAs)** | 81 |
| 3.2.1 | Aplicação do $IQA_{NSF}$ | 81 |

3.2.2 Aplicação do $IQA_{CCME}$ ..... 83
4 **RESULTADOS E DISCUSSÃO** ..... 85
4.1 **Aplicação do IQA nas estações EIBEX** ..... 87
4.1.1 Aplicação do $IQA_{NSF}$ ..... 87
4.1.2 Aplicação do $IQA_{CCME}$ ..... 91
4.1.3 Comparação dos resultados de $IQA_{NSF}$ versus IQACCME das estações de monitoramento do Projeto EIBEX ..... 101
4.2 **Aplicação do IQA nas estações do INEA** ..... 108
4.2.1 Aplicação do $IQA_{NSF}$ ..... 108
4.2.2 Aplicação do $IQA_{CCME}$ ..... 109
4.2.3 Comparação dos resultados de $IQA_{NSF}$ versus $IQA_{CCME}$ das estações de monitoramento do INEA ..... 111
4.3 **IQAs e tratamento de efluentes** ..... 112
4.3.1 Bacia experimental preservada ..... 113
4.3.2 Bacia experimental urbana ..... 114
4.3.3 Bacia experimental agrícola ..... 115
4.3.4 Bacia de controle ..... 116
**CONSIDERAÇÕES FINAIS** ..... 117
**REFERÊNCIAS** ..... 122

# INTRODUÇÃO

A quantidade e a qualidade de água disponível em um determinado local são naturalmente influenciadas pelo clima e fisiografia. Existe ainda a interferência antrópica no ciclo da água, que envolve ações tais como desmatamentos e impermeabilização do solo, que têm como consequência o aceleramento da evaporação e a redução da recarga dos aquíferos, além de poderem provocar a ocorrência de enchentes, causando danos ambientais, econômicos e sociais, sem contar a questão da poluição e seus desdobramentos.

O entendimento do ciclo hidrológico tem grande importância para a gestão dos recursos hídricos. Para tanto, utiliza-se como unidade geográfica a bacia hidrográfica, que é a área de captação de água de precipitação, demarcada por divisores topográficos, que convergem os escoamentos para seu ponto exutório (SANTOS *et al*, 2001).

Os recursos hídricos podem ter usos consuntivos, quando ocorrem perdas no consumo, o que acarreta a diferença de volume entre o que é retirado e o que retorna ao sistema natural, e não consuntivos, onde todo o volume retirado retorna. Entre os usos consuntivos listam-se: abastecimento, irrigação e dessedentação de animais. Já os não consuntivos são: recreação, harmonia paisagística, geração de energia elétrica, conservação da flora, navegação, pesca e diluição ou afastamento de despejos (HELLER; PÁDUA, 2006).

Além dos múltiplos usos, a água é um recurso que também agrega diversos tipos de valores: ambiental, econômico, social e cultural.

Ressalta-se que até o despertar da consciência ambiental, a água foi considerada um bem ilimitado (PHILIPPI JR, 2005).

No Brasil, a Constituição de 1988 abole a propriedade privada no âmbito dos recursos hídricos. Outra importante alteração conceitual em relação à água enquanto recurso ocorreu com a promulgação da Lei nº 9.433/1997, conhecida como Lei das Águas ou Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH. A partir dela, a água passou a ser vista como um bem público, limitado e dotado de valor econômico (BRASIL, 1997).

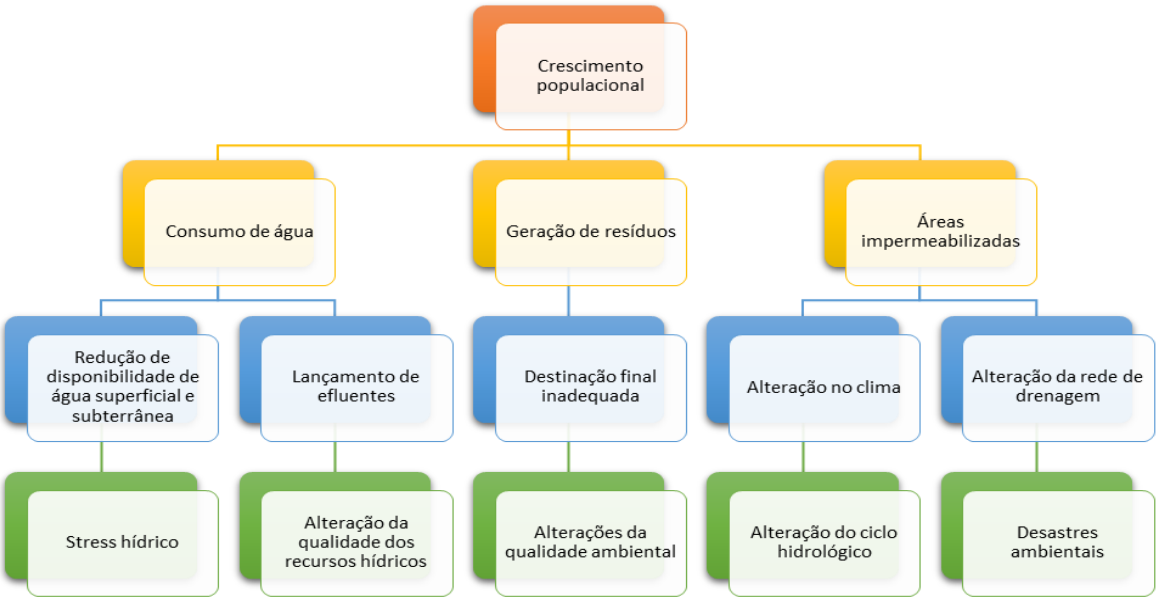
A qualidade da água bruta de um manancial depende de condições naturais e de interferências antrópicas, tais como o uso e a ocupação do solo ao longo da bacia hidrográfica.

As atividades que são decorrentes do desenvolvimento da humanidade alteram o ambiente natural. Nas grandes cidades e zonas costeiras, como consequência da ocupação antrópica, ocorreu o aumento da contaminação da água. O lançamento de efluentes em corpos

hídricos, sem tratamento prévio, é uma das atividades humanas mais impactantes para a qualidade de água (PHILIPPI JR, 2005).

Fatores como o crescimento populacional, desperdício, e aqueles ligados às questões de saneamento básico também acabam por interferir na qualidade e quantidade de água de uma determinada bacia, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Alterações do Ciclo Hidrológico.




Fonte: A autora (2020).

A Lei Federal nº 6.938/1981, conhecida como Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), definiu poluição como sendo a alteração adversa das características ambientais resultante de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades socioeconômicas; afetem a biota e condições estéticas ou sanitárias ambientais e ainda lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões legais (BRASIL, 1981).

O tratamento de águas residuárias nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), tem um importante papel para a manutenção da qualidade das águas e da vida. Sem o devido tratamento, os efluentes causam degradação da qualidade ambiental (NUVOLARI, 2003).

O saneamento básico, de acordo com a Lei Federal nº 11.445/2007, a Lei Nacional de Saneamento Básico – LNSB, comtempla o abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas (BRASIL, 2007).

A importância de manter a qualidade da água de um corpo hídrico está bem fundamentada na PNRH, na qual é definido em seu artigo 2º que se deve "assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos" (BRASIL, 1997).

A PNRH ainda possui como um de seus instrumentos de planejamento o enquadramento dos corpos hídricos, que é realizado em cindo classes de acordo com seu uso, no qual estabelece o nível de qualidade que deve ser alcançado ou mantido ao longo de um determinado período (BRASIL, 1997).

Essa classificação dos corpos hídricos é feita pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA – nº 357/2005 (BRASIL, 2005) e suas alterações, as de nº 410/2009 (BRASIL, 2009) e nº 430/2011 (BRASIL, 2011a).

Para se preservarem os recursos hídricos de forma adequada, segundo Tundisi (2006), são necessárias ferramentas para auxiliar a gestão, aliadas à aplicação de legislação e da atuação de instituições fiscalizadoras.

O monitoramento sistemático é um aliado da gestão dos recursos hídricos, que pode ajudar a conhecê-los e no estabelecimento de metas para a manutenção da integridade desse recurso ambiental. Através do monitoramento, é possível a divulgação de informações para a sociedade, pesquisadores e, ainda, seus dados podem ser utilizados como ferramenta decisória no âmbito da gestão dos recursos hídricos, uma vez que é possível através deles verificar a realidade ambiental de um local (INEA, 2020a).

Para que seja concebida uma rede de monitoramento, é importante observar a finalidade do monitoramento, para então se definirem os parâmetros, locais de monitoramento e a frequência de amostragem, dessa forma criando-se um procedimento padrão. No entanto, na prática, fatores como facilidade de acesso, disponibilidade de ensaios no laboratório e recursos são preponderantes na concepção de um monitoramento ambiental (WARD *et al*, 2003).

Para a avaliação da qualidade da água, é necessário determinar e interpretar diversos parâmetros, o que acaba dificultando a divulgação das informações para a sociedade. No caso das águas, como sua qualidade é resultado das suas características físicas, químicas e biológicas, a sua determinação acaba por envolver um grande número de parâmetros a serem determinados. Dessa forma, o uso de ferramentas denominadas Índices de Qualidade das Águas – IQAs, é de suma importância, uma vez que esses sintetizam as informações obtidas em um único resultado, de forma a facilitar na divulgação dos resultados gerados nos monitoramentos para as partes interessadas. Grande parte desses IQAs é apresentada como

grandezas adimensionais, compreendidas em um intervalo determinado, para fácil visualização da qualidade da água, de acordo com o tipo de uso ou informação que se deseja obter.

Portanto, o uso de técnicas como os IQAs ajuda no processo de gestão, planejamento e tomada de decisão, uma vez que a partir dele é possível se ter um rápido panorama do local, bem como acompanhar espacial e temporalmente a situação ambiental de uma dada bacia hidrográfica.

No caso do presente estudo, a área escolhida para avaliar a evolução da qualidade das águas através da aplicação de IQAs, é a bacia representativa do rio Piabanha, rio pertencente a uma sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Em algumas regiões do rio Piabanha suas águas são utilizadas para produção industrial e agrícola. Sua bacia possui trechos com mata preservada, mas na área urbana sofre interferências antrópicas devidas ao desenvolvimento da região, cujo crescimento urbano acentuado se deu em função da sua proximidade da cidade do Rio de Janeiro. Esse crescimento da ocupação urbana ocorreu de forma desordenada e sem planejamento adequado, afetando as condições ambientais do local.

As diferentes demandas pelo uso da água na região do rio Piabanha provavelmente interferem na quantidade e na qualidade da água disponível. Entre os usos mais inapropriados da bacia hidrográfica está o despejo de esgotos sanitários sem tratamento ao longo do rio, além dos de origem industrial. Esses fatos foram observados pelo monitoramento da qualidade da água nas estações operadas pelo Instituto Estadual do Ambiente – INEA (INEA, 2020a; 2020b).

A presente dissertação está estruturada da seguinte forma: Introdução, Objetivos, Referencial Teórico, Área de Estudo, Metodologia, Resultados e Discussão e Considerações Finais.

Este trabalho inicia-se com as considerações gerais sobre o tema de estudo, a justificativa e os objetivos, que são apresentados na introdução.

No primeiro capítulo é realizada uma revisão da literatura, onde são abordados os seguintes temas: hidrologia, legislação e recursos hídricos, poluição, monitoramento de qualidade da água e IQAs.

Já no segundo capítulo é apresentada a caracterização da área de estudo, a bacia do rio Piabanha, onde serão abordados os seguintes itens: vegetação e relevo, regime climático e pluviométrico, hidrografia, tratamento de efluentes, uso e ocupação do solo, principais problemas ambientais da bacia e monitoramento da qualidade das águas.

No terceiro capítulo são apresentadas as metodologias e premissas adotadas para este estudo, tanto para as estações de monitoramento de qualidade da água do INEA quanto para as estações monitoradas pelo Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (SGB/CPRM), para aplicação dos IQAs da *National Sanitation Foundation* (NSF) e do *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME).

O capítulo 4 apresenta os resultados e discussão acerca da aplicação dos $IQA_{NSF}$ e $IQA_{CCME}$ nas estações de monitoramento estudadas, além de correlacionar com a questão de tratamento de efluente na bacia de estudo.

Por fim, o capítulo 5 apresenta as considerações finais e recomendações para desenvolvimento de trabalhos futuros na área estudada.

## OBJETIVO GERAL

Definiu-se como objetivo principal deste trabalho a avaliação temporal, de 2009 a 2017, da qualidade da água na bacia representativa do rio Piabanha, através do uso de IQAs.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Esta pesquisa tem como objetivos específicos:

a) Identificar as características gerais da bacia hidrográfica do rio Piabanha;
b) Analisar e descrever os Índices de Qualidade das Águas – IQAs - aplicáveis a este trabalho;
c) Identificar a situação da qualidade da água ao longo da bacia representativa do Piabanha, no período de 2009 até 2017, por meio dos dados da Rede de Monitoramento de Qualidade da Água – RMQA, operada pelo Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (SGB/CPRM) e pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA/RJ);
d) Avaliar a sensibilidade de diferentes IQAs: o do Canadian Council of Ministers of the Environment - CCME - e da National Sanitation Foundation – NSF, na avaliação da qualidade de uma bacia hidrográfica com múltiplas fontes de contaminação.

Espera-se que esse trabalho forneça informações relevantes e com aplicação para auxiliar a gestão e preservação da qualidade da água da bacia representativa do Piabanha, para manutenção e melhoria da qualidade ambiental atual.

# 1 **REFERENCIAL TEÓRICO**

## 1.1 **Hidrologia: Bacias Hidrográficas**

Hidrologia é definida como a ciência que estuda a ocorrência, transporte e distribuição de água no planeta e sua qualidade (SILVA, 2015).

A bacia hidrográfica é o elemento fundamental no estudo do ciclo hidrológico, podendo ser entendida como o conjunto de superfícies vertentes e de rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até o exutório, compreendendo o rio principal e seus afluentes (TUCCI *et al*., 2001).

Os limites de uma bacia hidrográfica são as linhas de cumeada, que têm a função de divisor de águas nas partes mais altas da bacia, e que determinam o sentido da rede de drenagem e a própria área de captação, que corresponde ao seu tamanho ou área de drenagem (TUCCI *et al*., 2001).

Uma determinada bacia hidrográfica pode conter outras sub-bacias, sendo área de drenagem dos tributários do curso de água principal (SILVA, 2015).

Já as bacias representativas são aquelas consideradas representativas de uma região hidrológica. A proposta de seleção dessas bacias é realizar observação, caracterizar e compreender a dinâmica do seu ciclo hidrológico. Essas bacias compreendem áreas pequenas onde são instalados instrumentos para realização das observações, tais como medições climatológicas, de vazão, de descargas, de qualidade da água, entre outras (SILVA, 2015).

As bacias representativas apresentam a mesma realidade social, econômica, física e ambiental da bacia a qual representa. Por serem instrumentadas com aparelhos de observação, é possível fazer o registro de fenômenos hidrológicos que representam uma região homogênea. São previstos períodos longos de monitoramento, ideal superior a 30 anos (VILLAS BOAS *et al*., 2011b).

Inicialmente as bacias experimentais eram localizadas em áreas preservadas, com condições naturais, fato que acabou mudando com o passar do tempo para que fosse possível a realização de estudos sobre alterações antrópicas dos sistemas. Essas bacias têm por objetivo observar os processos e as características de uma determinada região e são consideradas pequenos laboratórios, onde são feitos estudos detalhados do ciclo hidrológico (VILLAS BOAS *et al*., 2011b).

Vale mencionar que os resultados das observações realizadas nas bacias experimentais fornecem base para o planejamento e gestão do sistema de recursos hídricos.

## 1.2 **Legislação e Recursos Hídricos no Brasil**

Com a promulgação da Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988), a água passou a ser considerada um bem público, de domínio da União e Estados, sem deixar de ser um patrimônio da população, ou seja, um bem de natureza difusa. Ressalta-se que a água deixou de ser um bem privado e de domínio municipal, conforme previsto no Código das Águas, através do Decreto Federal nº 24.643, de 10 de julho de 1934 (BRASIL, 1934).

Na Constituição Federal (BRASIL, 1988), o Capítulo VI, que trata do meio ambiente, em seu artigo nº 225 determina que:

> Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

A partir da Constituição de 1988, foi universalizado o direito à água, devido ao uso da expressão “todos”, uma vez que a água faz parte do meio ambiente. Pode ainda ser observado o importante papel do Poder Público frente à proteção dos recursos ambientais.

O artigo nº 21 da Constituição traz como competência da União a instituição de um sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definição de critérios de outorga de direitos de seu uso (BRASIL, 1988).

Lista-se ainda o artigo nº 23, que estabelece a competência comum da União, estados, Distrito Federal e municípios: proteger as paisagens naturais; proteger o meio ambiente e combater a poluição; preservar as florestas, a fauna e a flora; promover programas de saneamento básico; e registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais (BRASIL, 1988).

Vale lembrar ainda como direito fundamental o acesso à informação, que permeia todos os sistemas de gestão ambiental nacional, e é a base para o estabelecimento de consciência ambiental.

### 1.2.1 Lei Federal nº 9.433/1997: Política Nacional de Recursos Hídricos

A Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, instituída pela Lei Federal nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997), foi baseada na legislação da França, a conhecida como a "Grande Lei das Águas", de 1964, que a tornou pioneira em relação ao modelo descentralizador praticado pelos Comitês de Bacias, promovendo a participação popular por meio de segmentos sociais, uso múltiplo, disponibilidade qualitativa e quantitativa e a sua cobrança, além de trazer a figura das Agências de Bacias com um papel técnico (MARTINS, 2008).

No Brasil, em virtude do tamanho do território, diversidade e disponibilidade dos recursos hídricos, foi necessária adaptação da legislação francesa para o modelo vigente da PNRH, que possui como pilares a gestão participativa, integrada e descentralizada, que permeiam todo o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH. Assim como o modelo francês, o sistema brasileiro possui os Comitês de Bacia Hidrográfica e as Agências de Água.

Alguns eventos internacionais também colaboraram para a formulação do modelo nacional de gestão das águas, como, por exemplo, a Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente que ocorreu em Dublin, em 1992, e foi uma reunião preparatória para a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento do Rio de Janeiro, que ocorreu posteriormente no mesmo ano, e ficou conhecida como ECO-92, RIO-92 ou Cúpula da Terra.

A PNRH possui os seguintes fundamentos, que estão listados em seu artigo 1º (BRASIL, 1997):

> Art. 1º A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:
> I - a água é um bem de domínio público;
> II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
> III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
> IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
> V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
> VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Em seu artigo segundo, a PNRH apresenta quais são os seus objetivos, a saber (BRASIL, 1997):

> Art. 2º São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos:
> I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
> II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
> III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais;
> IV - incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.

Para auxiliar a sua execução, a Lei das Águas trouxe alguns instrumentos em seu quinto artigo: Planos de Recursos Hídricos (PRH), enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os seus usos preponderantes, outorga e cobrança pelo uso de recursos hídricos, compensação a municípios e o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

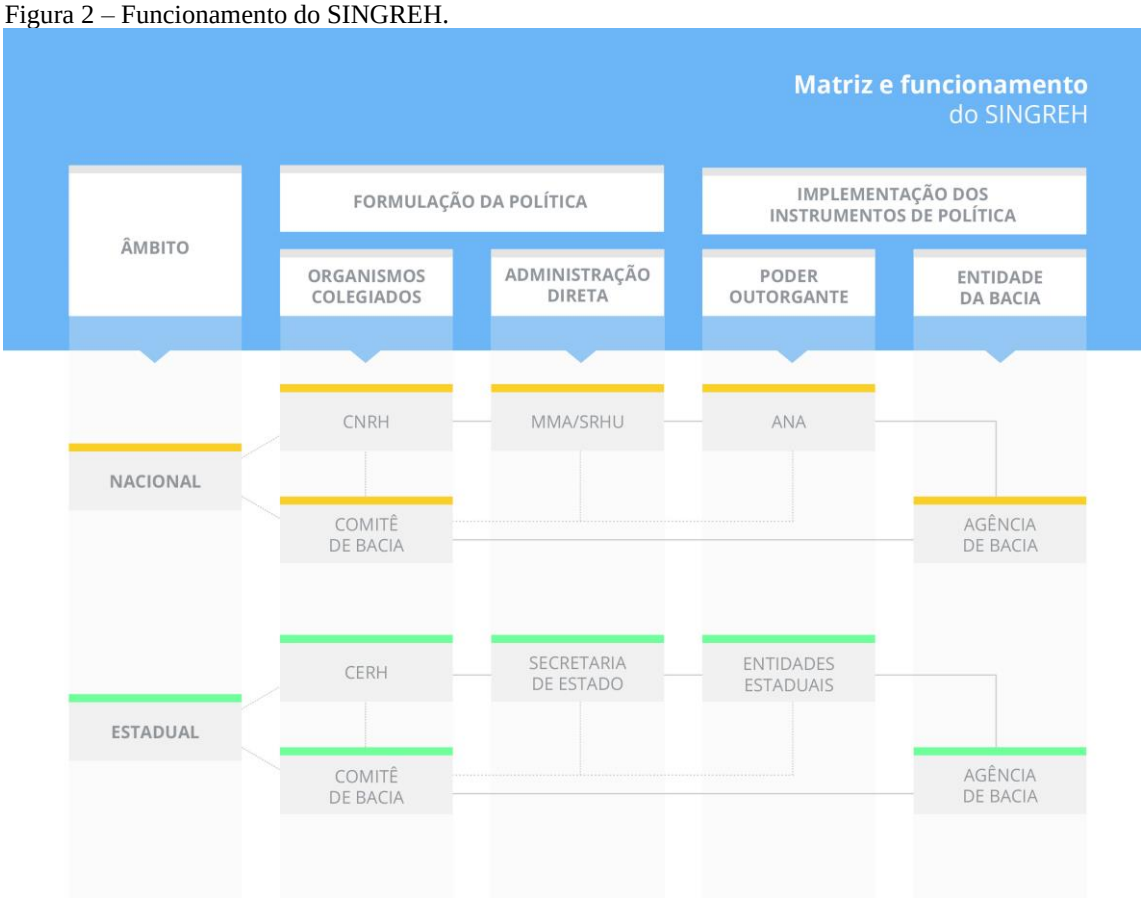
Em suma, a PNRH contém fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos. Como importante diretriz tem-se a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental e articulação entre usuários e governo. Com isso, está clara a relação entre os recursos hídricos e demais recursos ambientais (TUCCI *et. al*, 2001).

Tratando-se dos instrumentos da política, cabe dizer que os Planos de Recursos Hídricos podem ser entendidos como documentos que norteiam a agenda de recursos hídricos de uma determinada bacia hidrográfica, estado ou país. Possuem informações de ações de gestão, projetos, obras, investimentos prioritários, além de fornecer dados atualizados para a base da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (ANA, 2020).

O outro instrumento ligado ao planejamento é o enquadramento dos corpos d'água em classes, de acordo com os seus usos preponderantes, ou seja, determina a qualidade da água que deve ser alcançada ou mantida ao longo de um horizonte de tempo, visando assegurar os seus usos mais exigentes. Possuem também a intenção de diminuir os custos de remediação com a poluição, com a criação de ações preventivas.

O SINGREH, como visto na Figura 2, é composto por um conjunto de órgãos e colegiados, a saber: Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, ANA, Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal, Comitês de Bacia Hidrográfica, órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos e Agências de Água (BRASIL, 1997).

Figura 2 – Funcionamento do SINGREH.




Fonte: ANA (2020).

Entre os vários órgãos e colegiados que compõem o SINGREH, os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs), conhecidos como “Parlamento das Águas”, são órgãos colegiados com atribuições normativas, deliberativas e consultivas. Neles é discutida a gestão de recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, sub-bacia ou grupo de bacias ou sub-bacias.

Sua atribuição mais importante é a aprovação do Plano de Recursos Hídricos. É responsável ainda pelos critérios de cobrança pelo uso da água, além da promoção da discussão entre os diversos segmentos de usuários a respeito dos usos da água, atuando como árbitros em primeira instância, no caso de conflitos.

Os CBHs são formados por representantes do poder público, usuários e entidades civis de recursos hídricos atuantes na bacia, devendo refletir a realidade dos usos na bacia. São constituídos por plenário, diretoria e câmaras técnicas – CTs. Conforme a necessidade, podem ser criados os grupos de trabalho – GTs, para deliberar sobre assuntos especiais. Para suporte ao CBH, quando houver recurso, pode existir a Agência de Bacia.

A Agência de Água ou Bacia, como também é conhecida, executa a função técnica do comitê, as ações previstas nos Planos de Recursos Hídricos, além de exercer a função de Secretaria Executiva do comitê ou grupo de comitês, pois podem possuir como área de

abrangência a mesma do comitê ou de mais de um CBH. Como funções de destaque, têm-se manutenção de cadastro atualizado de usuários, gestão sobre seu Sistema de Informação sobre Recursos Hídricos, elaboração do Plano de Recursos Hídricos, proposição ao seu CBH do enquadramento e valor de cobrança pelo uso do recurso hídrico.

No caso da bacia não possuir constituída a sua Agência, existe a possibilidade de organizações civis de recursos hídricos, conforme consta no artigo nº 47 da PNRH, assumirem a função de Agência de Águas como delegatárias, por meio de um contrato de gestão (BRASIL, 1997).

Na área de estudo desse trabalho atua a Agência da Bacia do Rio Paraíba do Sul – AGEVAP, que assumiu a função de uma Agência de Bacia por meio de contrato de gestão firmado com a ANA, no caso do Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – CEIVAP.

A bacia do Rio Paraíba do Sul, área de atuação da AGEVAP, possui rios de domínio federal e estadual, uma vez que corta três estados, Rio de Janeiro, Minhas Gerais e São Paulo. Devido a este fato, existem outros comitês instalados na bacia, além do CEIVAP, que é um comitê federal, e foi criado pelo Decreto Federal nº. 1.842/1996 (BRASIL, 1996).

### 1.2.2 Lei Estadual nº 3.239/1999: Política Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro

A Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) do estado do Rio de Janeiro foi instituída pela Lei Estadual nº 3.239/1999, que criou o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e regulamentou a Constituição Estadual, em seu artigo 261, parágrafo 1º, inciso VIII, e deu outras providências (RIO DE JANEIRO, 1999).

Assim como a PNRH, contém fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos. Os fundamentos são basicamente uma repetição da lei federal, no entanto, os objetivos, diretrizes e instrumentos apresentam variações.

Em relação às diretrizes, elas somam 16, onde algumas incorporam aquelas apresentadas na política nacional, e em outras é possível observar que há um maior detalhamento da PNRH, além de algumas novas diretrizes, adequadas à realidade do estado (RIO DE JANEIRO, 1999).

Segundo o artigo 5º da Lei Estadual nº 3.239/1999, são instrumentos da PERH (RIO DE JANEIRO, 1999):

> Art. 5º – São instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos, os seguintes institutos:
> I - o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI);
> II - o Programa Estadual de Conservação e Revitalização de Recursos Hídricos (PROHIDRO);
> III - os Planos de Bacia Hidrográfica (PBH'S);
> IV - o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes dos mesmos;
> V - a outorga do direito de uso dos recursos hídricos;
> VI - a cobrança aos usuários, pelo uso dos recursos hídricos; e
> VII - o Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos (SEIRHI).

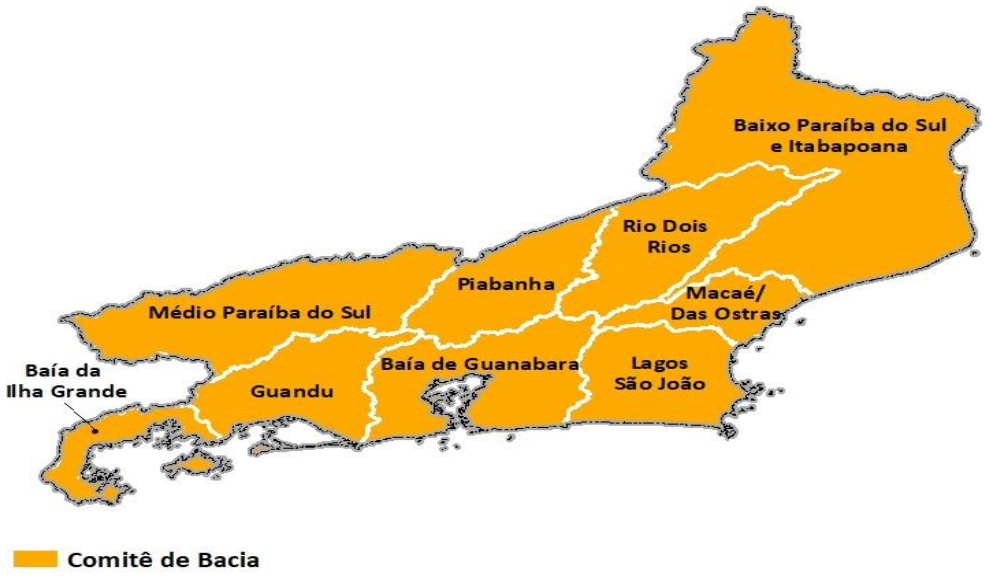
O estado do Rio de Janeiro possui Planos de Bacia Hidrográfica de todas as suas regiões hidrográficas, que servem de base para o PERHI. Em relação a este item, a política estadual trouxe como parte integrante dos Planos de Bacias, os Planos de Manejo de Usos Múltiplos de Lagoa ou Laguna - PMULs.

O enquadramento de corpos de água em classes de uso, instrumento de planejamento, deve ser feito pelos Comitês de Bacia Hidrográfica e homologados pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERHI. Em geral, os Planos de Recursos Hídricos apresentam diretrizes para as propostas de enquadramento, baseando-se na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), e suas alterações (BRASIL, 2009; 2011a).

O Rio de Janeiro possui 1 (um) CBH federal instituído, o CEIVAP, e outros 9 (nove) CBHs para cada Região Hidrográfica - RH, como mostrado na Figura 3.

A AGEVAP, além do contrato com a ANA, assinou outro contrato com o INEA, para exercer a função de Agência de Bacia e Secretaria Executiva de quatro Comitês Afluentes do Rio Paraíba do Sul, a saber: CBH Médio Paraíba do Sul, CBH Rio Dois Rios, CBH Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana e Comitê Piabanha, este último onde a área de estudo está localizada (AGEVAP, 2019).

Figura 3 – CBHs do estado do Rio de Janeiro**.**




Fonte: ANA (2019a).

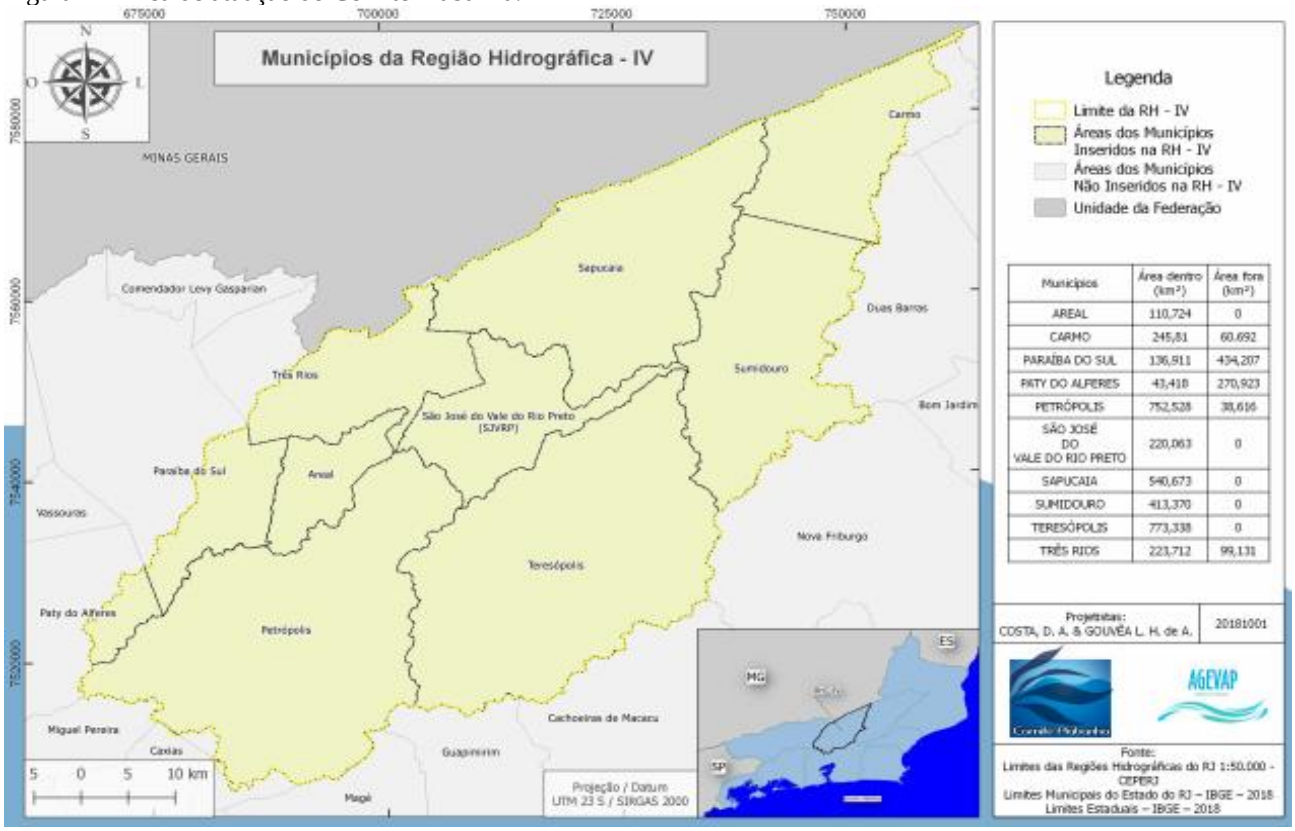
O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha e Sub-Bacias Hidrográficas dos Rios Paquequer e Preto - Comitê Piabanha (Comitê Piabanha) teve sua criação aprovada pela CERHI em 13 de novembro de 2003, sendo reconhecido e qualificado pelo Decreto Estadual nº 38.235/2005 (RIO DE JANEIRO, 2005).

O Comitê Piabanha possui como objetivo a promoção da gestão dos recursos hídricos descentralizada e participativa na Região Hidrográfica IV do Rio de Janeiro que compreende as bacias hidrográficas dos cursos d'água afluentes do Rio Piabanha que banham Petrópolis, Teresópolis, Areal, Três Rios, São José do Vale do Rio Preto, Paty do Alferes, Paraíba do Sul, além das áreas das bacias hidrográficas dos afluentes do Rio Paraíba do Sul, pela margem direita, que banham os municípios de Sumidouro, Sapucaia e Carmo, todos localizados na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, somando uma área de cerca de 3.460 km², como pode ser visto na Figura 4 (MONTES *et al*., 2019).

Este comitê possui atribuições, em nível regional, consultivas, deliberativas e normativas, sendo formado por plenário com 36 membros distribuídos igualmente entre representantes dos usuários de água, sociedade civil e poder público (MONTES *et al*., 2019).

Como parte do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos ainda se listam os organismos das três esferas de poderes cujas competências se relacionem com a gestão dos recursos hídricos, dentre eles, o Instituto Estadual do Ambiente - INEA, no nível estadual.

Figura 4 – Área de atuação do Comitê Piabanha.




| Municípios | Área dentro (km²) | Área fora (km²) |
|---|---|---|
| AREAL | 110,724 | 0 |
| CARMO | 245,81 | 60,692 |
| PARAÍBA DO SUL | 136,911 | 434,207 |
| PATY DO ALFERES | 43,418 | 270,923 |
| PETRÓPOLIS | 752,528 | 38,616 |
| SÃO JOSÉ DO VALE DO RIO PRETO | 220,063 | 0 |
| SAPUCAIA | 540,673 | 0 |
| SUMIDOURO | 413,370 | 0 |
| TERESÓPOLIS | 773,338 | 0 |
| TRÊS RIOS | 223,712 | 99,131 |

Fonte: Montes *et al.* (2019).

### 1.2.3 Resolução CONAMA nº 357/2005: Enquadramento de corpos hídricos

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão consultivo e deliberativo do SISNAMA, foi criado pela PNMA, através da Lei Federal nº 6.938/1981 (BRASIL, 1981).

O CONAMA, no uso de suas atribuições publicou, em 1986, a sua Resolução nº 20/1986 (BRASIL, 1986), que tratava do enquadramento dos corpos hídricos em classes e dos padrões de balneabilidade. A revisão posterior dessa resolução acabou por dividi-la em duas, a de nº 357/2005 (BRASIL, 2005), a tratar do enquadramento e padrões de lançamento de efluentes, e a segunda foi a de nº 274/2000, que tratou dos padrões de balneabilidade (BRASIL, 2000).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 com suas alterações definiu enquadramento dos corpos d'água como sendo o estabelecimento do nível de qualidade (classes) a ser alcançado e/ou mantido em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos pretendidos, ao longo do tempo, além de diminuir os custos de combate à poluição, devido à realização de ações preventivas e permanentes, no âmbito da gestão e planejamento (BRASIL, 2005).

De acordo com esta Resolução, as águas brasileiras foram divididas em: águas doces, salobras e salinas, sendo que em cada uma delas existem classes em relação à qualidade de água exigida segundo seus respectivos usos (BRASIL, 2005).

Dessa forma, as águas doces, objeto deste estudo, são classificadas em 5 classes: Especial, 1, 2, 3 e 4, em ordem decrescente de qualidade sugerida, em função dos usos pretendidos (BRASIL, 2005).

O enquadramento dos corpos de água dar-se-á de acordo com as normas e procedimentos definidos pelo CNRH e CERHI.

No caso do Rio de Janeiro, cabe aos CBHs a proposição do enquadramento, sendo eles submetidos ao INEA que, após avaliação, o encaminha para homologação do CERHI. Em geral, cabe aos Planos de Recursos Hídricos apresentar diretrizes para o enquadramento de suas regiões hidrográficas (INEA, 2020b).

A Resolução do CONAMA supracitada dispõe que enquanto não forem feitos os enquadramentos, as águas doces serão consideradas Classe 2, como é o caso do rio Piabanha e seus afluentes (BRASIL, 2005).

## 1.3 **Recursos hídricos e poluição**

De acordo com Libânio (2010), o Brasil detém aproximadamente 11,6% da água doce disponível nos mananciais superficiais do planeta. No entanto, apresenta distribuição hídrica heterogênea no que tange às regiões mais populosas, apesar de ter uma expressiva disponibilidade hídrica, em comparação com outros países.

Hoje em dia, apesar do conceito jurídico de “bem de domínio público” estabelecido na PNRH (BRASIL, 1997), a água é também um recurso natural dotado de valor econômico, o qual também foi instituído por esta Lei, visto que para que seja garantida a conservação e preservação dos mananciais, em função dos seus usos e ocupações, faz-se necessário estender ações de monitoramento e manejo à bacia, que é a unidade de planejamento e gestão e que, em primeira instância, define a quantidade e qualidade da água (TUNDISI, 1999).

A qualidade da água da maioria das bacias hidrográficas brasileiras está em situação crítica, sobretudo durante as estiagens, onde as vazões diminuem e torna-se difícil a diluição dos contaminantes descarregados nos rios (LIBÂNIO, 2010).

De acordo com Braga *et al.* (2006), as consequências negativas da poluição da água podem ser de caráter sanitário, ecológico, social ou econômico, podendo-se enumerar: prejuízos ao abastecimento humano e industrial; prejuízos a outros usos (pesca, recreação, etc); elevação do custo do tratamento da água; assoreamento dos mananciais, resultando em problemas de diminuição da oferta de água e de inundações; desequilíbrios ecológicos (fauna e flora); impactos sobre a qualidade de vida da população.

Em Braga *et al.* (2006) e Motta (2003) são apresentadas algumas das consequências da poluição da água, a partir de diversas alterações e respectivas fontes:

a) Compostos tóxicos - Principais fontes: esgotos industriais, atividade agrícola (pesticidas e fertilizantes), resíduo industrial, garimpo e mineração. Consequências: danos à saúde humana, vegetais e aos organismos aquáticos.
b) Elevação da temperatura - Principais fontes: águas de resfriamento e despejos industriais. Consequências: aumento da velocidade das reações químicas e biológicas, podendo ocorrer elevação da ação tóxica de alguns elementos e compostos químicos, redução da concentração de oxigênio dissolvido, com reflexos sobre a vida aquática aeróbia e diminuição da viscosidade da água, diminuindo a flutuabilidade de organismos aquáticos.
c) Microrganismos patogênicos - Principais fontes: esgotos domésticos, outros resíduos contaminados (lixo, esgotos industriais, etc.). Consequências: transmissão de doenças ao homem e a outros animais.
d) Mudanças no pH - Principais fontes: esgotos domésticos, esgotos industriais, oxidação da matéria orgânica e poluentes atmosféricos (chuvas ácidas). Consequências: corrosão, efeitos sobre a flora e fauna, prejuízos à utilização na agricultura e em outros usos, aumento da toxicidade de certos compostos (amônia, metais pesados, gás sulfídrico) e influência nos processos de tratamento da água.

Mesmo sob condições naturais, a chuva pode afetar a qualidade da água através do escoamento superficial e da infiltração no solo, inclusive em lugares com a bacia preservada. Neste caso, o efeito da precipitação sobre a qualidade das águas é muito influenciado pela cobertura e a composição do solo (VON SPERLING, 2005).

Fontes pontuais ou difusas de contaminação antrópica contribuem com adição de substâncias à água, principalmente aquelas oriundas do lançamento de efluentes em corpos

hídricos, em geral das áreas urbanas, com grande adensamento populacional, que acaba afetando a disponibilidade hídrica de uma região (VON SPERLING, 2005).

Grande parte da água utilizada para o abastecimento humano, após seu uso, é transformada em esgoto. Esses efluentes precisam ser tratados para o seu lançamento no corpo hídrico receptor para a retirada de poluentes, de forma com que a qualidade desses receptores seja mantida, de acordo com os padrões normativos vigentes.

Segundo o levantamento do Atlas de Esgoto – Despoluição de Bacias Hidrográficas (ANA, 2017), o Brasil possui 2.952 Estações de Tratamento de Esgotos, concentradas em somente 30% de suas cidades.

### 1.3.1 Panorama do esgotamento sanitário no Brasil

A liberação de esgoto nos corpos hídricos sem a realização de tratamento ou com realização de tratamento inadequado acaba por comprometer a qualidade e uso da água, além da saúde da população.

O Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto de 2018 do SNIS (2019) foi realizado a partir das informações fornecidas por 4.050 de municípios, com população urbana residente de 164,1 milhões de habitantes, o que corresponde a 72,7% do total de municípios brasileiros e 92,9% da sua população urbana. Segundo esse levantamento, existem 325,6 mil quilômetros de redes de coleta de esgoto no país, às quais se conectam 32,5 milhões de ligações de esgotos.

A Tabela 1 traz a evolução da coleta e do tratamento de esgoto doméstico de 2008 a 2018 no Brasil que, embora tenham melhorado ao longo tempo, ainda estão muito distantes de uma situação ideal.

Tabela 1– Índices de coleta e tratamento de esgoto sanitário no Brasil.

| ***Índice*** | ***2008*** | ***2009*** | ***2010*** | ***2011*** | ***2012*** | ***2013*** | ***2014*** | ***2015*** | ***2016*** | ***2017*** | ***2018*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Coleta** | 43,2% | 44,5% | 46,2% | 48,1% | 48,3% | 48,6% | 49,8% | 50,3% | 51,9% | 52,4% | 53,2% |
| **Tratamento** | 34,6% | 37,9% | 37,9% | 37,5% | 38,7% | 39,0% | 40,8% | 42,7% | 44,9% | 46,0% | 46,3% |

Fonte: Retirado de SNIS (2019).

Em comparação com os níveis nacionais, pode-se verificar que a região Sudeste, onde é localizada a área de estudo, é a que apresenta os melhores índices regionais, de coleta e tratamento de efluentes domésticos, conforme verificado na Tabela 2. Isto se deve ao fato de ser uma das regiões mais desenvolvidas e urbanizadas no Brasil.

Tabela 2 – Índices de coleta e tratamento de esgoto sanitário na região Sudeste.

| ***Índice*** | ***2008*** | ***2009*** | ***2010*** | ***2011*** | ***2012*** | ***2013*** | ***2014*** | ***2015*** | ***2016*** | ***2017*** | ***2018*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Coleta** | 66,6% | 68,2% | 71,8% | 73,8% | 75,4% | 77,3% | 78,3% | 77,2% | 78,6% | 78,6% | 79,2% |
| **Tratamento** | 36,1% | 41,3% | 40,8% | 41,2% | 42,7% | 43,9% | 45,7% | 47,4% | 48,8% | 50,4% | 50,1% |

Fonte: Retirado de SNIS (2019).

Embora a Tabela 1 e Tabela 2 demonstrem avanços no percentual de coleta e tratamento de esgotos no Brasil, ainda, em 2018, 53,7% do esgoto produzido no país não é tratado e esse percentual chega a quase 50% na região sudeste.

Pode-se perceber ainda que a cobertura da rede coletora de esgotos vem aumentando nas últimas décadas, porém, a construção de estações de tratamento de efluente sanitário não acompanha o mesmo ritmo (PHILIPPI JR, 2005).

Esses números refletem diretamente a qualidade ambiental, devido ao lançamento de esgoto in natura no meio ambiente, que afeta a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, principalmente próximas aos centros urbanos. O aporte de matéria orgânica e de nutrientes oriundos dos esgotos sem tratamento, ou até mesmo com tratamento inadequado, causam efeitos como a diminuição de disponibilidade hídrica para abastecimento humano, aumento do custo para tratamento das águas, prejuízos econômicos e sociais, sem contabilizar os efeitos deletérios de ordem ambiental.

A falta de tratamento de esgotos domésticos afeta ainda a saúde da população, devido às doenças de veiculação hídrica, ainda presentes no Brasil, e indicadoras de ausência ou deficiência no sistema de saneamento básico.

Dessa forma, fica explícita a relação entre saneamento básico, qualidade ambiental e saúde pública.

## 1.4 **Monitoramento da qualidade das águas**

A qualidade das águas de uma determinada bacia hidrográfica pode ser avaliada através de técnicas de modelagem e/ou monitoramento.

Na modelagem é possível realizar uma avaliação rápida e pouco dispendiosa da qualidade da água, usando técnicas de simulação aplicáveis ao modelo. No entanto, essa forma de monitoramento acaba apresentando incertezas e exige grande número de dados para aumentar a confiabilidade. Já no monitoramento, devido à logística envolvida, é financeiramente mais dispendioso, mas gera dados reais, o que é uma vantagem (VILLAS BOAS, 2018).

O monitoramento da qualidade da água é a materialização do esforço da coletividade em conseguir dados sobre as características da água usando como técnica a da amostragem estatística. (SANDERS *et al*, 1987).

Segundo Ward *et al*. (1983 *apud* VILLAS BOAS, 2018) o monitoramento pode ser realizado de diversas formas, segundo os seguintes aspectos:

a) Duração do monitoramento: longo ou curto;
b) Parâmetros analisados: físicos, químicos e/ou biológicos;
c) Fase do ciclo hidrológico a ser monitorada: escoamento superficial, água subterrânea, precipitação, entre outras;
d) Objetivo do monitoramento: fiscalização, análise de tendências, entre outras.

O objetivo da avaliação da qualidade da água é o parâmetro principal para o planejamento de um programa de monitoramento, pois com os mesmos alinhados, será possível atingir as metas de seu monitoramento.

No Brasil, o monitoramento da qualidade das águas começou como uma iniciativa dos estados, cada um com seus critérios, na década de 1970 (ANA, 2012). A realização desse monitoramento é um processo complexo no território brasileiro, devido às dimensões do país e à falta de padronização entre os estados.

De acordo com Villas Boas (2018), o Brasil possui rede de monitoramento somente em cerca de dois terços do território, e as mesmas ainda passam por problemas durante a operação, como períodos sem funcionar, além da ausência de padronização, o que reduz a

eficácia delas e aumenta o custo operacional e, consequentemente, deixam de produzir informações adequadas para a sociedade.

Para que se consiga preservar os recursos hídricos brasileiros é necessário se colocar em prática o que a PNRH prega. O monitoramento da qualidade das águas é uma das ferramentas com a qual o gestor dos recursos hídricos pode se balizar para a sua tomada de decisão. Por meio do monitoramento cria-se um banco de dados que pode servir de base para estudos e permite conhecer e prever o comportamento da qualidade da água de um determinado local, verificar os seus pontos sensíveis e essas informações podem chegar à população. Sem a realização de monitoramento os instrumentos de gestão elencados na PNRH perdem o sentido.

Uma das formas de divulgação dos resultados dos monitoramentos dos recursos hídricos no Brasil são os relatórios elaborados pela ANA. O CNRH, através da Resolução CNRH nº 58 de 2006 (BRASIL, 2006), delegou à agência a atribuição de elaborar Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no país periodicamente, sendo que a primeira publicação data de 2009. Desde então ele vem sendo produzido anualmente e o último publicado, até a realização desta pesquisa, foi o de 2019 (ANA, 2019b).

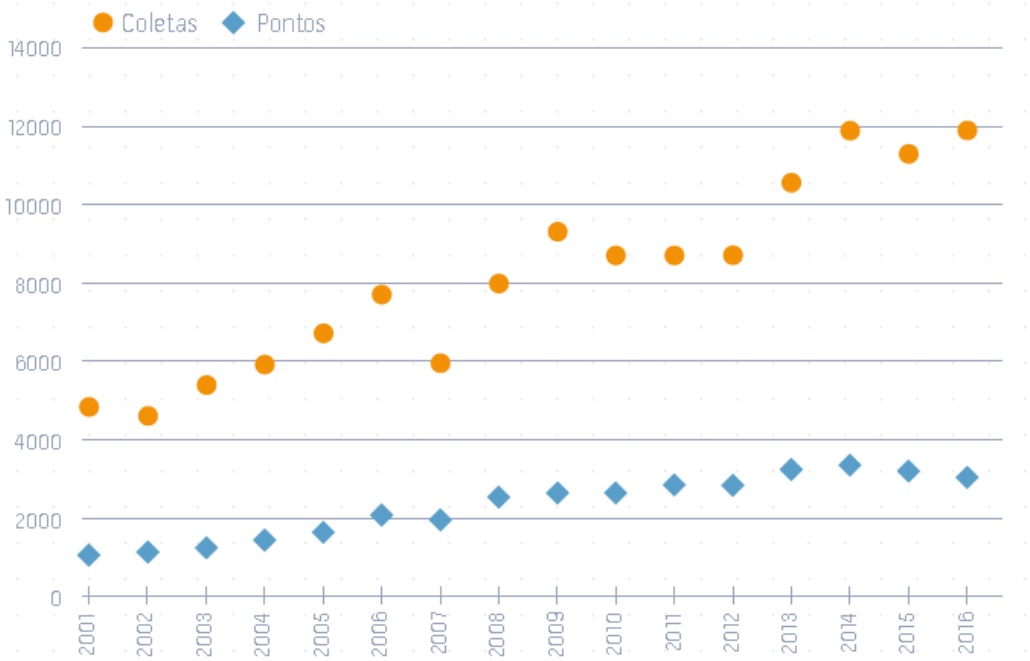
Nesse relatório são encontradas informações sobre a gestão de recursos hídricos no Brasil e é um importante aliado para avaliação do grau de implementação do Plano Nacional de Recursos Hídricos e da respectiva PNRH, além de dar a publicidade devida aos dados dos monitoramentos para o conhecimento da quantidade e qualidade de água disponível (ANA, 2019b).

As informações de qualidade da água que são apresentadas nesses relatórios são em parte da Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN, coordenada pela ANA, que monitora parâmetros básicos através de sondas multiparamétricas. A outra fonte de dados são as agências de meio ambiente dos estados, com suas próprias redes, com parâmetros e frequências distintos (ANA, 2019b).

A seguir, na Figura 5Figura 5, conforme apresentado no Relatório de Conjuntura de 2018 (ANA, 2018), é possível observar a evolução do monitoramento em função do número de pontos e coletas realizadas, e ainda verificar a grande quantidade de dados de qualidade da água disponível no Brasil. No entanto, existem problemas quanto a distribuição temporal e espacial dos dados, locais sem monitoramento, diferenças entre os parâmetros monitorados, compilação de dados, logística, disponibilidade de verbas para execução dos serviços, pessoas qualificadas e divulgação dos resultados do monitoramento.

Com o intuito de minimizar esses problemas, a ANA tem envidado esforços para padronizar, ampliar e integrar redes por meio da Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade de Água – RNQA, do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas – PNQA e do Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água – Qualiágua. Todos esses dispositivos têm o intuito de garantir que o monitoramento seja realizado de forma minimamente padronizada e continuada em todas as unidades federativas, para que esses dados de qualidade da água possam ser comparados nacionalmente (ANA, 2019b).

Figura 5 – Evolução do monitoramento da qualidade da água no Brasil.




Fonte: ANA (2018).

O estado do Rio de Janeiro possui o programa de Monitoramento Sistemático, realizado pelo INEA, órgão estadual de meio ambiente, que começou na década de 1980 e hoje soma 321 pontos de monitoramento de qualidade da água, onde 60 % deles estão localizados em rios e canais e 40 % nas baías, lagoas e reservatórios (INEA, 2019).

O objetivo desse programa é realizar o acompanhamento da qualidade das águas por meio do monitoramento de um conjunto de parâmetros, para que se possa obter um histórico da evolução e verificar a tendência ao longo dos anos, o que possibilita a criação de um banco de dados para o seu sistema de informação, além de contribuir para o adequado manejo dos ecossistemas aquáticos e para o direcionamento correto de investimentos e ações em uma determinada bacia (INEA, 2019).

O INEA mantém na RH-IV sete pontos de monitoramento da qualidade da água, dos quais cinco deles são localizados na bacia do rio Piabanha.

De acordo com recomendações da ANA referente ao Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas, é recomendada a densidade mínima de pontos para monitoramento de 1 (um) ponto para cada 1.000km². Dessa forma, essa rede é considerada adequada de acordo com esses critérios estabelecidos.

## 1.5 **Índices de qualidade das águas (IQAs)**

Para conhecer a qualidade da água de um corpo hídrico, faz-se necessária a determinação de diversos parâmetros para que sejam avaliadas todas as possíveis fontes de contaminação de um corpo hídrico, o que dificulta a publicidade e o entendimento desses resultados a todos os tipos de partes interessadas, conforme preconizado na PNRH (BRASIL, 1997).

O cálculo de Índices de Qualidade da Água (IQAs), em geral representados por um único valor obtido a partir dos resultados dos parâmetros monitorados, expresso em uma faixa de resultados pré-determinados, facilita a divulgação dos dados para todos os interessados, desde pesquisadores, até os usuários; além de facilitar o processo de gestão das águas.

A proposição do primeiro IQA é atribuída a Horton, um pesquisador alemão, em 1965, com o intuito de avaliar os programas de redução da poluição e para informação pública. A partir desse primeiro, foram desenvolvidos diversos IQAs que passaram então a ser utilizados em todo o mundo como ferramenta para gestão de águas.

Apesar de o IQA ser uma excelente ferramenta para a divulgação de dados de qualidade das águas, também possui limitações, tais como a perda de informação das variáveis individuais e o fato de que grande parte desses índices exigem variáveis específicas para o seu cálculo (VON SPERLING, 2007).

### 1.5.1 Índice de Qualidade das Águas da National Sanitation Foundation - $IQA_{NSF}$

No ano de 1970, pesquisadores com o apoio da National Sanitation Foundation (NSF-EUA) desenvolveram o *Water Quality Index* – WQI (IQA em português). Esses pesquisadores indicaram 35 parâmetros que julgaram ser relevantes para a avaliação de qualidade das águas com a finalidade do abastecimento público. Esses foram reduzidos a 9 (nove), que foram considerados mais importantes na avaliação da qualidade da água, para a composição do índice, sendo eles: oxigênio dissolvido (OD), coliformes fecais, pH (potencial hidrogeniônico), DBO (demanda bioquímica de oxigênio), temperatura, fosfato total, nitrato, turbidez e sólidos totais (ANA, 2019b; CETESB, 2018).

Para cada parâmetro elencado foi estabelecida uma curva de qualidade, onde se relaciona o valor real do parâmetro com um valor entre 0 e 100, onde 100 representa o melhor cenário. Dessas curvas são obtidos os valores “q”, que depois são multiplicados por um fator de ponderação de acordo com o parâmetro.

No Brasil, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) modificou esse índice e começou a utilizá-lo em 1975, recebendo o nome de $IQA_{CETESB}$ (CETESB, 2018). No índice da CETESB foi feita substituição do fosfato total pelo fósforo total e do nitrato pelo nitrogênio total, além de alteração da faixa de classificação original da NSF. Anos depois, esse índice passou a ser utilizado também por diversos outros estados, alguns com adaptações (ANA, 2019). A ausência de qualquer um dos parâmetros inviabiliza a determinação desse índice.

O Rio de Janeiro também fez adaptações do $IQA_{NSF}$ para a realidade local, também alterando alguns parâmetros e pesos. Nesse estado, são utilizadas 9 (nove) variáveis, conforme listado na Tabela 3, que refletem principalmente a contaminação por esgoto sanitário:

Tabela 3 – Parâmetros do Índice de Qualidade das Águas do INEA ($IQA_{NSF}$).

| ***Parâmetros – $IQA_{NSF}$*** | ***Unidade*** | ***Peso ($w_i$)*** |
|---|---|---|
| **Coliforme termotolerante** | NMP/100mL | 0,16 |
| **DBO** | mg $L^{-1}O_2$ | 0,11 |
| **Fosfato total** | mg $L^{-1}$ | 0,10 |
| **Nitratos** | mg $L^{-1}$ | 0,10 |
| **Oxigênio dissolvido** | % saturação | 0,17 |
| **pH** | - | 0,11 |
| **Sólidos totais dissolvidos** | mg $L^{-1}$ | 0,07 |
| **Temperatura** | °C | 0,10 |
| **Turbidez** | uT | 0,08 |

Fonte: INEA (2019).

O somatório dos pesos respectivos dos parâmetros é igual a 1, conforme expressão mostrada abaixo (1):

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

Por meio das curvas mostradas na Figura 6, é possível obter o valor de “q” para cada um dos parâmetros e então aplicá-los na fórmula para o cálculo do IQA.

Cabe uma observação em relação ao fosfato total: apesar dessa metodologia do cálculo do IQA aplicado no estado do Rio de Janeiro e disponível no site do próprio INEA (2019), inclusive como mostrado nas curvas dos parâmetros da Figura 6 a seguir, apontá-lo como parâmetro que compõe o índice, na prática é utilizado o fósforo total para o cálculo do IQA. O valor de fósforo total é apresentado na divulgação dos Boletins de Qualidade da Água por RH e nos respectivos dados brutos.

O $IQA_{NSF}$ usado no Rio de Janeiro é calculado como sendo o produtório ponderado das nove variáveis contempladas pelo método, elevadas ao seu respectivo peso, como mostrado na fórmula a seguir (2):

$$IQA_{NSF} = \prod_{i=1}^{9} q_i^{wi} \tag{2}$$

Onde:

a) $IQA_{NSF}$: varia de 0 a 100;
b) $q_i$: é obtido por meio da curva média e também varia de 0 a 100;
c) $w_i$: é o peso correspondente do parâmetro, e varia entre 0 e 1;
d) i: número de parâmetros que compõem o $IQA_{NSF}$.

A partir desse cálculo é obtido o valor do IQA, que corresponde a uma classificação de qualidade da água, como mostrado a seguir na Tabela 4.

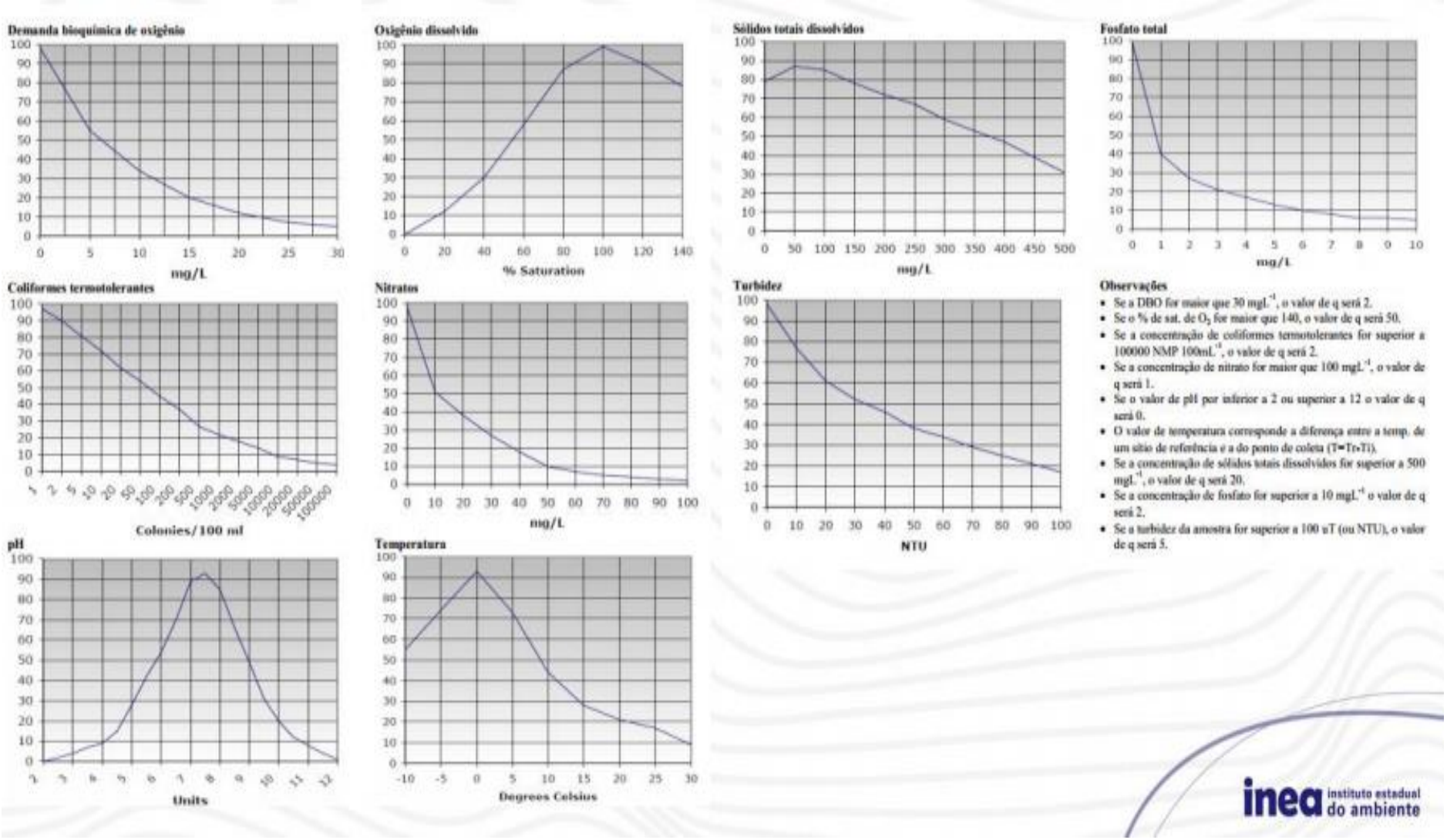
A divulgação dos IQAs da rede de monitoramento do estado do Rio de Janeiro é feita na página do próprio INEA, órgão ambiental responsável pelos cálculos, na internet por meio dos Boletins de Qualidade das Águas por RH, no seguinte endereço eletrônico: http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/qualidade-das-aguas-por-regiao-hidrografica-rhs/ (INEA, 2020b).

Tabela 3 – Categorias do $IQA_{NSF}$ – INEA, com suas respectivas faixas de valores e cores indicativas.

| ***Categoria – $IQA_{NSF}$*** | ***$IQA_{NSF}$*** | ***Cor*** |
|---|---|---|
| **Excelente** | $100 \geq IQA_{NSF} \geq 90$ | |
| **Boa** | $90 > IQA_{NSF} \geq 70$ | |
| **Média** | $70 > IQA_{NSF} \geq 50$ | |
| **Ruim** | $50 > IQA_{NSF} \geq 25$ | |
| **Muito ruim** | $25 > IQA_{NSF} \geq 0$ | |

Fonte: INEA (2019).

Figura 6 – Curvas dos parâmetros que compõem o $IQA_{NSF}$ – Rio de Janeiro.




Fonte: INEA (2020a).

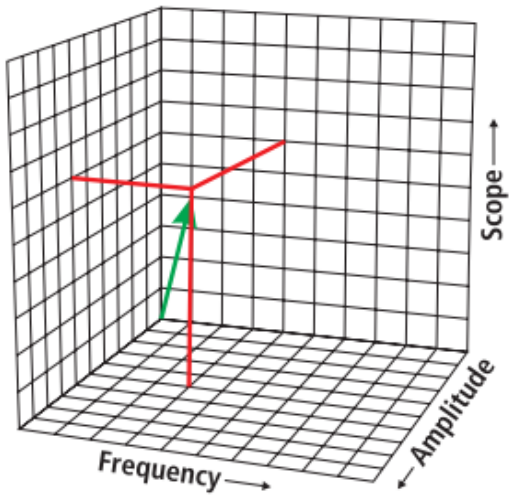
### 1.5.2 Índice de Qualidade das Águas do Canadian Council of Ministers of the Environment – $IQA_{CCME}$

O Canadá, em 2001, por meio do *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME), criou seu próprio índice, o $IQA_{CCME}$, que foi desenvolvido com o objetivo de ser utilizado no país inteiro, independente da realidade local, uma vez que o território canadense é bem vasto, para mostrar a qualidade da água ao público e verificar as bacias que precisavam da execução de ações prioritárias (CCME, 2019).

Trata-se de uma metodologia de análise estatística, onde são relacionados os resultados das variáveis monitoradas com o seu valor padrão. É considerado um método flexível, pois não utiliza parâmetros fixos e não possui restrições quanto ao número máximo de parâmetros. No entanto, devem ser considerados no mínimo quatro parâmetros em ao menos quatro campanhas de monitoramento para o seu cálculo (INEA, 2019). Pode ser utilizado em águas doces superficiais ou subterrâneas, salobras e salinas (CETESB, 2015). O valor padrão de cada variável depende da escolha do diploma legal ou normativo que será usado como critério de qualidade.

O cálculo do $IQA_{CCME}$ leva em conta, como mostrado na Figura 7, 3 (três) vetores: o alcance ou abrangência ($F_1$ - *scope*), a frequência ($F_2$ - *frequency*) e a amplitude ($F_3$) que, após sua integração, serão representados por um único valor numérico entre 0 e 100, sendo este último o melhor cenário em relação à qualidade das águas (CETESB, 2015).

Figura 7 – Modelo conceitual do $IQA_{CCME}$.




Fonte: CETESB (2015).

O alcance ($F_1$) pode ser traduzido como o número de parâmetros não conformes de qualidade da água em comparação com os padrões estabelecidos, pelo menos uma vez dentro do período de tempo do monitoramento que se quer caracterizar, levando-se em conta o número total de parâmetros (3) (CCME, 2001).

$$F_1 = \frac{\text{nº de parâmetros não conformes}}{\text{nº total de parâmetros}} \text{ x } 100 \quad (3)$$

Já a frequência ($F_2$) corresponde ao percentual de análises individuais que não atendem aos padrões estabelecidos (4) (CCME, 2001).

$$F_2 = \frac{\text{nº de testes não conformes}}{\text{nº total de testes}} \text{ x } 100 \quad (4)$$

A amplitude ($F_3$) representa o quão distante os valores não conformes estão do valor padrão, sendo calculada em três etapas, onde a primeira é o cálculo das discrepâncias (Δ), que representa o quanto cada valor difere do padrão, seja quando o mesmo possui um limite máximo ou mínimo (CCME, 2001):

a) Para o cálculo da discrepância quando o valor da análise não deve exceder o padrão, deve-se usar (5):

$$\text{Discrepância} = \left(\frac{\text{valor da análise não conforme}}{\text{padrão}}\right) - 1 \quad (5)$$

b) Já quando o valor da análise não deve ser inferior ao do padrão, utilizar (6):

$$\text{Discrepância} = \left(\frac{\text{padrão}}{\text{valor da análise não conforme}}\right) - 1 \quad (6)$$

A segunda etapa, de acordo com CCME (2001), é a soma normalizada das discrepâncias (nse), que é a soma de todas as discrepâncias dividida pelo número total de análises realizadas (7):

$$\text{nse} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \text{discrepância}}{\text{nº total de análises}} \tag{7}$$

Na terceira etapa, com os resultados obtidos por meio das etapas anteriores, obtém-se a amplitude, que é calculada por meio de uma função assintótica que escalona a soma normalizada das discrepâncias (8), com a finalidade de obter um resultado entre 0 e 100 (CCME, 2001):

$$F3 = \left(\frac{\text{nse}}{0{,}01\ \text{nse} + 0{,}01}\right) \tag{8}$$

Após obtenção dos valores de $F_1$, $F_2$ e $F_3$, o $IQA_{CCME}$ pode então ser obtido, por meio da soma deles ao quadrado (9), que permite que o índice seja tratado como um espaço tridimensional, definido por cada um dos fatores ao longo do eixo, como mostrado na Figura 7. Dessa forma, as alterações no índice serão diretamente proporcionais nos três referidos fatores (CCME, 2001):

$$IQA_{CCME} = 100 - \left[\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2\ F3^2}}{1{,}732}\right] \tag{9}$$

Cabe mencionar que, matematicamente, o fator 1,732 é igual a √3 (10), e é utilizado para normalizar o índice entre 0 e 100, já que o valor máximo a ser obtido no vetor resultante é 173,2, conforme explicado a seguir:

$$\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = \sqrt{30000} = 173{,}2 \tag{10}$$

O $IQA_{CCME}$ possui as seguintes categorias listadas na Tabela 5 (CCME, 2001; INEA, 2019):

Tabela 4 – Categorias do $IQA_{CCME}$.

| ***Categoria – $IQA_{CCME}$*** | ***$IQA_{CCME}$*** | ***Descrição*** |
|---|---|---|
| **Excelente** | $100 \geq IQA_{CCME} \geq 95$ | Qualidade da água protegida, com virtual ausência de impactos; condições muito próximas às naturais ou desejáveis |
| **Boa** | $95 > IQA_{CCME} \geq 80$ | Qualidade da água protegida, apresentando apenas um pequeno grau de impacto; condições que raramente se afastam das condições naturais ou desejáveis |
| **Mediana** | $80 > IQA_{CCME} \geq 65$ | Qualidade da água protegida, mas com ocasionais impactos; condições que eventualmente se afastam das condições naturais ou desejáveis |
| **Marginal** | $65 > IQA_{CCME} \geq 45$ | Qualidade da água afetada com frequência; condições que frequentemente se afastam das condições naturais ou desejáveis |
| **Ruim** | $45 > IQA_{CCME} \geq 0$ | Qualidade da água quase sempre afetada; condições que sempre ou quase sempre se afastam das condições naturais ou desejáveis |

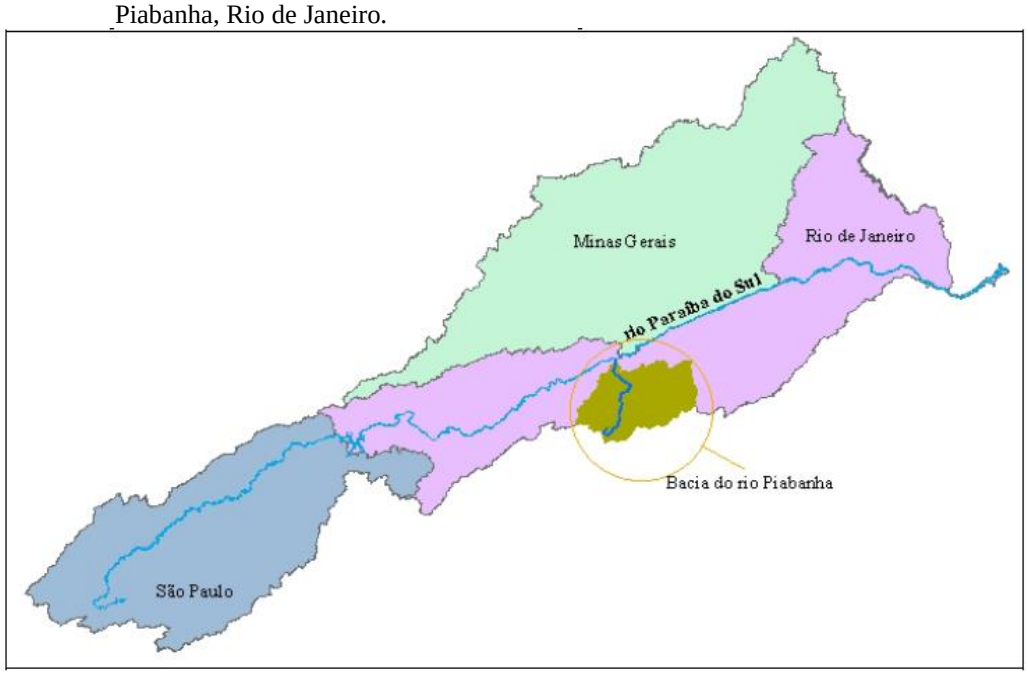
Fonte: CCME (2001) e INEA (2019).

O INEA (2019) utiliza o $IQA_{CCME}$ para avaliar a qualidade das águas das baías e lagoas do estado do Rio de Janeiro, usando para cálculo os seguintes parâmetros: OD, fósforo total, nitrogênio amoniacal total, nitrito, nitrato, pH, coliformes termotolerantes e/ou enterococos e fitoplâncton, representado por meio do Índice de Diversidade de *Shannon-Weaver*.

# 2 ÁREA DE ESTUDO: BACIA REPRESENTATIVA DO RIO PIABANHA/RJ

A bacia representativa do rio Piabanha encontra-se localizada na bacia principal de mesmo nome, sendo essa uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Paraíba do Sul, como mostrado na Figura 8Figura 8. A bacia do rio Paraíba do Sul possui área de drenagem de aproximadamente 55.500km², sendo essa área distribuída entre Minas Gerais (20.700 km²), São Paulo (13.900 km²) e Rio de Janeiro (20.900 km²) (ARAÚJO *et al*., 2009).

Figura 8 –Localização da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul e, em destaque, a do rio Piabanha, Rio de Janeiro.




Fonte: Araújo *et al*. (2009).

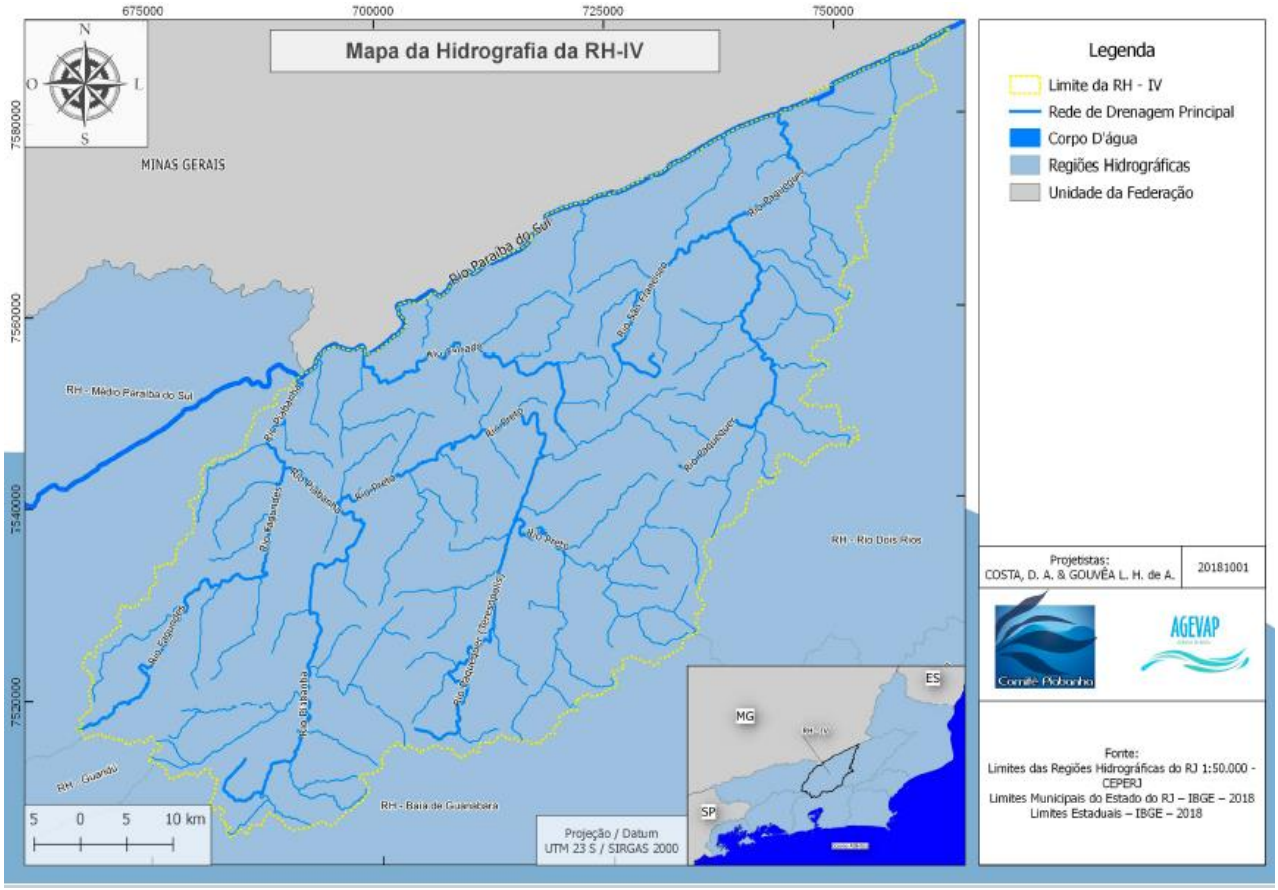
A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul compreende 184 municípios, distribuídos da seguinte forma: 39 em São Paulo, 57 no Rio de Janeiro e 88 em Minas Gerais. (CEIVAP, 2019).

Cerca de 14,2 milhões de pessoas são abastecidas pelas águas da bacia do rio Paraíba do Sul, sendo 8,7 milhões de habitantes somente da região metropolitana do Rio de Janeiro (CEIVAP, 2019).

Por ser uma área muito desenvolvida em nível nacional, existe a tendência do crescimento populacional no entorno desta bacia, o que é um dos fatores responsáveis pela degradação da qualidade das suas águas.

O rio Paraíba do Sul é formado da união dos rios Paraibuna e Paraitinga. Seus principais formadores da margem esquerda são os rios: Jaguari, Paraibuna, Pirapetinga, Pomba e Muriaé. Destacam-se pela margem direita os rios: Una, Bananal, Piraí, Piabanha e Dois Rios (Figura 9). O rio Piabanha tem cerca de 80 km de extensão e possui como principal afluente o rio Preto (MONTES *et al*., 2019). Na Figura 9 é possível verificar os principais rios dessa RH.

Figura 9 – Principais rios da RH-IV - Rio Piabanha.

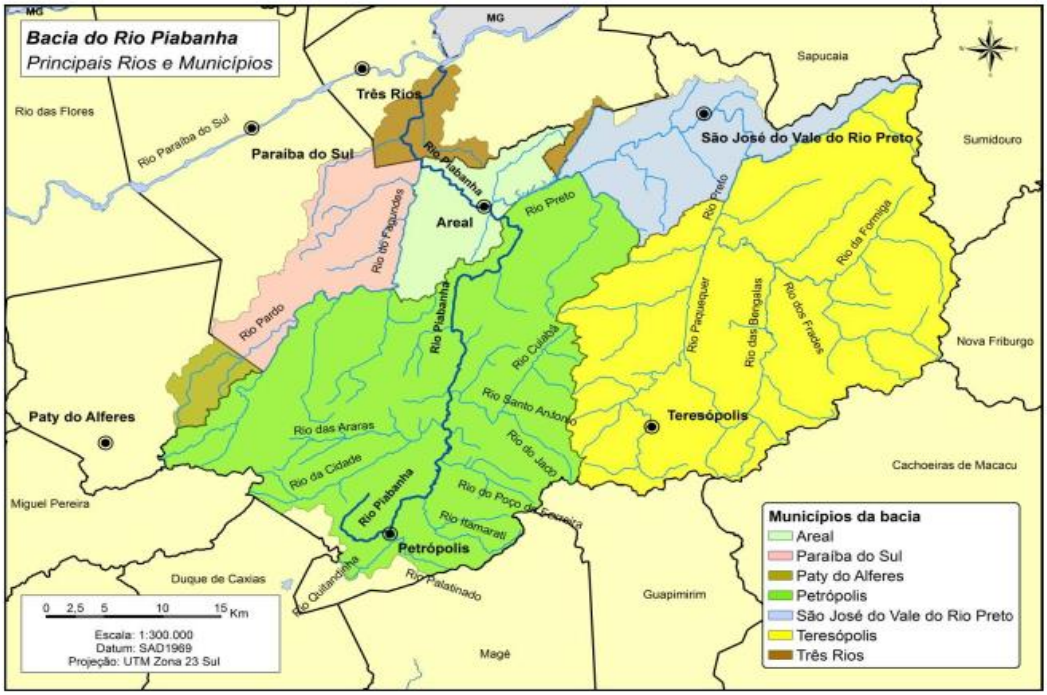



Fonte: Montes *et al*. (2019).

A bacia hidrográfica do rio Piabanha está localizada no Rio de Janeiro. Compreende os municípios de Areal, Paraíba do Sul, Paty do Alferes, Petrópolis, São José do Vale do Rio Preto, Teresópolis e Três Rios (Figura 10), possuindo área de drenagem de cerca de 2.050 km² (ARAÚJO *et al*., 2007).

O nome desta importante sub-bacia do rio Paraíba do Sul é originado de um peixe presente nessa região, o peixe Piabanha (*Brycon insignes*), que é raro e corre perigo de extinção (MOLINARI, 2015).

Figura 10 – Localização político-administrativa da Bacia do Rio Piabanha.




Fonte: De Paula (2011).

A bacia representativa escolhida para este estudo localiza-se inteiramente em Petrópolis. A fundação de Petrópolis remonta ao período imperial, quando Dom Pedro I conheceu a região e comprou propriedade para construir uma de suas residências. Até então o local era um povoado colonial. Em 1857 foi elevada à condição de município e cidade (MONTES *et al*., 2019).

Petrópolis possui 5 (cinco) distritos e a estimativa de população do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2020 é de 306.678 habitantes, sendo a maior parte morando nas áreas urbanas do município, principalmente no distrito-sede (IBGE, 2020).

## 2.1 **Características da vegetação e relevo**

A bacia do rio Piabanha apresenta montanhas, vales, rios, com presença de diferentes espécies de fauna e flora. Considerando todas as sub-bacias formadoras do rio Paraíba do Sul, esta bacia é a que apresenta o maior percentual de cobertura florestal, estimado em mais de 20 % de seu território, contando com expressivos remanescentes de Mata Atlântica (INEA, 2020c).

Essa particularidade é devida à existência de diferentes Unidades de Conservação (UCs) ao longo da bacia do Piabanha. De acordo com o INEA (2020c), na região estão localizadas as seguintes UCs: Reserva Biológica de Araras, Reserva Biológica do Tinguá, Parque Estadual dos Três Picos, Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO), Área de Proteção Ambiental (APA) da Bacia do Rio dos Frades, APA da Floresta do Jacarandá e APA de Petrópolis.

Ressalta-se que Petrópolis é a cidade banhada pelo rio Piabanha que possui o maior percentual relativo de território protegido, pois abriga integralmente uma Reserva Biológica, uma Área de Proteção Ambiental e parte de um Parque Nacional. Este fato merece destaque, pois auxilia a proteção das nascentes do rio Piabanha e de alguns afluentes, uma vez que alguns se encontram dentro destas áreas protegidas (DE PAULA, 2011).

Mesmo tendo grande parte do seu território coberta com florestas, as vegetações predominantes na bacia do Piabanha são os campos e pastagens, função do histórico da ocupação da região, que era caracterizada pela monocultura do café e criação de gado para corte. Com isso, atualmente, a região apresenta grandes processos erosivos. É observada ainda a ocorrência de queimadas, devido ao tipo da cobertura vegetal predominante (MONTES *et al*., 2019).

Em relação ao relevo, de modo geral, a bacia do Piabanha é montanhosa e acidentada no curso médio e superior do rio, com afloramentos rochosos e altitudes superiores a 2.000 m. O domínio montanhoso ocupa aproximadamente 50 % da bacia e o domínio de Pães de Açúcar e Morros Elevados ocupa mais de 17 % da área, somando, portanto, mais de 67 % da bacia caracterizada como de áreas montanhosas (DE PAULA, 2011).

Também são observadas as planícies fluviais ao longo do curso do Piabanha, que ocupam cerca de ¼ da área da bacia e as Colinas, sendo que essa última feição ocupa 7,3 % da área e domina a parte baixa da bacia (DE PAULA, 2011).

## 2.2 **Caracterização do regime climático e pluviométrico**

A bacia do rio Piabanha é dominada pelo clima tropical úmido de altitude e apresenta como característica grande pluviosidade, devido a fatores como mecanismos dinâmicos de massas de ar polares, oceânicas, linhas de instabilidade e fatores orográficos (DE PAULA, 2011).

Devido ao fator orográfico, as temperaturas médias anuais variam entre 18 e 19ºC (AGEVAP, 2019).

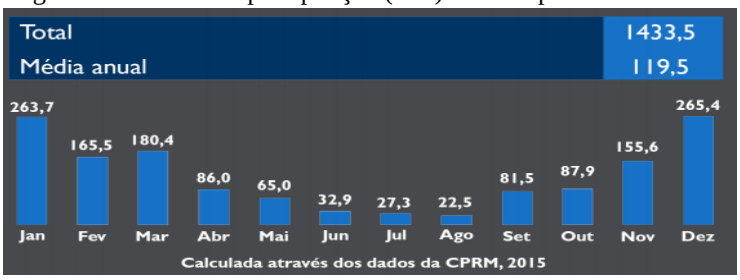
Nas regiões de encostas íngremes, observa-se que a pluviosidade média anual é superior a 2.500mm, como observado em Petrópolis e Teresópolis. Nas altitudes superiores a 2.000m, podem ocorrer temperaturas negativas e geadas. Já próximo a Areal e São José do Rio Preto, a média pluviométrica anual é quase a metade da apresentada na região serrana, com períodos secos e déficits hídricos maiores. É perceptível a influência orográfica na distribuição pluviométrica da região (LOU, 2010).

Tratando-se da distribuição sazonal da precipitação, é observado que o período chuvoso ocorre entre novembro e março, o mês mais seco é julho e que as chuvas tornam a ocorrer a partir de agosto (LOU, 2010).

De forma geral, a RH-IV tem precipitação anual da ordem de 390 a 3000 mm ano$^{-1}$, considerando-se uma série histórica de 1977 a 2006 (MONTES *et al*., 2019).

Em Petrópolis em 2015, por exemplo, a precipitação anual foi de 1.433,5 mm, em que os meses de maior pluviosidade foram os de verão (Figura 11), cujas precipitações corresponderam a quase 50% do total do ano. No trimestre mais seco, referente a junho a agosto, corresponde a 6% do total das chuvas em 2015.

Figura 11 – Média da precipitação (mm) de Petrópolis.




Fonte: Montes *et al.* (2019).

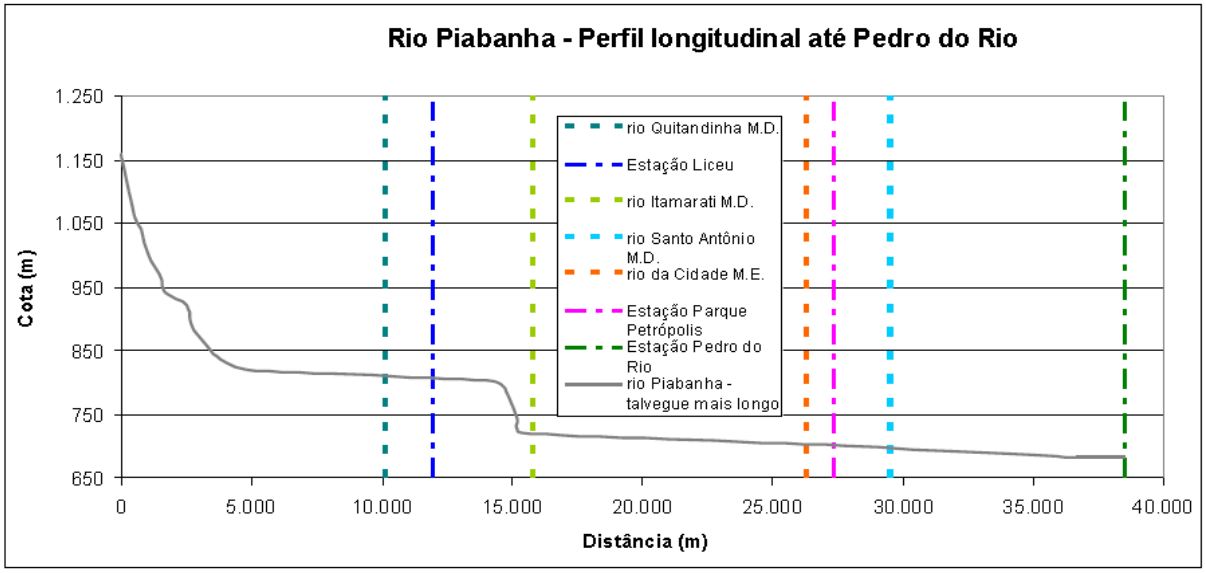
## 2.3 **Hidrografia**

O rio Piabanha nasce na Serra do Mar e possui cerca de 80 km de extensão e seu curso se estende por Petrópolis, onde está localizada sua cabeceira, Areal e Três Rios. Já o seu principal contribuinte, o rio Preto que, assim como seu mais conhecido afluente - o rio Paquequer, nasce na Serra dos Órgãos e possui 75 km de curso, banha Teresópolis e São José do Vale do Rio Preto (MONTES *et al*., 2019).

O rio Piabanha corta o centro histórico de Petrópolis, passa pelos bairros Mosela, Bingen, Cascatinha, Corrêas, Nogueira, Itaipava, Pedro do Rio e Posse (PETRÓPOLIS, 2014).

Abaixo na Figura 12, é possível verificar o perfil longitudinal do rio Piabanha até a estação de monitoramento da qualidade da água de Pedro do Rio, sendo possível verificar a grande declividade do terreno ao longo desse percurso (ARAUJO, 2016).

Figura 12 – Perfil longitudinal do rio Piabanha.



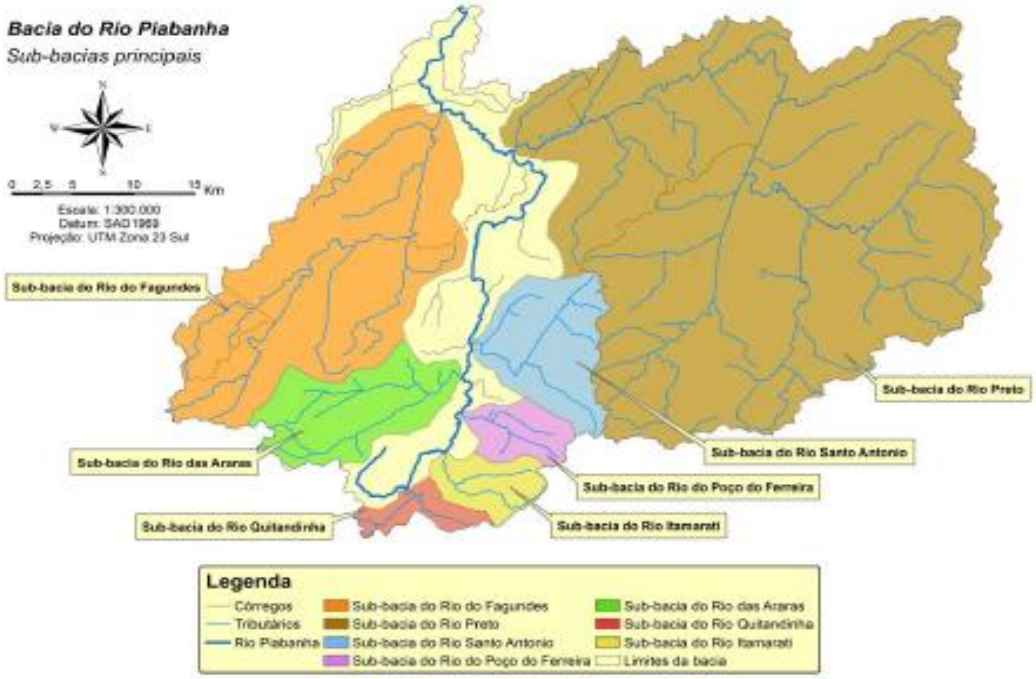

Fonte: Araújo (2016).

Ainda na Figura 12, é possível observar que existe uma queda de cerca de 100 metros antes do rio Itamaraty, que coincide com um trecho encachoeirado (ARAUJO, 2016).

Devido ao relevo montanhoso e acidentado, grande parte dos cursos dos rios da bacia do Piabanha é do tipo encaixado com grandes declividades. Isso faz com que os níveis de água se alterem facilmente em decorrência de evento chuvoso (VILLAS BOAS, 2018).

A bacia hidrográfica do rio Piabanha é composta de sete sub-bacias (Figura 13) que diferem entre si em aspectos como dimensão, ocupação e disponibilidade hídrica.

Figura 13 – Sub-bacias da Bacia do Rio Piabanha.




Fonte: De Paula (2011).

Segundo De Paula (2011), seguem as principais características de cada sub-bacia do rio Piabanha:

a) Sub-bacia do rio Preto: é a maior sub-bacia do Piabanha. Está inserida em Teresópolis e São José do Vale do rio Preto, com área de drenagem de 1.053 km² e que, devido à sua localização, sofre influência da ocupação urbana e das atividades industriais na qualidade de suas águas. A região também possui uma usina hidrelétrica e uma PCH;
b) Sub-bacia do rio Fagundes: é a segunda maior em extensão e possui 364 km. A ocupação dessa área é na maior parte rural e com alguns núcleos urbanos. É também observada uma usina hidrelétrica instalada na região.
c) A sub-bacia do rio Santo Antônio possui área de drenagem de 106 km².
d) Sub-bacia do Poço do Ferreira: possui área de drenagem de 39 km² e tem como contribuintes os rios do Bonfim e Mata Porcos. É caracterizada basicamente pela ocupação rural, com presença de pastagens e lavouras.
e) Sub-bacia no rio Araras: tem extensão de aproximadamente 111 km² e banha uma região dominada por áreas preservadas, o que impacta de forma positiva na qualidade da água do rio Piabanha nesse trecho. Localiza-se nessa sub-bacia a Reserva Biológica de Araras.

f) Sub-bacias dos rios Quitandinha e Itamarati: com ocupação predominantemente urbana, as sub-bacias dos rios Quitandinha (27 km² de área de drenagem) e Itamarati (40 km²) são localizadas em Petrópolis, onde grande parte da população do entorno não possui saneamento básico, o que impacta negativamente na qualidade da água do Piabanha nesse trecho.

## 2.4 **Uso e ocupação do solo**

Tratando-se do uso e cobertura do solo da RH-IV, o território apresenta: 1,44 km² de áreas com culturas permanentes, 231 km² de culturas temporárias, 1.507 km² de pastagens, 4,8 km² de plantios de silvicultura, 15,3 km² com águas continentais, 1.535 km² de florestas, 68,5 km² de áreas descobertas e 3,17 km² de áreas urbanizadas (MONTES *et al*., 2019). Essas informações estão reunidas na Tabela 6, a seguir.

Tabela 5 – Dados de uso e ocupação do solo de Petrópolis.

| **Ocupação do solo** | **% de ocupação do solo** |
|---|---|
| Antrópicas agrícolas | 23,70 |
| Antrópicas não agrícolas | 7,34 |
| Naturais florestadas | 59,87 |
| Naturais não florestadas | 8,30 |
| Silvicultura | 0,57 |
| Lâminas d'água | 0,23 |

Fonte: Montes *et al*. (2019).

Pode-se verificar a partir dos dados da Tabela 5 que Petrópolis apresenta, em mais da metade de seu território, grande cobertura vegetal. Isso ocorre principalmente na região da sub-bacia do rio Araras, uma área que apresenta características de preservação. No entanto, é verificada a interferência antrópica nas regiões próximas ao Centro, nas sub-bacias do rio

Quitandinha e de seu afluente Palatinato, o que reflete na qualidade da água ao longo da bacia, como será vista a seguir.

Petrópolis constitui-se como polo regional na Região Serrana, principalmente relacionado ao setor industrial, com destaque na indústria de confecção (malhas), além das indústrias de alimentos e bebidas (captação de água mineral), e atração de entidades de base tecnológica (MARAFON *et al*., 2011).

Em relação às atividades agrícolas, devido às condições físicas e ambientais do território, tais como relevos acidentados, chuvas intensas, erosão de encostas, ausência de atividades de conservação do solo, aliadas ao uso abusivo de agrotóxicos e fertilizantes, afetam a qualidade ambiental, atingindo o solo e corpos hídricos, principalmente por meio da lixiviação (DE PAULA, 2011).

## 2.5 **Principais problemas ambientais da bacia do rio Piabanha**

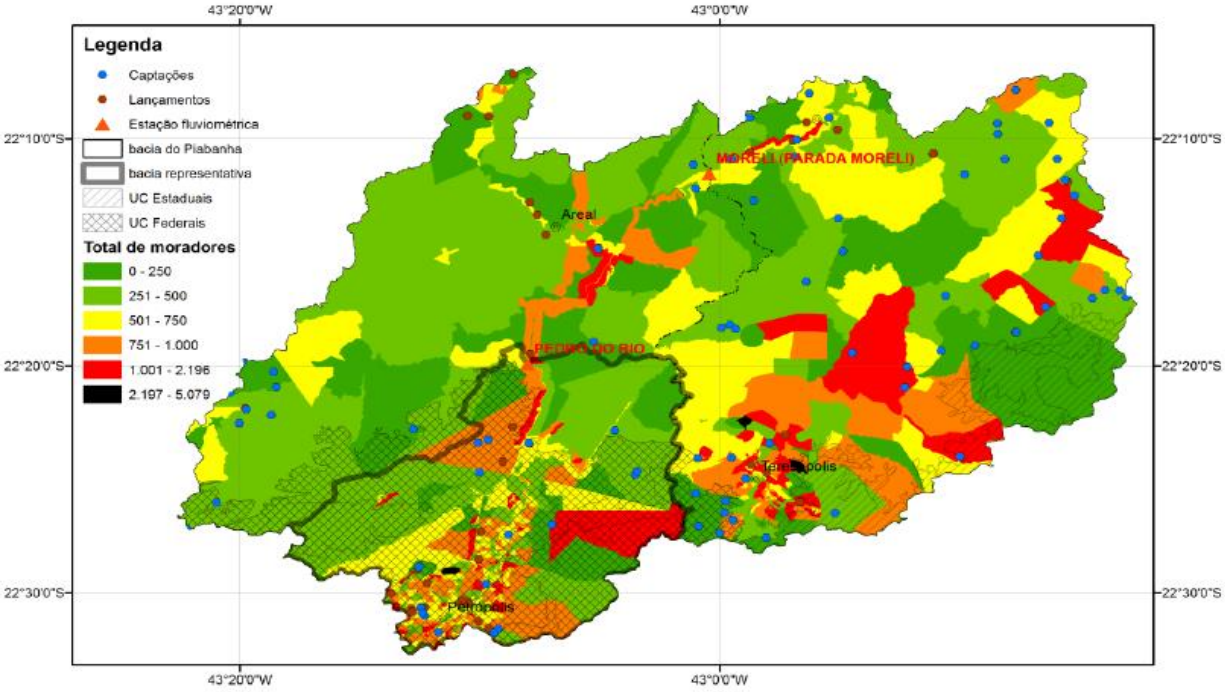
Como principais impactos ambientais encontrados nesta bacia, o INEA (2020c) lista: ocupação irregular e movimentação de terras em áreas de preservação permanente; despejo de efluentes domésticos e industriais *in natura* em corpos hídricos, principalmente, nas áreas de ocupação urbana; desmatamento dos remanescentes da Mata Atlântica; caça predatória; presença de grande número de indústrias e áreas de agricultura, essas últimas responsáveis pela erosão do solo e degradação da qualidade da água, aliada ao uso urbano; uso de agrotóxicos na área rural e realização de queimadas.

Por ser próxima à cidade do Rio de Janeiro, a região onde está localizada a bacia do rio Piabanha foi induzida a crescimento urbano desordenado, o que é um fator a ser considerado na avaliação da qualidade ambiental do local. Nas áreas de ocupação rural é possível observar que os cultivos ocorrem em desacordo com as declividades do terreno, com uso abusivo de insumos agrícolas e uso indiscriminado da água (ARAÚJO, 2016).

A forma como a população se distribui ao longo da bacia é possível observar por meio dos setores censitários, em função dos dados do último Censo Demográfico, ocorrido em 2010. Araújo (2016) representou os dados de população total por setor deste censo, e os de lançamento e captações cadastradas no sistema da ANA de 2012, o Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos – CNARH, no mapa a seguir.

Com o mapa da Figura 14, é possível observar que existe grande ocupação humana em áreas de unidades de conservação, o que reflete o planejamento urbano inadequado, além da elevada ocupação irregular junto aos limites da bacia, que são as regiões que apresentam declividade acentuada e são propícias aos movimentos de massa (ARAÚJO, 2016).

Figura 14 – Distribuição da população em setores censitários, com a localização dos pontos de captações de água e de lançamento de efluentes na bacia do Piabanha.




Fonte: Araújo (2016).

Em relação à vulnerabilidade de Petrópolis, o Atlas Piabanha (MONTES *et al*., 2019) confirma que o território apresenta alto percentual de taxa de vulnerabilidade em relação a erosão no seu território, de forma geral. Já na área urbana, em relação à vulnerabilidade, o problema são as inundações já que grande parte da população pertence a esta área.

Outro problema constante da bacia do rio Piabanha é a questão das inundações e ocorrência de enxurradas, que também afetam a qualidade das águas, principalmente na região do limite da bacia representativa.

Os sedimentos e resíduos que são carreados para os cursos hídricos acabam por também afetar as questões de inundações, uma vez que provocam assoreamento dos leitos dos rios e, consequentemente, reduzem sua profundidade. Outro ponto importante é a presença de usinas hidrelétricas, barragens e outras obras hidráulicas, que alteram completamente o regime hidrossedimentológico da região (DE PAULA, 2011).

Vale dizer que durante o período de monitoramento deste trabalho (2009 a 2017), ocorreram na região serrana 2 (dois) grandes desastres naturais, um em 2011, que ficou conhecido como mega desastre da região serrana e outro somente em Petrópolis e entorno em 2013. Em acréscimo, ocorreu ainda um período de estiagem prolongada entre os anos de 2013 e 2015 (ARAÚJO, 2016).

Numericamente, como mostrado na Tabela 7, é possível verificar as seguintes informações, referentes à captação de água e ao lançamento de esgoto registrados na sub-bacias que banham a região de Petrópolis:

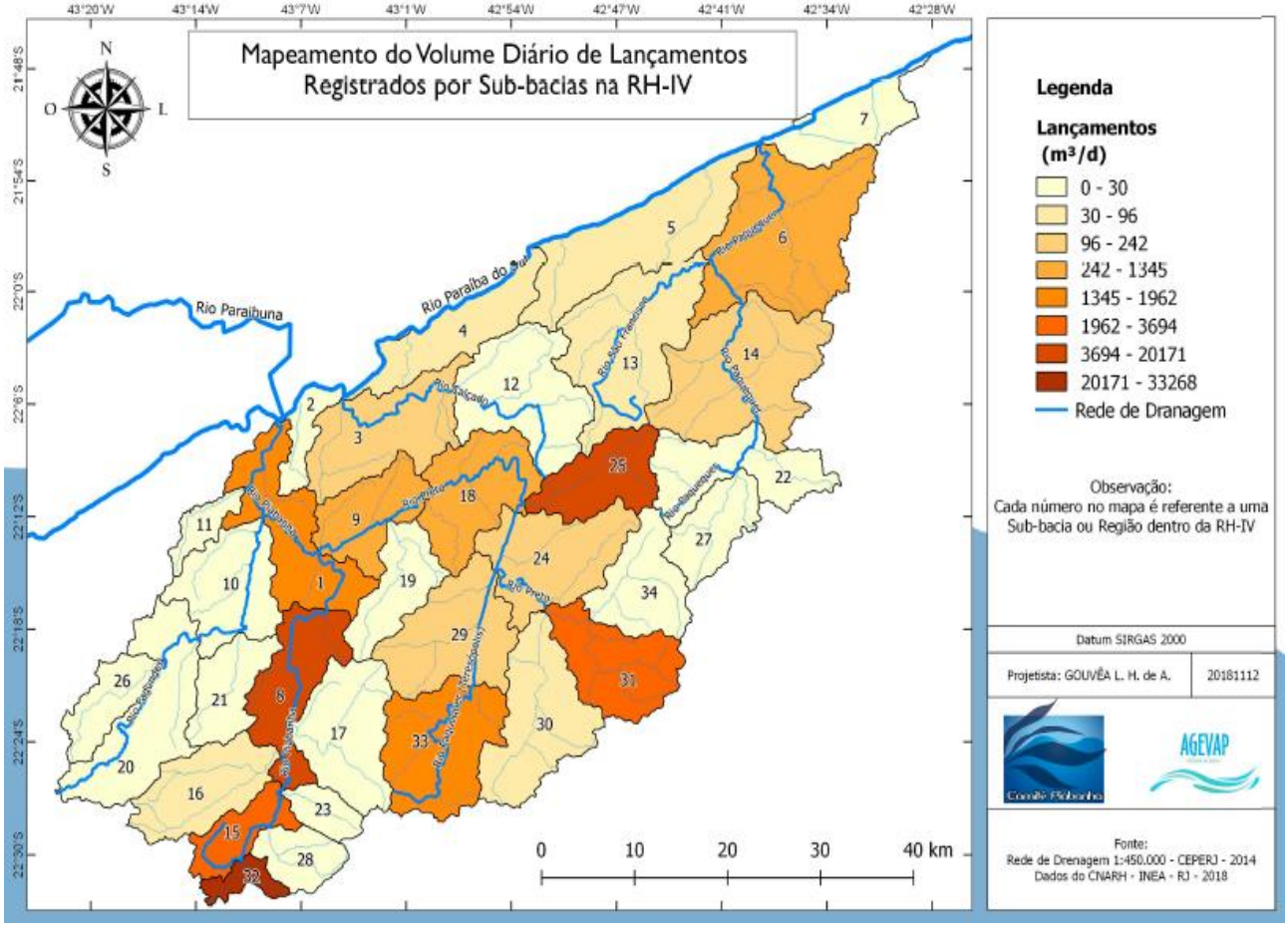
Tabela 6 – Interferências nas sub-bacias que banham Petrópolis.

| ***Sub-bacia*** | ***Pontos de captação*** | | ***Pontos de lançamento de esgoto*** |
|---|---|---|---|
| | ***Superficial*** | ***Subterrânea*** | |
| Rio Bonito | - | 1 | - |
| Rio da Maria Comprida | 4 | 2 | - |
| Rio das Araras | 9 | 23 | 2 |
| Poço do Ferreira | 3 | - | - |
| Rio Itamarati | 5 | 7 | - |
| Rio Pardo | - | - | - |
| Rio Quitandinha e Palatino | 6 | 72 | 5 |
| Rio Santo Antônio | 1 | 16 | 1 |
| Alto Rio Fagundes | - | - | - |
| Alto Rio Paquequer (Teresópolis) | 11 | 55 | 8 |
| Alto Rio Piabanha | 31 | 66 | 19 |
| Baixo Rio Fagundes | 1 | 6 | 1 |
| Baixo Rio Paquequer (Teresópolis) | 4 | 4 | 2 |
| Baixo Rio Piabanha | 13 | 15 | 12 |
| Baixo Rio Preto | 4 | 9 | 7 |
| Médio Rio Piabanha | 11 | 76 | 11 |

Fonte: Montes *et al.* (2019).

É verificado na Figura 15, a seguir, o volume diário de efluentes lançados nos cursos d'água, tratados ou não nas sub-bacias da RH-IV.

Figura 15 – Mapa de volume diário de lançamento de efluentes na RH-IV, tratados e não tratados.




Legenda : 1 – Região do baixo rio Piabanha; 2 – Região do córrego Floresta; 3 – Região do rio Calçado; 4 – Região do córrego Manuel Parente; 5 – Região do córrego Fundão; 6 – Região do baixo rio Paquequer; 7 – Região do córrego Recreio; 8 – Região do médio Pìabanha; 9 – Região do baixo rio Preto; 10 – Região do baixo rio Fagundes; 11 – Bacia do córrego Cascatinha; 12 – Região do alto rio Calçado; 13 – Bacia do rio São Francisco; 14 – Região do médio rio Paquequer; 15 – Região do alto rio Piabanha; 16 – Bacia do rio Araras; 17 – Bacia do rio Santo Antônio; 18 – Região do médio rio Preto; 19 – Bacia do rio Bonito; 20 – Região do alto rio Fagundes; 21 – Bacia do rio da Maria Comprida; 22 – Região do alto rio Paquequer; 23 – Bacia do rio Poço do Ferreira; 24 – Região do alto rio Preto; 25 -Bacia do rio do Campim ou do Pião; 26 – Bacia do rio Pardo; 27 – Bacia do rio Santo André; 28 – Bacia do rio Itamarati; 29 – Região do baixo rio Paquequer (Teresópolis); 30 – Bacia do rio Bengalas; 31 – Bacia do rio dos Frades; 32 – Bacia do rio Quitandinha e Palatinato; 33 – Região do alto rio Paquequer (Teresópolis) e 34 – Bacia do rio Formiga.

Fonte: Montes *et al.* (2019).

Pode-se observar que a área que corresponde à parte mais central de Petrópolis (região de nº 32, Figura 15) apresenta grande volume de lançamento de efluentes, sendo o maior valor da RH, o correspondente à bacia do Quitandinha com seu afluente Palatinato.

Comparando-se os pontos de lançamento de efluentes tratados e não tratados apresentados na Figura 15, com os listados na Tabela 6, é possível perceber que existe uma grande diferença entre o que é registrado, como mostrado na Tabela 6, e a ocorrência do lançamento de carga poluidora, vista na Figura 15. Esse fato pode ter origem nos lançamentos de efluentes sem tratamento do corpo hídrico, o subdimensionamento do sistema de

tratamento na região principalmente central da cidade ou ainda o não registro desses pontos de lançamento junto ao órgão ambiental competente.

Na região de Petrópolis é possível observar a ocupação ao longo da faixa marginal do rio, com presença de domicílios, comércios e indústrias, áreas de erosão, além de lançamentos de efluentes sem tratamento adequado em diversos pontos e da disposição inadequada de resíduos sólidos.

Cabe ressaltar que o aumento populacional da região leva ao consequente aumento no consumo de água e geração de esgoto, o que causa impactos sobre as questões de saneamento básico, principalmente pelo subdimensionamento das redes coletoras, uma vez que o saneamento básico em geral não acompanha o crescimento da população. Em relação às indústrias, as suas implantações também colaboram com o processo de urbanização, além das atividades que em si potencialmente representam interferências na qualidade ambiental.

Segundo De Paula (2011), em seções do rio próximas ao centro de Petrópolis são observados baixos níveis de lâmina d'água e vazão dos rios, o que pode influenciar diretamente na qualidade da água uma vez que há menor volume para diluição dos efluentes, principalmente nas épocas de estiagens.

Mesmo com grande índice de realização de tratamento de efluentes em Petrópolis, a RH-IV de forma geral apresenta baixo percentual de tratamento.

Dessa forma, diversas atividades antrópicas e processos ambientais influenciam na qualidade ambiental da bacia do rio Piabanha e, portanto, faz-se necessário avaliar a situação da qualidade da água dessa bacia.

## 2.6 **Monitoramento da qualidade da água e o Projeto EIBEX**

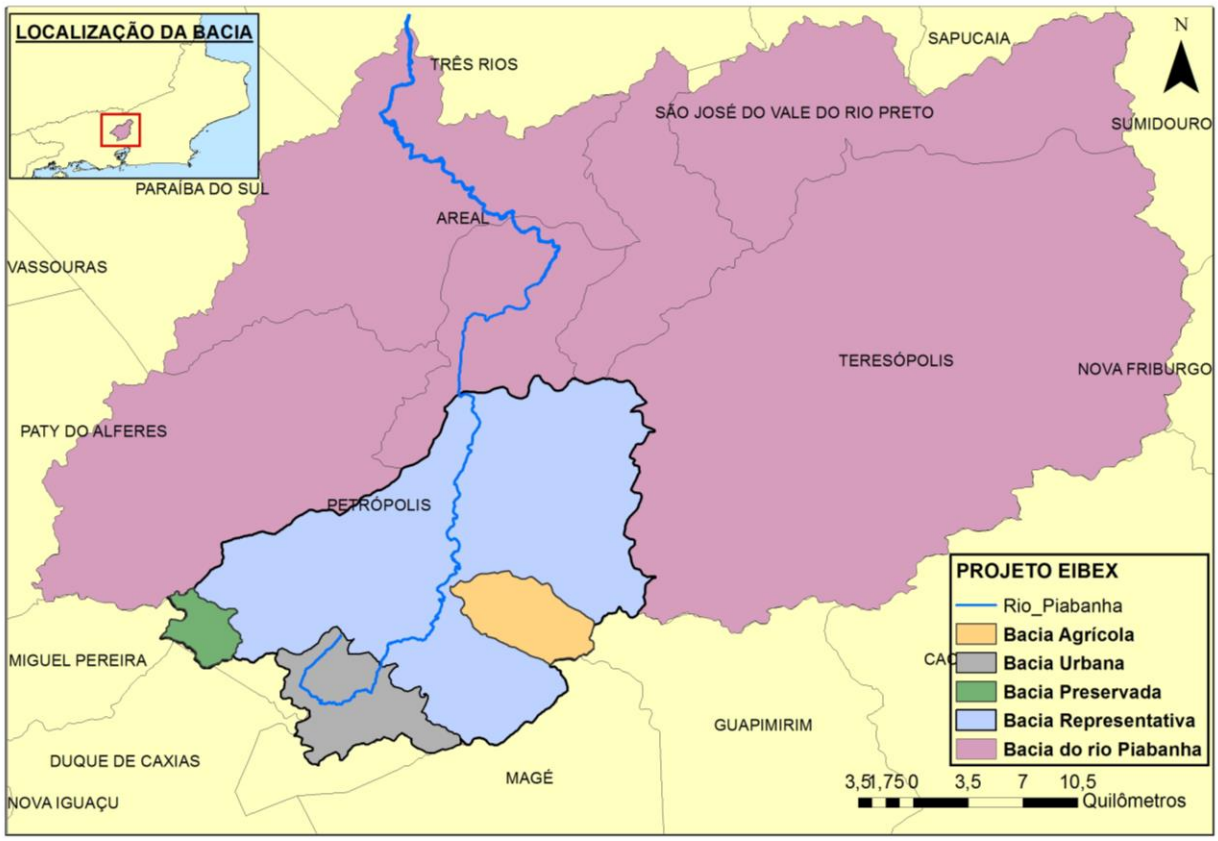
O SGB/CPRM monitora desde dezembro de 2006 a bacia representativa do Piabanha em suas bacias experimentais, em função do "Projeto EIBEX-I - Estudos Integrados de Bacias Experimentais – Parametrização Hidrológica na Gestão de Recursos Hídricos das Bacias da Região Serrana do Rio de Janeiro", que propiciou a adoção da área como bacia-escola (VILLAS BOAS *et al.*, 2011a).

Escolheu-se a área da bacia representativa do rio Piabanha por ser próxima aos centros de pesquisa (até 100 km) e por apresentar alguns problemas ambientais comuns aos corpos hídricos do estado Rio de Janeiro, tais como: saneamento básico, erosão, assoreamento e

poluição. A principal função do projeto é que a bacia representativa e as experimentais do Piabanha operem como um laboratório, em escala de bacia hidrográfica e que seja possível a realização de testes de equipamentos, aquisição de dados, execução de modelos, entre outras (ARAÚJO, 2016).

Na Figura 16 é possível verificar a localização da bacia representativa e das experimentais do rio Piabanha:

Figura 16 – Mapa de localização das bacias representativa e experimentais do rio Piabanha.




Fonte: CPRM (2021).

Com o intuito de usar os dados obtidos no processo de gestão de recursos hídricos na bacia do Piabanha, um dos critérios para delimitação da bacia representativa era que a mesma pudesse ter uso do solo e cobertura vegetal semelhantes à bacia principal, para que as metodologias estudadas pudessem ser extrapoladas para a bacia toda. Foi verificado que a bacia do Piabanha apresentada três usos principais, sendo áreas urbanas, agrícolas e de mata preservada, critérios escolhidos para a adoção das bacias experimentais. A bacia preservada tem a função de poder comparar os dados das outras experimentais, para verificação dos possíveis impactos. A facilidade de acesso e proximidade com redes de monitoramento

existentes também foram levados em conta nesse processo de delimitação de áreas (MASCARENHAS, 2007).

Segundo Villas Boas *et al*. (2011a), a escolha da bacia representativa do Piabanha, que é cerca de cinco vezes menor que a bacia principal de mesmo nome, se deu em função das características de uso do solo e vegetação. Dentro desta, encontram-se três bacias experimentais, como verificado na Tabela 8:

Tabela 7 – Dimensão das bacias de estudo comparadas com a bacia principal do rio Piabanha.

| ***Bacia*** | ***Tipo da bacia*** | ***Tamanho (km²)*** |
|---|---|---|
| Piabanha | Principal | 2050 |
| Piabanha | Representativa | 400 |
| Área preservada | Experimental | 13 |
| Uso agrícola | Experimental | 30 |
| Uso urbano | Experimental | 47 |

Fonte: Adaptado de Villas Boas *et al*.(2011a).

O monitoramento da rede de qualidade da água do SGB/CPRM teve início em agosto de 2009, inicialmente com campanhas mensais de coleta de água e, a partir de 2010, com amostragens bimestrais. A estação Rocio começou a operar somente no ano de 2010.

Em cada estação de coleta são analisados cerca de 30 parâmetros de qualidade de água pela Rede de Laboratórios de Análises Minerais (LAMIM) e por laboratório contratado. Ainda são realizadas medições *in situ* por meio da utilização de sondas multiparamétricas.

Os parâmetros analisados no projeto dessa rede de monitoramento são (VILLAS BOAS, 2018):

a) LAMIM: alumínio (Al), antimônio (Sb), arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo total (Cr), condutividade elétrica (CE) a 20ºC, estanho (Sn), ferro (Fe), fosfato total ($PO_4^{-3}$), manganês (Mn), níquel (Ni), nitrato ($NO_3^-$), nitrogênio amoniacal total ($NH_4^+$), pH, prata (Ag), selênio (Se), sólidos em suspensão, sulfato ($SO_4^{-2}$), turbidez (Tb) e zinco (Zn);
b) Laboratório externo: DBO, DQO, organoclorados (SVOC), organofosforados, carbamatos, coliformes fecais (CF) e coliformes totais (CT);

c) Sondas multiparamétricas: temperatura (T), pH, condutividade elétrica (CE) e oxigênio dissolvido (OD).

A continuação deste monitoramento até os dias atuais é propiciada pelo projeto institucional do SGB/CPRM, chamado “EIBEX − Estudos em Bacias Experimentais e Representativas”, onde a mesma aporta recursos para garantir toda a operação da rede de monitoramento, que compreende a manutenção e aquisição de equipamentos, operação da rede com apoio de colaboradores de campo e administrativos, que adquirem e analisam os dados (ARAÚJO, 2016).

Segundo Araújo (2016), esse projeto abarca diversas instituições/órgãos, como Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), SGB/CPRM, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), INEA, Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Universidade Federal Fluminense (UFF) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

## 2.7 **Tratamento de efluentes**

De acordo com MONTES *et al.* (2019), na Tabela 9 seguem as informações sobre o tratamento de esgoto nos municípios que compõem a RH-IV.

Em relação as informações apresentadas na Tabela 9, os dados de população atendida e não atendida por tratamento de esgotos foram calculados baseados no percentual de esgoto tratado e não tratado.

Pode-se verificar ainda na Tabela 9, apresentada a seguir, que a maior parte dos municípios desta região não apresentam tratamento adequado para seus efluentes, como é o caso de Sapucaia, a apresentar o pior índice de tratamento, com apenas 1,4 % de tratamento do esgoto produzido. No entanto, ao verificar a população atendida e não atendida pelo serviço, em número absoluto, verifica-se que o pior quadro de atendimento foi o de Teresópolis, município com a segunda maior população dessa RH, onde quase 110 mil habitantes não possuem tratamento de esgotos em suas casas.

Tabela 8 – Número de habitantes dos municípios da RH-IV, volume percentual de esgoto tratado e não tratado e população atendida da RH-IV.

| ***Município*** | ***População*** | ***Esgoto tratado (%)*** | ***População atendida*** | ***Esgoto não tratado (%)*** | ***População não atendida*** |
|---|---|---|---|---|---|
| Areal | 11.423 | 12,7 | 1.451 | 87,3 | 9.972 |
| Carmo | 17.434 | 4,4 | 767 | 95,6 | 16.667 |
| Paraíba do Sul | 41.084 | 2,5 | 1.027 | 97,5 | 40.057 |
| Paty do Alferes | 26.359 | 20,6 | 5.430 | 79,4 | 20.929 |
| Petrópolis | 295.917 | 81,4 | 240.876 | 18,6 | 55.041 |
| São José do Vale do Rio Preto | 20.251 | 19,9 | 4.030 | 80,1 | 16.221 |
| Sapucaia | 17.525 | 1,4 | 245 | 98,6 | 17.280 |
| Sumidouro | 14.900 | 10 | 1.490 | 90 | 13.410 |
| Teresópolis | 163.746 | 32,9 | 53.872 | 67,1 | 109.874 |
| Três Rios | 77.432 | 20,8 | 16.106 | 79,2 | 61.326 |

Fonte: Adaptado de Montes *et al.* (2019)

Embora Petrópolis possua o maior percentual de tratamento de esgotos dentre os municípios da RH-IV (81,4 % - Tabela 9), quando analisada a população não atendida pelo serviço, o município passa ocupar o terceiro lugar dessa RH. Vale observar ainda que Petrópolis é a cidade mais populosa desta RH, com quase o dobro de população de Teresópolis. O tratamento de esgotos domésticos em Petrópolis é realizado pela Concessionária Águas do Imperador e o sistema é formado por um conjunto de ETEs, biodigestores, biossistemas, coletores troncos, estações elevatórias de esgoto, ligações prediais e interceptores (PETRÓPOLIS, 2014).

O sistema de tratamento de efluentes de Petrópolis é composto pelas estações de tratamento: Quitandinha, Palatinato, Piabanha, Posse, Corrêas, além de outras menores como Granja Brasil, Rodoviária e Unimed (ÁGUAS DO IMPERADOR, 2019).

De acordo com os dados da Águas do Imperador (2019), seguem informações sobre as ETEs principais do sistema de Petrópolis:

a) ETE Quitandinha: localizada no Centro e com capacidade de tratar 243 L $s^{-1}$, atendendo cerca de 70 mil pessoas. Possui tratamento preliminar e secundário (biofiltros aerados submersos, decantador secundário de alta

taxa e adensador de lodo), com ciclo automatizado. Foi inaugurada em 2007.

b) ETE Palatinato: localizada em Morin, atende cerca de 65 mil habitantes e trata aproximadamente 160 L $s^{-1}$ de efluente. Projetada para atender os bairros do Centro, Alto da Serra e Morin. Seu tratamento é primário e secundário, com gradeamento, caixa desarenadora, reator anaeróbico de fluxo ascendente, tanque biodidrum, decantador secundário e canal de desinfecção. Foi inaugurada no ano de 2000.
c) ETE Piabanha: também localizada no Centro, possui capacidade de tratar 125 L $s^{-1}$ de esgoto e atende a 30 mil pessoas. Seu tratamento é composto pela fase preliminar, com separador de lixo, areia e gordura, tanques anóxicos, tanques de MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*) e decantador. Sua inauguração foi em 2012.
d) ETE Posse: localizada no bairro de mesmo nome, atende 7.500 pessoas com uma vazão de 10 L $s^{-1}$. Possui tratamento preliminar, reator anaeróbico, biofiltro aerado e decantador secundário. Foi inaugurada no ano de 2012.
e) ETE Corrêas: localizada em Corrêas, atende população de 9 mil pessoas, com capacidade de tratamento de 15 L $s^{-1}$. Possui reator UASB, biofiltro aerado e decantador. Foi construída em 2014.

Aliadas a essas estações, existem outras unidades de tratamento de esgoto, biodigestores e biossistemas, nos bairros: Alto Independência, Bonfim, Siméria, Nogueira, Vila Ipanema, Córrego Grande, Vila Rica, Quarteirão Brasileiro, Caxambu e Morro do Gavião (ÁGUAS DO IMPERADOR, 2019).

Pode-se verificar que, no período em que começou o monitoramento das estações do Projeto EIBEX, começaram a operar as ETEs Unimed, Piabanha e Corrêas, sendo essas duas últimas, junto com a ETE Quitandinha, Palatinato e Posse, esta última localizada fora da bacia representativa, as maiores da região.

Na bacia experimental urbana, a ETE Unimed é localizada próxima à estação de monitoramento Esperança, que fica a montante da ETE Piabanha e próxima da estação de monitoramento do INEA do Piabanha, todas localizadas no rio Piabanha. A jusante da estação de monitoramento Morin, fica a ETE Palatinato, localizada na bacia do rio de mesmo nome que é afluente do rio Quitandinha. A ETE Quitandinha, está localizada na bacia do rio

Quitandinha que é afluente do rio Piabanha. Próximo ao divisor da sub-bacia do rio Palatinato com a bacia do rio Itamarati está localizado o sistema Caxambu que lança seu efluente em córrego sem denominação oficial já da bacia do rio Itamarati. A montante da estação de monitoramento Liceu, situa-se o sistema Quarteirão Brasileiro, que é o último antes de sair dessa área da bacia mais urbanizada.

Na bacia experimental preservada não se teve registro de presença de ETE ou biossistema e/ou biodigestor, há apenas captação de água para abastecimento.

Já na bacia experimental de uso agrícola, está localizado o sistema Bonfim próximo à estação de monitoramento de Poço Tarzan, última unidade de tratamento dessa sub-bacia.

Próximo ao exutório da bacia agrícola, mas a montante da sua confluência com o rio Piabanha, está localizada a ETE Corrêas, que foi a última a ser implantada na região. Está localizada em área com consolidada ocupação urbana, entre o Centro de Petrópolis e Itaipava.

Próximo a um afluente do rio da Cidade, na bacia preservada antes da confluência com o rio Araras, está localizado o sistema de Vale do Carangola.

Antes ainda de sair dessa bacia, encontram-se o sistema de Nogueira, que está localizado próximo ao SESC Nogueiras.

Próximo à estação de Parque Petrópolis está a ETE Granja Brasil, projetada para atender o condomínio de mesmo nome, localizado em Itaipava, município de Petrópolis.

A jusante de Parque Petrópolis encontra-se a estação de monitoramento de Santo Antônio, do INEA, no rio Santo Antônio, e quase no exutório da bacia representativa, o sistema de Vila Rica a montante da estação de monitoramento de Pedro do Rio.

Na região da estação Parque Petrópolis, na saída da bacia urbana até o caminho da estação Pedro do Rio, houve ao longo do tempo de monitoramento um aumento da ocupação urbana, inclusive com a construção de condomínios na região, o que acarreta em um aumento na geração de efluentes e sua respectiva necessidade de tratamento adequado.

Foi realizada consulta pública no site do INEA, referente a essas ETEs e biodigestores e biossistema de Petrópolis. Abaixo serão tratadas algumas das informações obtidas do sistema de tratamento localizado na bacia representativa de estudo.

Não foi possível encontrar informações sobre todos os biossistemas e biodigestores no órgão ambiental citado.

Foram verificados no sistema do INEA outros processos de licenciamento ambiental para outros sistemas de tratamento de efluentes em Petrópolis em nome da própria concessionária. No entanto, como não foi informado por ela em consulta para este trabalho,

não é possível saber se esses sistemas se encontram em operação ou não ou ainda se estão situados na área de estudo.

Cabe ressaltar ainda que devido a Lei Federal Complementar nº 140 de 2011 (BRASIL, 2011b), ocorreu mudança no processo de licenciamento ambiental, dando aos municípios competência para realização desse trâmite. Dessa forma, os processos verificados no sistema do INEA, podem ter sido redirecionados quando em solicitação de renovação de licença, em função do seu impacto para a Secretaria de Meio Ambiente de Petrópolis e, por isso, não foi possível encontrar dados atualizados. Dessa forma, todos os dados obtidos foram o que constavam no sistema do INEA, o que na verdade contempla o período desse trabalho, que compreende dados entre 2009 e 2017.

Abaixo serão descritas as características das maiores ETEs localizadas na bacia representativa do rio Piabanha, de acordo com informações do processo de licenciamento ambiental disponíveis para consulta pública no site do INEA.

A ETE Quitandinha possui tratamento do tipo secundário, e é capaz de tratar efluentes provenientes da bacia do Quitandinha, com eficiência média de remoção de DBO em torno de 72 %.

A ETE Piabanha está localizada no Centro de Petrópolis e possui tratamento em nível secundário. De acordo com o Relatório de Vistoria nº 1662/2015, o efluente tratado é oriundo da região do rio Mosela, residências e hospital localizados no entorno da ETE.

A ETE Palatinato realiza tratamento em nível secundário de efluentes do entorno dos rios Quitandinha e Palatinato, o que contempla os bairros do Centro, Alto da Serra e Morin, conforme sua licença de operação ambiental. Conforme informações disponíveis no processo de licenciamento, trata desde 2013 o chorume gerado no aterro de Pedro do Rio, por meio de um sistema que realiza um pré-tratamento na própria planta. Além disso, trata o efluente industrial oriundo da Cervejaria Cidade Imperial, também com um tratamento a parte.

A ETE Unimed está localizada na área do próprio hospital de mesmo nome, em área urbana de Petrópolis, e possui vazão média de 1 L $s^{-1}$ e seu tratamento é do tipo secundário, sendo operada pela também Concessionária Águas do Imperador.

A ETE Corrêas possui tratamento secundário, tratando parte do esgoto sanitário direcionado ao rio Piabanha na localidade de Corrêas. Nela ocorre remoção de cerca de 70 % da DBO.

A ETE Granja Brasil, projetada com tratamento secundário, e atende a uma população de cerca de 8 a 9 mil pessoas, com eficiência de remoção da DBO de cerca de 80 %, e vazão máxima projetada de 9 L $s^{-1}$.

O sistema de Nogueira, que é do tipo secundário, e possui vazão máxima projetada de 2 L $s^{-1}$. Possui licença de operação e atende a cerca de 2 mil pessoas com eficiência de remoção de DBO de cerca de 45Kg $dia^{-1}$.

# 3 **METODOLOGIA**

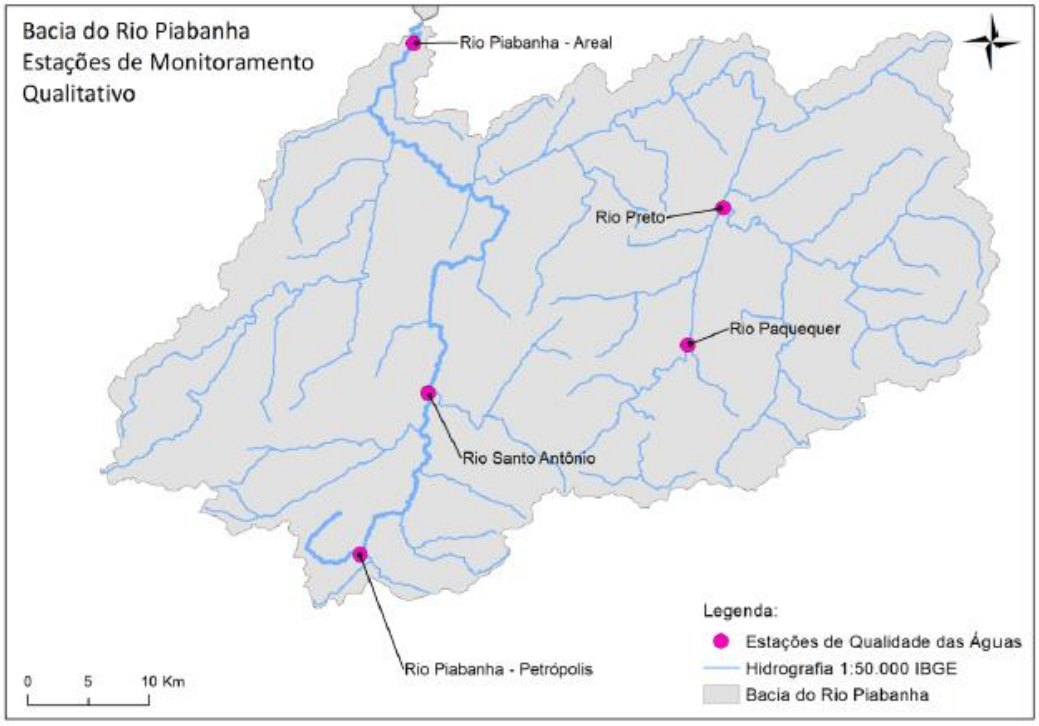
## 3.1 **Monitoramento da qualidade das águas na bacia do Piabanha**

Para a realização deste estudo, serão considerados dois conjuntos de dados de monitoramento de qualidade das águas na bacia do rio Piabanha: um do INEA, órgão ambiental competente, e outro do SGB/CPRM, que desenvolve estudos na mesma região.

### 3.1.1 Programa de Monitoramento Sistemático do INEA

Na Figura 17 é possível verificar as estações de monitoramento da qualidade da água do INEA localizadas na bacia do Piabanha.

Figura 17 – Mapa das estações de monitoramento da qualidade da água do INEA na bacia do Piabanha.




Fonte: Weinberg (2008).

No presente trabalho, serão utilizadas duas estações do Programa de Monitoramento Sistemático do INEA, uma no rio Piabanha e outra no Santo Antônio (Tabela 10), ambas localizadas na bacia representativa do rio Piabanha.

Tabela 9 – Estações de monitoramento do INEA na área de estudo e suas localizações.

| ***Estação*** | ***Código*** | ***Latitude*** | ***Longitude*** |
|---|---|---|---|
| Rio Piabanha | PB002 | 22º 30’ 14,08” S | 43º 10’ 57,14” O |
| Rio Santo Antônio | SA100 | 22º 23’ 12,49” S | 43º 08’ 02,09” O |

Fonte: INEA (2020a).

A estação do Piabanha, PB002, é situada na área mais urbanizada da bacia, no centro, a montante do ponto de confluência com o rio Quitandinha. Já a estação do rio Santo Antônio (SA100) está localizada em área um pouco menos urbanizada, onde esse processo ocorreu sem planejamento adequado e com ocupação humana ao longo das margens e ausência de proteção.

Os dados do monitoramento dessas estações, assim como das demais, são divulgados no site do próprio INEA (2020b) por meio de Boletins de Qualidade das Águas por Região Geográfica. Além dos dados brutos estarem disponíveis, é apresentado o $IQA_{NSF}$ por estação.

Os dados de qualidade da água das duas estações apontadas acima, para o período de 2009 a 2013, foram disponibilizados em planilha Excel pelo setor responsável pelo monitoramento no INEA.

Já os dados de 2014 até 2017 foram obtidos diretamente a partir da página do próprio INEA (2020b). Todos os dados foram compilados em planilha única no Excel, para facilitar o seu uso.

O Quadro 1, traz os parâmetros monitorados pelo INEA que serão considerados para os cálculos dos índices $IQA_{NSF}$ e $IQA_{CCME}$.

Quadro 1 – Parâmetros disponíveis para as estações de monitoramento do INEA e que serão utilizados para cálculo dos $IQA_{NSF}$ e do $IQA_{CCME}$ nas estações do INEA.

| ***IQA$_{NSF}$*** | ***IQA$_{CCME}$*** |
|---|---|
| DBO | DBO |
| Fósforo total | Fósforo total |
| Nitrato | Nitrato |
| OD | OD |
| pH | pH |
| Turbidez | Turbidez |
| Coliforme termotolerante | Coliforme termotolerante |
| Sólidos dissolvidos totais | - |
| Temperatura (água e ar) | - |
| - | Nitrogênio amoniacal |

Fonte: A autora (2020).

Em relação aos parâmetros apresentados no Quadro 1, ressalta-se que para o cálculo do $IQA_{NSF}$ são utilizados parâmetros estabelecidos, conforme método do índice. Já para o $IQA_{CCME}$, não foram considerados os sólidos dissolvidos totais, devido ao fato de o parâmetro ter se mantido dentro do limite legal em todas as campanhas, aliado ao fato de que em algumas campanhas para obtenção desse parâmetro utilizou-se a conversão da condutividade elétrica. Já a temperatura não foi empregada no cálculo do $IQA_{CCME}$, uma vez que esse parâmetro, na Resolução CONAMA nº 357/2005 correlaciona a temperatura com o lançamento de efluentes (BRASIL, 2005).

A Tabela 11 e a Tabela 12 trazem um resumo da quantidade de campanhas de monitoramento realizadas pelo INEA de 2009 a 2017 e que foram usadas nesse estudo, para a estação do rio Piabanha e de Santo Antônio, respectivamente.

Tabela 10 – Número e distribuição das campanhas de monitoramento do INEA no rio Piabanha (Estação PB002) durante o período estudado.

| ***Ano*** | ***Total de Campanhas por Mês*** | | | | | | | | | | | | ***Total de Campanhas*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ***01*** | ***02*** | ***03*** | ***04*** | ***05*** | ***06*** | ***07*** | ***08*** | ***09*** | ***10*** | ***11*** | ***12*** | |
| **2009** | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | | | | 4 |
| **2010** | | | 1 | | | 1 | | 1 | | 1 | 1 | | 5 |
| **2011** | 1 | 1 | 1 | | | | | | | 1 | | 1 | 5 |
| **2012** | 1 | | 2 | | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 12 |
| **2013** | 1 | 1 | | 2 | | 1 | | 1 | | 1 | 1 | | 8 |
| **2014** | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 5 |
| **2015** | | | | | | 1 | | | 1 | | 1 | | 3 |
| **2016** | | 1 | 1 | | | | | | 2 | | | | 4 |
| **2017** | | 1 | | | | | | | | | 1 | | 2 |
| ***Total Geral*** | | | | | | | | | | | | | **48** |

Fonte: A autora (2020).

Tabela 11 –Número e distribuição das campanhas de monitoramento do INEA no rio Santo Antônio (Estação SA100) durante o período estudado.

| ***Ano*** | ***Total de Campanhas por Mês*** | | | | | | | | | | | | ***Total de Campanhas*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ***01*** | ***02*** | ***03*** | ***04*** | ***05*** | ***06*** | ***07*** | ***08*** | ***09*** | ***10*** | ***11*** | ***12*** | |
| **2011** | | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| **2012** | | | | | | | | | 1 | | | | 1 |
| **2013** | | | | | | | | 1 | | 1 | | | 2 |
| **2014** | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 5 |
| **2015** | | | | | | 1 | | | 1 | | | | 2 |
| **2016** | | 1 | 1 | | | | | | 1 | | | | 3 |
| **2017** | | 1 | | | | | | | | | 1 | | 2 |
| ***Total Geral*** | | | | | | | | | | | | | **16** |

Fonte: A autora (2020).

### 3.1.2 Projeto EIBEX

No período de 2009 a 2017, segundo (VILLAS BOAS *et al.*, 2011b), a rede de monitoramento do SGB/CPRM contava com as seguintes estações de monitoramento, como verificado na Tabela 13:

Tabela 12 – Localização das estações de monitoramento do SGB/CPRM na área de estudo.

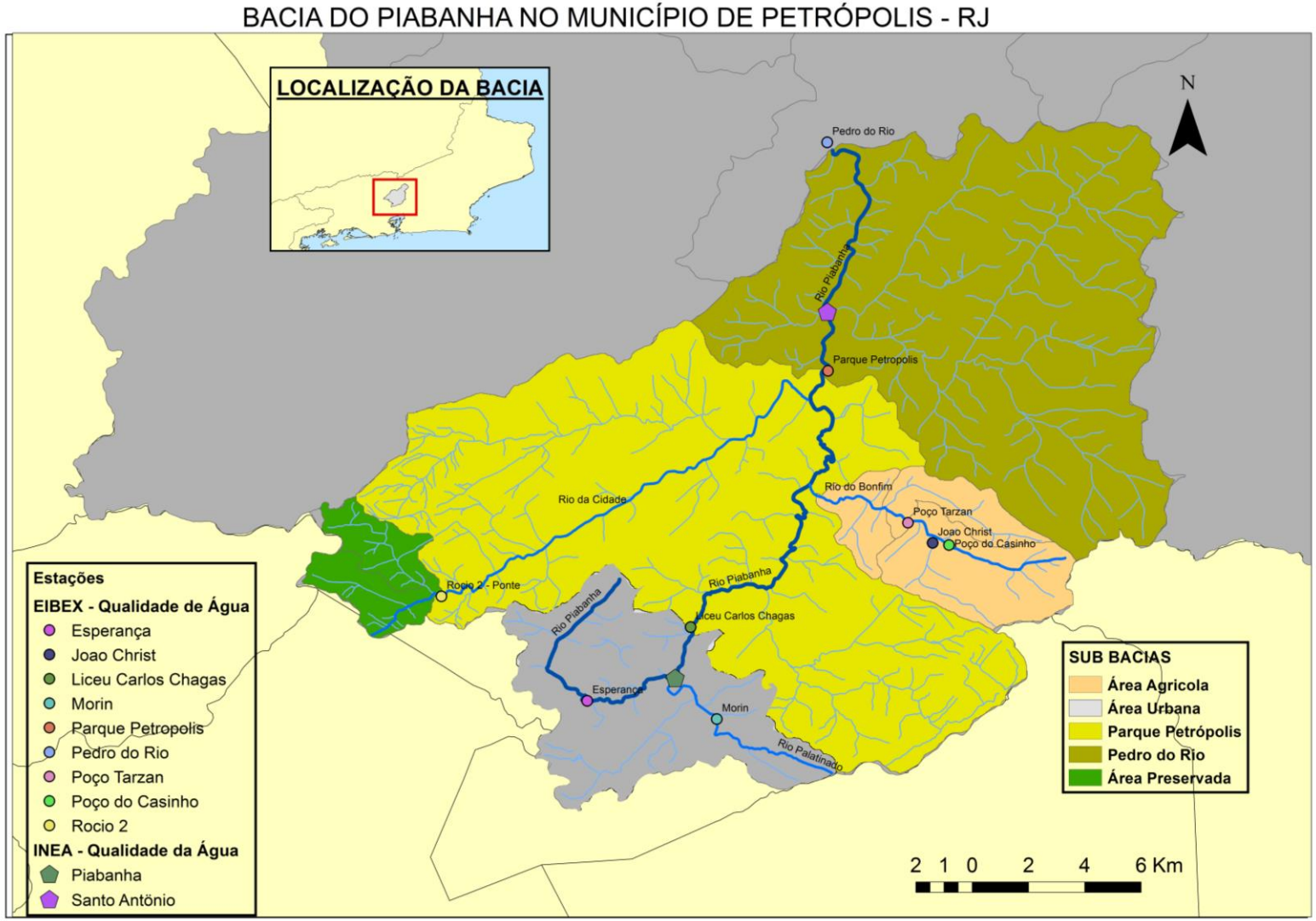
| ***Bacia*** | ***Estação*** | ***Curso d'água*** | ***Latitude*** | ***Longitude*** |
|---|---|---|---|---|
| Preservada | Rocio | Rio da Cidade | 22º 28' 39" S | 43º 15' 25" O |
| Urbana | Esperança | Rio Piabanha | 22º 30' 39" S | 43º 12' 37" O |
| | Liceu | | 22º 29' 14" S | 43º 10' 38" O |
| | Morin | Rio Palatinato | 22º 31' 00" S | 43º 10' 08" O |
| Agrícola | Poço Tarzan | Rio Bonfim | 22º 27' 14" S | 43º 06' 28" O |
| | Poço do Casinho | Rio Açu | 22º 27' 40" S | 43º 05' 41" O |
| | João Christ | Rio Alcobaça | 22º 27' 38" S | 43º 06' 00" O |
| Controle | Parque Petrópolis | Rio Quitandinha | 22º 24' 19" S | 43º 08' 00" O |
| | Pedro do Rio | Rio Piabanha | 22º 19' 56" S | 43º 08' 01" O |

Fonte: Adaptado de Villas Boas *et al.*, (2011b)

Cabe mencionar que as estações pertencentes à bacia de controle, sendo elas Parque Petrópolis e Pedro do Rio, são localizadas dentro da bacia representativa do Piabanha, mas fora das bacias experimentais (preservada, urbana e agrícola).

Na Figura 18 é possível verificar a localização das estações de monitoramento da qualidade da água do Projeto EIBEX e do INEA

Figura 18 – Mapa das estações de monitoramento da qualidade da água do projeto EIBEX e INEA localizadas na bacia representativa do Piabanha.




Fonte: A autora (2020).

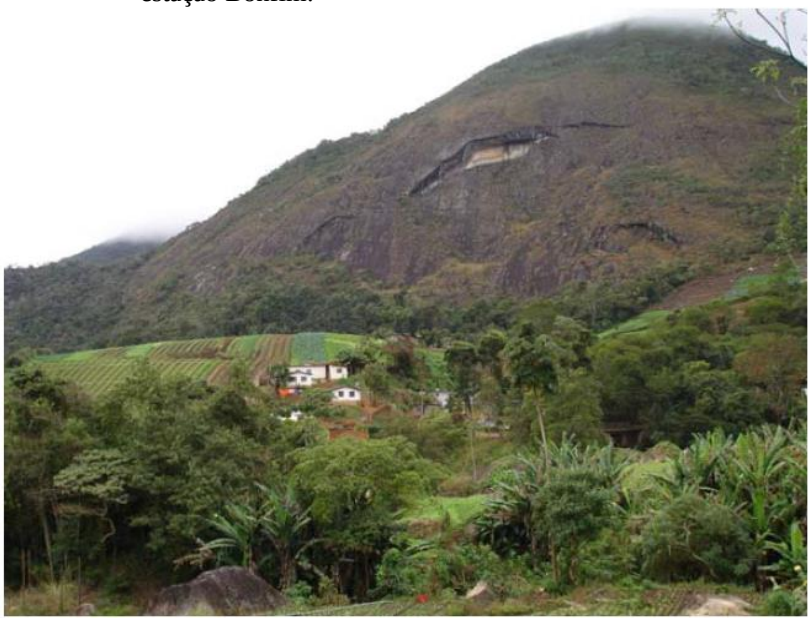
A seguir, na Figura 19, é possível observar a bacia preservada, área com características naturais na maior parte, com presença de florestas e vegetação.

Figura 19 – Foto da área da bacia experimental preservada, próxima à estação Rocio.

Fonte: Villas Boas *et al.* (2011b).

Já na bacia experimental agrícola, como vista na Figura 20, é possível verificar um panorama da área, com cultura sendo realizada nas encostas, relevo acentuado e presença principal da cultura olerícola (VILLAS BOAS *et al*., 2011b)**.**

Figura 20 – Foto da área da bacia experimental de uso agrícola, próxima à estação Bonfim.



Fonte: Villas Boas *et al.* (2011b).

Na área urbana (Figura 21) é possível verificar a canalização e a baixa vazão do rio, além de pontos de lançamento de efluentes e o aporte de resíduos.

Figura 21 – Foto da área da bacia experimental de uso urbano, próxima à estação Esperança.

Fonte: Villas Boas *et al.* (2011b).

Dentre os parâmetros monitorados no Projeto EIBEX na bacia representativa do Piabanha, os utilizados por esse trabalho estão apresentados a seguir no Quadro 2:

Quadro 1 – Parâmetros utilizados para cálculo dos IQAs nas estações do Projeto EIBEX.

| $IQA_{NSF}$ | $IQA_{CCME}$ |
|---|---|
| DBO | DBO |
| Fósforo total | Fósforo total |
| Nitrato | Nitrato |
| OD | OD |
| pH | pH |
| Turbidez | Turbidez |
| Coliformes termotolerantes | Coliformes termotolerantes |
| Sólidos dissolvidos totais | - |
| Temperatura (água) | - |
| - | Nitrogênio amoniacal |
| - | Alumínio |
| - | Ferro |

Fonte: A autora (2020).

Para o cálculo do $IQA_{CCME}$, além dos parâmetros que compõem o $IQA_{NSF}$, foram considerados alumínio, ferro e nitrogênio amoniacal, por serem parâmetros que apresentaram variações em relação ao limite legal fixado pela resolução supracitada, além de serem indicativos de poluição por esgoto doméstico e efluente e industrial. Já sólidos dissolvidos Totais não foi incluído, devido ao fato de o parâmetro ter se mantido dentro do limite legal em praticamente todas as campanhas, além de que em algumas delas utilizou-se a conversão da condutividade elétrica para obtenção de seu valor. A temperatura também não foi empregada no cálculo do $IQA_{CCME,}$ pois a Resolução CONAMA nº 357/2005 correlaciona a temperatura com o lançamento de efluentes (BRASIL, 2005).

Ao longo do período considerado do monitoramento da rede EIBEX, ocorreram algumas falhas das análises de laboratório externo em determinadas campanhas, uma vez que esse é um projeto que envolve aporte de recursos e por estar sujeito a processos de licitações para adquirir alguns serviços.

À exceção da turbidez, que começou a ser medida em março de 2010, e do fósforo total, na campanha de abril de 2013, os demais parâmetros deste trabalho foram monitorados desde o início do projeto.

Como o parâmetro sólidos dissolvidos totais não está incluído no monitoramento do SGB/CPRM, esse foi calculado por meio do fator de conversão de 0,64 aplicado ao valor de condutividade elétrica, conforme preconiza Villas Boas *et al*. (2011a).

Ao longo do Projeto EIBEX, ocorreram algumas mudanças de laboratório que realizava as análises, o que acabou alterando o parâmetro monitorado de coliformes termotolerantes para *Escherichia coli* (*E. coli*) em algumas campanhas. Dessa forma, para conversão desse último para coliformes termotolerantes, foi utilizado o fator de conversão de 1,25, conforme recomenda a CETESB (2015). As análises de coliformes termotolerantes foram realizadas do início do monitoramento e até novembro de 2011 e de agosto de 2015 a julho de 2016. Para os demais períodos, foi utilizado o fator de conversão de *E. coli* em coliformes termotolerantes.

É importante mencionar que as campanhas de dezembro de 2012, fevereiro e março de 2013, maio a dezembro de 2014, janeiro, março a julho de 2015 não apresentaram análises laboratoriais externas.

A aquisição de dados para a realização deste trabalho foi um processo longo, que envolveu a compilação de cerca de 16.355 dados (Tabela 14) tanto por parte do SGB/CPRM, como de minha parte, além das respectivas e diversas conferências de dados.

Tabela 13 – Dados obtidos da SGB/CPRM.

| *Campanhas* | *Estações* | *Parâmetros* | *Total* |
|---|---|---|---|
| 55 | 9 | 33 | 16.355 |

Fonte: A autora (2020).

Os dados referentes aos anos de 2009 a 2013 estavam parcialmente organizados, mas foram realizadas conferência e complementação dos dados ausentes.

Os dados de 2014 até 2017 necessitaram de uma atenção maior para serem compilados, inclusive de busca por cada laudo de análise laboratorial, tanto do laboratório da SGB/CPRM, quanto do laboratório externo, seja em meio físico ou digital, que foram basicamente compilados um a um.

Para os dados disponíveis, vale mencionar que o SGB/CPRM dispunha de diversas planilhas que, ao longo da execução deste trabalho, foram reunidas em planilha única. Essa planilha é, inclusive, uma contribuição deste trabalho na organização desses dados de monitoramento, o que possibilitará sua disponibilidade futuramente no site da instituição.

A Tabela 15 traz um resumo das campanhas de monitoramento do projeto EIBEX no período compreendido entre 2009 e 2017.

Tabela 14 –Número e distribuição das campanhas de monitoramento do EIBEX durante o período estudado.

| *Ano* | *Total de Campanhas por Mês* | | | | | | | | | | | | *Total de Campanhas* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *01* | *02* | *03* | *04* | *05* | *06* | *07* | *08* | *09* | *10* | *11* | *12* | |
| **2009** | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| **2010** | | | 1 | | | 1 | | | | 1 | 1 | | 4 |
| **2011** | | 1 | | | | 1 | | 1 | | | 1 | | 4 |
| **2012** | | | | 1 | 1 | | | 1 | | 1 | | 1 | 5 |
| **2013** | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| **2014** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 12 |
| **2015** | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 10 |
| **2016** | | | | | 1 | | 1 | | | | | | 2 |
| **2017** | | | | | | 1 | 1 | | | | | | 2 |
| ***Número Total de Amostragens*** | | | | | | | | | | | | | **54** |

Fonte: A autora (2020).

O monitoramento de qualidade das águas é realizado até os dias de hoje, no entanto os dados do presente estudo compreendem o período de 2009 a 2017, uma vez que os dados mais recentes ainda não estavam disponíveis de forma completa.

Os dados referentes a esse monitoramento ainda não estão disponíveis no site do SGB/CPRM (CPRM, 2020). Cabe mencionar que os mesmos podem ser disponibilizados mediante solicitação formal junto à instituição.

## 3.2 **Aplicação dos Índices de Qualidade das Águas (IQAs)**

Os seguintes índices foram aplicados como ferramenta para avaliação dos dados de qualidade das águas disponibilizados pelo INEA e pelo SGB/CPRM:

a) $IQA_{NSF}$: Índice de Qualidade da Água americano adaptado pelo INEA;
b) $IQA_{CCME}$: Índice de Qualidade da Água canadense, que leva em conta os limites legais.

### 3.2.1 Aplicação do $IQA_{NSF}$

Para a realização do cálculo do $IQA_{NSF}$, foi utilizada planilha de cálculo fornecida pelo próprio órgão ambiental, apresentada na Figura 22.

Foram feitas algumas adaptações na planilha, como a inclusão de informações relativas à estação, tipo de bacia e ano da coleta, mas a parte dos cálculos da planilha original foi preservada.

Figura 22 – Modelo da planilha do INEA usada para cálculo do $IQA_{NSF}$.

| Estação de amostragem | Altitude do ponto (metros) | $OD_{SAT.}$ | Localização | Data | $IQA_{NSF}$ | Demanda Bioquímica Oxigênio (DBO) - mg/L | Fósforo Total ($P_T$) -mg/L | Nitrato ($NO_3$) - mg/L | Oxigênio Dissolvido (OD) -mg/L | Potencial Hidrogeniônico (pH) | Turbidez (T) -uT | Coliformes Termotolerantes - NMP/100mL | Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) - mg/L | *Temperatura da água - °C | *Temperatura do ar - °C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0,0 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 0,0 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 0,0 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 0,0 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 0,0 | | | | | | | | | | | | | |

*Na comparição do $IQA_{NSF}$ usa-se o valor de temperatura correspondente à diferença entre a temperatura da água na ponto de coleta e a temperatura do ar.
Obs: A ausência de resultado, referente a pelo menos um dos nove parâmetros, inviabiliza a aplicação do índice.

| Categoria de Resultados | EXCELENTE | BOA | MÉDIA | RUIM | MUITO RUIM |
|---|---|---|---|---|---|
| $IQA_{NSF}$ | 100 ≥ IQA ≥ 90 | 90 > IQA ≥ 70 | 70 > IQA ≥ 50 | 50 > IQA ≥ 25 | 25 > IQA ≥ 0 |
| Significado | Águas apropriadas para tratamento convencional visando o abastecimento público | | | Águas impróprias para tratamento convencional visando abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados | |

Fonte: INEA (2019).

Após preenchimento dos dados, a planilha já retorna com o cálculo do respectivo IQA. No caso de ausência de qualquer parâmetro, o cálculo é inviabilizado.

Para padronização dos cálculos, foi adotada a altitude média de 838 metros, referente a Petrópolis, como a altitude padrão para todas as estações de coleta.

Foi utilizado ainda o fósforo total no cálculo do $IQA_{NSF}$, assim como é a prática do INEA, apesar de a metodologia disponível por eles apresentar divergência e indicar o uso do fosfato total no cálculo do índice (INEA, 2019).

Para os parâmetros que apresentavam resultados com valores acompanhados de sinais de maior ou menor que, foram utilizados os limites de detecção máximos e mínimos das metodologias empregadas. No caso de valores com sinal menor que, vale mencionar que essa atribuição não influencia de forma negativa na aplicação do IQA, pois esses valores eram inferiores aos valores preconizados pela Resolução do CONAMA, utilizada como padrão. Ressalta-se que se os valores menores que o limite de detecção fossem desconsiderados do cálculo, acarretaria em impacto negativo no valor calculado do índice, já que de forma artificial, haveria uma diminuição do número de variáveis e de resultados dentro na norma.

Para a obtenção de um único resultado anual por ponto, tal como o $IQA_{CCME}$, foi realizado para cada estação o cálculo da média das análises de cada parâmetro de cada ano e, a partir daí, obtendo-se o resultado do índice anual.

Para a realização do cálculo do $IQA_{NSF}$ para as estações do INEA, além das metodologias já apresentadas, foram utilizadas no cálculo as temperaturas da água e do ar, como mostrado na planilha apresentada (Figura 22).

Já em relação ao cálculo do $IQA_{NSF}$ nas estações do EIBEX, como não havia dados de temperatura do ar nas planilhas do SGB/CPRM, foi assumida essa temperatura como igual à temperatura da água para uso da planilha do INEA.

Tratando-se da aplicação do $IQA_{NSF}$ nas estações do EIBEX, no intuito de facilitar a comparação dos dados obtidos por meio do cálculo do $IQA_{CCME}$, foi realizada a unificação de campanhas, para o período de ambos os índices ficarem correspondentes.

### 3.2.2 Aplicação do $IQA_{CCME}$

A seleção dos parâmetros do monitoramento EIBEX para o cálculo do $IQA_{CCME}$ foi feita levando-se em consideração sua relevância na bacia representativa do Piabanha, conforme apontado em Villas Boas (2018), que listou as seguintes variáveis como prioritárias na avaliação da qualidade da água: coliformes fecais, nitrato, temperatura, OD, sulfato, ferro, amônia, alumínio, pH, condutividade elétrica, coliformes totais, turbidez e DQO.

Entre todos os parâmetros de monitoramento do projeto EIBEX, foram escolhidos os listados no Quadro 3, pois eram os que apresentaram variações expressivas ao longo do período de monitoramento. Os demais parâmetros do monitoramento permaneceram todos dentro dos limites legais ou sem grandes variações no período.

Para o cálculo do $IQA_{CCME}$ neste trabalho foi desenvolvida uma planilha Excel. Nesse cálculo foi usada a Resolução CONAMA nº 357/2005 como fonte dos valores limites (BRASIL, 2005). Uma vez que a bacia não apresenta enquadramento foram usados os valores de critério de qualidade para águas classe 2.

Quadro 2 – Valores limites dos parâmetros utilizados para cálculo do $IQA_{CCME}$. Valores para água de classe 2 segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005.

| ***IQA$_{CCME}$*** | ***Limites*** |
|---|---|
| DBO | < 5 mg $L^{-1}$ |
| Fósforo total | 0,1 mg $L^{-1}$ (lótico) |
| Nitrato | 10,0 mg $L^{-1}$ |
| OD | > 5 mg $L^{-1}$ |
| pH | 6 a 9 |
| Turbidez | < 100 UNT |
| Coliforme termotolerante | 1.000 UFC 100 $mL^{-1}$ |
| Nitrogênio amoniacal | 0,5 mg $L^{-1}$ N, para pH > 8,5 |
| | 1,0 mg $L^{-1}$N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 |
| | 2,0 mg $L^{-1}$ N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 |
| | 3,7 mg $L^{-1}$ N, para pH ≤ 7,5 |
| Alumínio | 0,1 mg $L^{-1}$ |
| Ferro | 0,3 mg $L^{-1}$ |

Fonte: A autora (2020).

Como no cálculo do $IQA_{NSF}$, para os parâmetros que apresentaram resultados em valores com atribuição de sinal de maior ou menor que o limite de quantificação, foi utilizado o próprio valor desse limite. Para apresentar os valores anuais do índice, o cálculo, com a formulação apresentada em 1.5.2, que finaliza com a aplicação da Equação (9), foi elaborado para cada ano considerando as campanhas disponíveis em cada estação da rede EIBEX. No caso das duas estações do INEA, para atender o conjunto mínimo de dados para cálculo do índice, ao menos 4 (quatro) amostragens, foi necessário agrupamento de alguns anos de monitoramento.

# 4 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo serão apresentados os resultados referentes à aplicação dos índices $IQA_{NSF}$ e $IQA_{CCME}$, aos dados das estações de monitoramento do INEA e do EIBEX, no período de 2009 a 2017. Essas estações estão situadas na bacia representativa do Piabanha, localizada em Petrópolis, região serrana do estado Rio de Janeiro.

A seguir, na Figura 23, é possível verificar o mapa com as estações do projeto EIBEX e as do monitoramento do INEA, onde as estações de monitoramento do INEA são representadas por um pentágono e as do Projeto EIBEX por círculos. É possível verificar ainda os pontos de lançamentos de estações de tratamento de efluente, sendo representados por triângulos.

Figura 23 –Localização das Estações do INEA e do Projeto EIBEX de monitoramento de qualidade da água e das saídas de efluentes na bacia representativa do Piabanha.

Fonte: A autora (2020).]

## 4.1 **Aplicação do IQA nas estações EIBEX**

### 4.1.1 Aplicação do $IQA_{NSF}$

Na Tabela 16 é possível verificar as médias anuais do $IQA_{NSF}$ obtido em cada estação de monitoramento do Projeto EIBEX.

Tabela 15 – Médias anuais do $IQA_{NSF}$ calculadas para as estações monitoradas pelo EIBEX.

| ***Bacia*** | ***Controle*** | | ***Urbana*** | | | ***Agrícola*** | | | ***Preservada*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***Ano / Estação*** | ***Parque Petrópolis*** | ***Pedro do Rio*** | ***Esperança*** | ***Liceu*** | ***Morin*** | ***Poço do Casinho*** | ***João Christ*** | ***Poço Tarzan*** | ***Rocio*** |
| **2013** | 44,30 | 42,00 | 36,60 | 38,60 | 40,30 | 56,10 | 49,00 | 50,40 | 50,50 |
| **2014** | 42,80 | 57,00 | 39,00 | 42,40 | 41,00 | 59,00 | 58,20 | 68,10 | 67,00 |
| **2015** | 40,40 | 45,60 | 34,10 | 36,30 | 30,10 | 69,50 | 66,20 | 59,30 | 72,20 |
| **2016 e 2017** | 45,00 | 56,10 | 41,20 | 43,30 | 33,20 | 76,70 | 71,30 | 63,10 | 76,80 |
| **Média do período** | 43,13 | 50,18 | 37,73 | 40,15 | 36,15 | 65,33 | 61,28 | 60,23 | 66,63 |

Fonte: A autora (2020).

Foi utilizado o padrão de cores características da classificação do índice, utilizadas pelo INEA para cada faixa de valor do $IQA_{NSF}$, como já apresentadas na Tabela 3; onde a cor vermelha é resultado de uma qualidade “muito ruim”, o laranja representa o “ruim”, o amarelo qualidade “média”, a verde a “boa” e a azul a qualidade “excelente”.

Não foi possível calcular o $IQA_{NSF}$ com os dados do monitoramento EIBEX para os anos de 2009 a 2012 e fevereiro e março de 2013, devido à ausência do parâmetro fósforo total, que somente começou a ser monitorado a partir de abril de 2013.

A partir da Tabela 16, pode-se verificar que os maiores valores do $IQA_{NSF}$ foram encontrados para as bacias agrícola e preservada, e os menores (piores) na área urbana e na estação de Parque Petrópolis, considerada como controle.

Observou-se que nenhuma das estações foi classificada nas categorias extremas do índice: “Excelente” ou “Muito ruim”, sendo a melhor categoria determinada a “Boa”.

Ao longo do período considerado, de 2013 a 2017, de modo geral, os valores dos índices variaram dentro da mesma categoria, apesar de verificada uma tendência de melhora nos pontos Poço do Casinho, João Christ e Rocio nos últimos anos (Tabela 15).

Ainda na Tabela 16, verifica-se que o ano de 2015 para a maioria das estações apresentou piora na qualidade da água, com exceção das estações Rocio, Poço do Casinho e João Christ. No período seguinte a este, já se percebe uma melhoria nos valores do $IQA_{NSF}$ em todas as estações.

a) Bacia experimental urbana e preservada

A estação de Morin, localizada no rio Palatinato, foi a única a apresentar piora da qualidade da água de 2013 para 2017. Cabe dizer que na proximidade dessa estação existe uma ETE, que mesmo situada a jusante, deve receber e tratar os esgotos de toda a bacia a montante. Ao contrário, as estações João Christ e Poço do Casinho apresentaram valores crescentes de $IQA_{NSF}$ de 2013 a 2017 (Tabela 15), o que denota a melhoria da qualidade neste trecho do rio durante o período considerado.

Observa-se ainda que as águas oriundas das bacias experimentais preservada e agrícola contribuem para a melhoria da qualidade do rio Piabanha, especialmente, ao se compararem os valores de $IQA_{NSF}$ dessas bacias com os das áreas urbanas, em especial com a estação Liceu, que é a última estação da bacia urbana, e, portanto, que já recebeu todas as contribuições dessa área (Tabela 15). Na verdade, há um túnel extravasor no canal do rio Palatinato, na altura da rua Souza Franco, no centro, desviando toda a água do rio para a bacia vizinha do rio Itamarati.

O objetivo dessa obra, concebida em 1956 e finalizada em 1972, foi proteger a área central da cidade das enchentes (PETRÓPOLIS, 2021). Desviando toda a água do rio Palatinato, que tem péssimo odor e aparência em tempos de estiagem também, faz com que o rio Quitandinha receba menos poluição na área mais nobre da cidade de Petrópolis. Assim, essas águas mais poluídas, verificadas na estação Morin não chegam à estação Liceu na maior parte do ano, somente durante chuvas mais intensas há escoamento mais expressivo no trecho de vazão remanescente após o desvio. Atualmente a qualidade da água do rio Palatinato pode ter melhorado a jusante da ETE Palatinato, a depender da qualidade de seu efluente tratado.

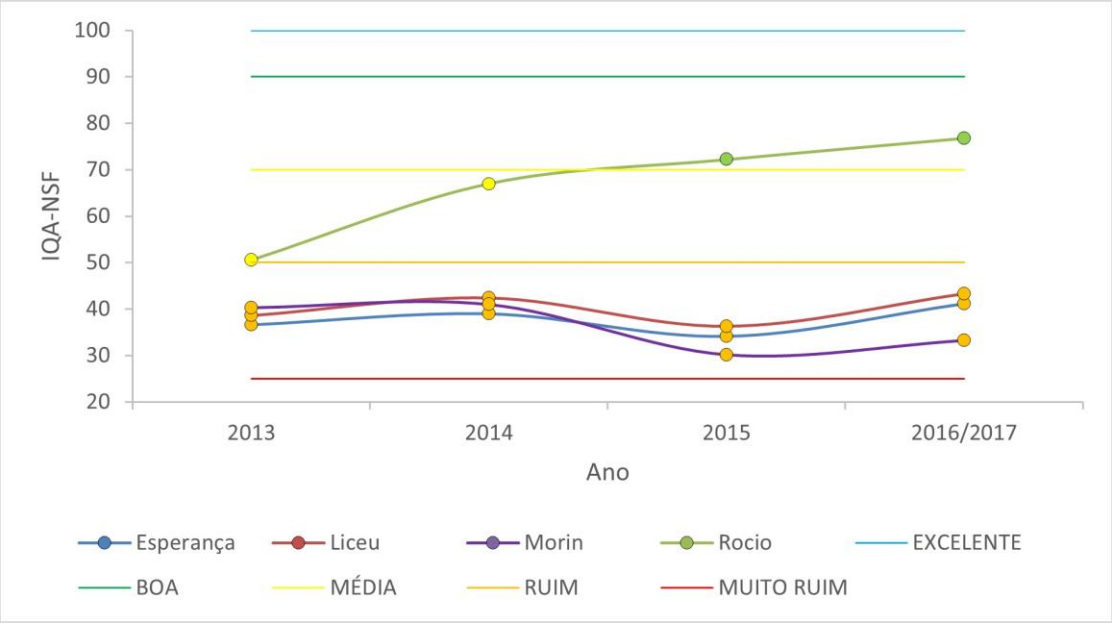
Analisando conjuntamente os dados do $IQA_{NSF}$ das bacias urbana (estações Esperança, Liceu e Morin) e preservada (estação Rocio), como visto no Gráfico 1, é possível verificar claramente que os piores valores se encontram localizados na bacia urbana, sendo todos na categoria “Ruim”. Esse resultado reflete a densidade populacional nesta área da bacia, e

reflete, possivelmente, os lançamentos de esgoto irregulares ou sem tratamento adequado na região.

Todas as estações urbanas apresentaram piora no $IQA_{NSF}$ em 2015. No entanto, as estações de Esperança e Liceu apresentaram melhores índices em 2017, quando comparados ao início do monitoramento. Já Morin, apresentou piora em relação ao início do monitoramento, mas melhorou em relação ao ano de 2015.

Esse IQA da área urbana reflete o que está apresentado na Figura 15, onde é mostrado que a maior concentração de lançamentos de efluentes está nesta área, visto que é a região central da cidade, onde reside grande parte da população do município de Petrópolis. Cabe dizer que o limite superior de cada intervalo está com a cor correspondente à categoria de qualidade da água apresentada pela estação, bem como a cor do ponto de representação no gráfico. Essa representação foi utilizada para todos os gráficos onde existem os limites dos IQAs empregados.

Gráfico 1 – Comparação do $IQA_{NSF}$ das bacias Urbana e Preservada**.**




Fonte: A autora (2020).

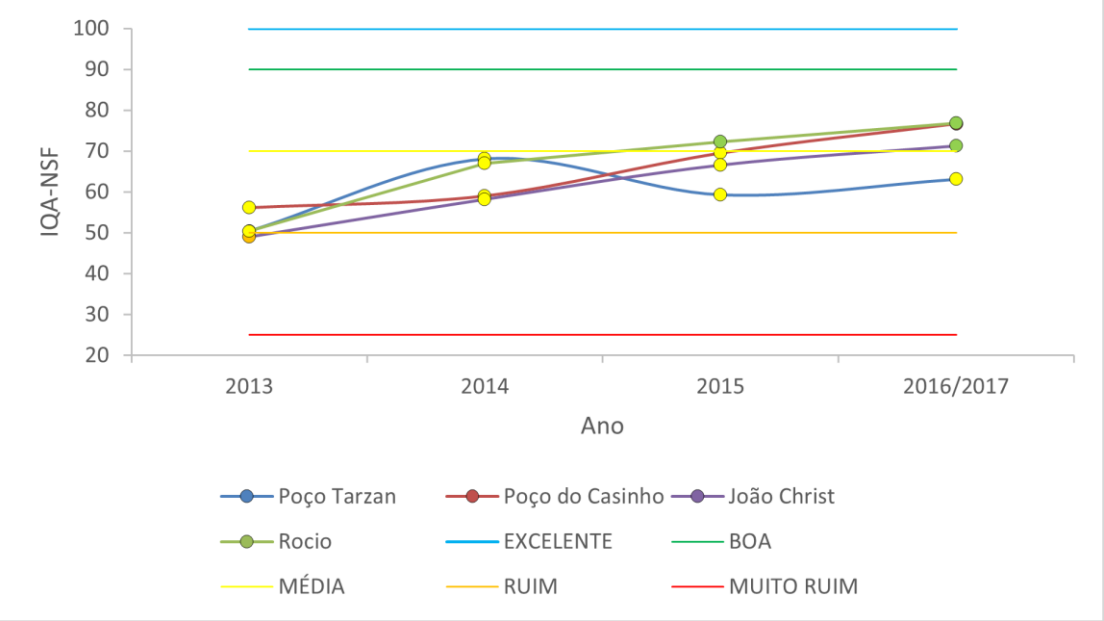
b) Bacia experimental agrícola e preservada

Em relação às bacias experimentais agrícola e preservada, pode-se verificar que o $IQA_{NSF}$ delas são semelhantes (Gráfico 2). A bacia agrícola é cercada de áreas ainda preservadas e pouca ocupação urbana, por isso o aporte de efluentes sanitários é menor, o que influencia diretamente nos valores obtidos dos $IQAs_{NSF}$.

Vale dizer que o $IQA_{NSF}$ reflete bem a ocorrência de despejos de esgotos domésticos em corpos hídricos, porém, para outras fontes de poluição, esse índice não é capaz de detectá-las, o que pode estar ocorrendo na área, já que se acredita que há o aporte de agrotóxicos nas áreas cultivadas da bacia (VILLAS BOAS *et al*., 2011a).

A estação de coleta Poço do Casinho, dentre as estações da bacia agrícola, é a que apresenta melhores resultados do $IQA_{NSF}$, provavelmente em decorrência da sua localização, mais próxima à nascente do rio, na área do PARNASO. No entanto, apesar disso, mesmo nessa estação já é verificada alteração de qualidade da água.

Gráfico 2 – Comparação do $IQA_{NSF}$ das bacias Agrícola e Preservada.




Fonte: A autora (2020).

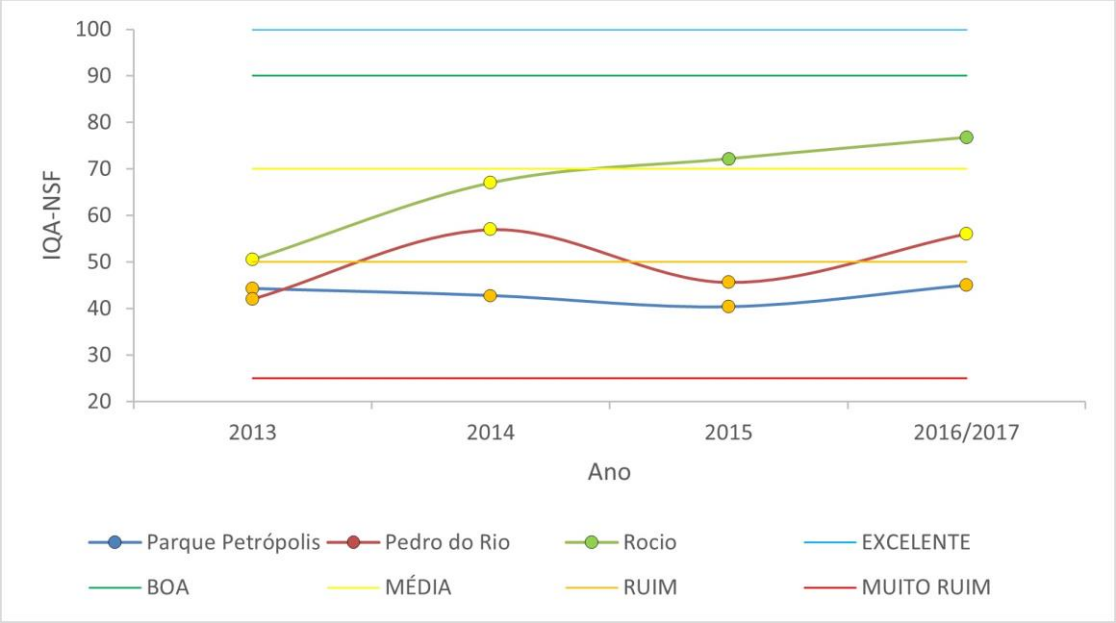
c) Bacia experimental preservada e de controle

O ponto de coleta Parque Petrópolis está localizado a jusante das três bacias experimentais (Figura 23), dessa forma, está onde há a integração dos aportes na região, incluindo esgotos domésticos tratados ou não. É nessa área também onde está localizada a maior concentração populacional dentro da bacia representativa, além de receber os efluentes das ETEs e da maioria dos sistemas alternativos de tratamento. Essa situação é refletida nos valores do IQA dessa estação, conforme pode ser observado no Gráfico 3, a seguir.

Ainda no Gráfico 3, verifica-se que na estação de controle de Pedro do Rio, última estação da bacia representativa, os resultados de IQA apresentam uma melhora, quando comparados a Parque Petrópolis. Essa melhora deve decorrer do deságue de diversos rios que

drenam locais com baixa ocupação urbana nessa região, o que acaba por diluir a carga de poluição vinda de Parque Petrópolis.

Gráfico 3 – Comparação do $IQA_{NSF}$ das bacias de Controle e Preservada.




Fonte: A autora (2020).

### 4.1.2 Aplicação do $IQA_{CCME}$

Foi feito o cálculo $IQA_{CCME}$ para cada ano considerado do monitoramento do Projeto EIBEX, o que resultou em valor anual para o índice em cada estação (Tabela 17). Foi realizada ainda a média desses resultados anuais para obtenção de único valor representativo por estação durante todo o período de monitoramento (média do período).

Para melhor representação das faixas de valores, foram usadas as cores características que o INEA adota para cada faixa de valor do $IQA_{NSF}$, como já apresentadas na Tabela 3; onde a cor vermelha denota qualidade "ruim", o laranja demonstra qualidade "Marginal", o amarelo representa qualidade "Mediana", a verde a "Boa" e a azul a qualidade "Excelente".

Não foi possível calcular os anos de 2016 e 2017 em separado, devido ao pequeno número de campanhas nesses anos, e, para seguir os critérios da metodologia apresentada no item 1.5.2. deste trabalho, mínimo de 4 campanhas para o cálculo do $IQA_{CCME}$, foi necessário realizar o agrupamento desses dois anos.

Tabela 16 – Resumo do $IQA_{CCME}$ anual das estações do Projeto EIBEX.

| ***Bacia*** | ***Controle*** | | ***Urbana*** | | | ***Agrícola*** | | | ***Preservada*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***Ano / Estação*** | ***Parque Petrópolis*** | ***Pedro do Rio*** | ***Esperança*** | ***Liceu*** | ***Morin*** | ***Poço do Casinho*** | ***João Christ*** | ***Poço Tarzan*** | ***Rocio*** |
| **2009** | 55,02 | 61,91 | 50,58 | 48,19 | 42,11 | 75,65 | 67,18 | 64,92 | - |
| **2010** | 64,82 | 73,09 | 41,93 | 44,61 | 45,61 | 87,78 | 81,18 | 70,33 | 84,56 |
| **2011** | 59,40 | 60,60 | 46,40 | 42,73 | 35,34 | 88,34 | 81,25 | 87,94 | 57,52 |
| **2012** | 49,37 | 44,81 | 33,77 | 54,80 | 36,07 | 86,62 | 85,85 | 81,15 | 42,71 |
| **2013** | 47,40 | 39,95 | 34,85 | 39,53 | 39,15 | 74,58 | 63,63 | 62,45 | 61,11 |
| **2014** | 44,17 | 69,45 | 46,81 | 55,43 | 55,49 | 83,66 | 78,30 | 83,89 | 88,99 |
| **2015** | 49,94 | 37,07 | 33,69 | 40,33 | 34,72 | 48,29 | 78,27 | 70,50 | 86,65 |
| **2016 e 2017** | 49,44 | 58,02 | 47,19 | 42,04 | 37,62 | 93,55 | 89,16 | 79,36 | 81,73 |
| **Média do período** | 52,44 | 55,61 | 41,90 | 45,96 | 40,76 | 79,81 | 78,10 | 75,07 | 71,90 |

Fonte: A autora (2020).

Segundo a Tabela 17, é fácil observar que os maiores valores do $IQA_{CCME}$ foram obtidos para as bacias agrícola e preservada, e os piores, isto é, os mais baixos, para a área urbana.

Verificou-se que nenhuma estação de coleta foi classificada como “Excelente” segundo os critérios do $IQA_{CCME}$, levando-se em consideração a qualidade da água doce de classe 2 (BRASIL, 2005), portanto, nenhum trecho monitorado na bacia experimental do rio Piabanha tem sua qualidade de acordo com seu uso. Somente 14,2 % dos valores de $IQA_{CCME}$ das estações de coleta, durante o período de observação, foram classificados na categoria a “Boa”, melhor classificação da qualidade do rio Piabanha. Mais de 70 % das estações foram classificadas com $IQA_{CCME}$ “Marginal” ou “Ruim”, denotando uma qualidade longe da desejável para a bacia do Piabanha.

Tal como foi observado no cálculo do $IQA_{NSF}$, é perceptível que as águas das bacias experimentais preservada e agrícola são as de melhor qualidade do rio Piabanha, e ainda que em menor grau sofrem interferências antrópicas ao longo do seu percurso, até chegar ao seu exutório.

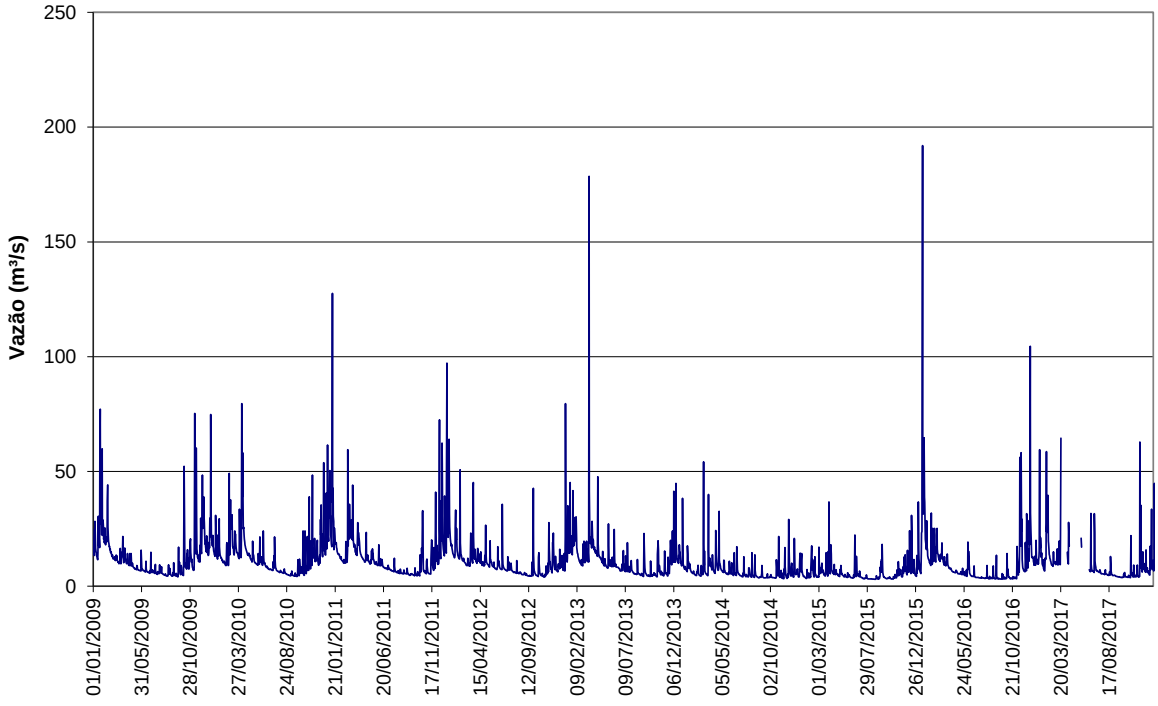
Comparando-se ao longo de 2009 a 2016/2017, os valores do $IQA_{CCME}$ apresentaram para todas as bacias, à exceção da agrícola, piora numérica, demonstrando que a bacia representativa do rio Piabanha vem sofrendo um aumento dos impactos antrópicos.

Como para os dados do $IQA_{NSF}$, optou-se pela representação gráfica dos resultados de $IQA_{CCME}$ por grupos de estações, uma vez que o número elevado de estações em um único gráfico o tornaria muito confuso. Dessa forma, foi utilizado o agrupamento de estações em vários gráficos, para facilitar a leitura e discussão dos dados.

Os valores mais baixos dos índices na maioria das estações em 2015 poderiam ser explicados por esse ano ser o último do período de estiagem na região quando as vazões em toda a bacia foram as mais baixas de todo o período do estudo (Gráfico 4). Nesse gráfico é possível ver que nos anos de 2014 e 2015 as vazões foram muito baixas, até mesmo nos períodos de cheia, todas menores do que 55 $m^3 s^{-1}$, ao contrário dos outros anos que, em geral, atingiram pelo menos um em uma ocasião valores acima de 100 $m^3 s^{-1}$. É de se esperar que as amostras coletas nesse período apesentassem concentrações mais altas de parâmetros originários de efluentes lançados pela pouca quantidade de água nos rios para diluí-los.

No Gráfico 4 é possível verificar a vazão na bacia, na estação de Pedro do Rio.

Gráfico 4 – Vazão na estação de Pedro do Rio de 2009 a 2017.




Fonte: A autora (2020).

d) Bacia experimental urbana e preservada

A partir da representação do $IQA_{CCME}$ para as bacias urbana e preservada (Gráfico 5), fica clara a diferença entre a qualidade da água delas. Cabe ressaltar que houve um período entre 2011 e 2013, culminando em 2012, no qual houve um decréscimo bastante acentuado da

qualidade da estação Rocio. Essa estação de Rocio ainda causa preocupação, uma vez que é observado, embora ainda na mesma categoria, um decréscimo nos valores do $IQA_{CCME}$ de 2014 para 2016/2017. Portanto, é conveniente continuar monitorando essa estação para se acompanhar sua qualidade e propor ações de melhoria a fim de reverter esse quadro.

As variações dos valores do $IQA_{CCME}$ nas estações localizadas na bacia experimental urbana foram de menor magnitude em relação à preservada, onde, na maior parte do período considerado, a qualidade das águas dessas estações foi ruim (Gráfico 5).

Considerando-se separadamente os parâmetros que foram utilizados no cálculo do $IQA_{CCME}$, em adição aos já apresentados que são comuns ao cálculo do $IQA_{NSF}$, verifica-se que o ferro e alumínio, nas estações urbanas, estiveram, em algumas ocasiões, com concentrações superiores aos valores limites de classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005). No entanto, considerando-se todas as campanhas, para esses dois parâmetros, nas 3 (três) estações de coleta, em apenas 11 ocasiões isso ocorreu, em um total de 330 dados.

Cabe ressaltar que o fósforo começou a ser monitorado em março de 2013 e, tratando-se das bacias urbanas, em 81% dos resultados estava não conforme com a normativa, chegando ao valor máximo em setembro de 2015, quando em Morin foi determinado um valor de 17,26 mg $L^{-1}$. Em comparação, na bacia preservada, o fósforo somente foi detectado em valor acima da classe 2 em cinco ocasiões, sendo o valor mais alto em agosto de 2015, igual a 1,23 mg $L^{-1}$. Conforme relatado pela CETESB (2011), o fósforo é encontrado em águas naturais devido, comumente, ao lançamento de efluentes sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes domissanitários constituem a sua principal fonte. Alguns tipos de indústrias, como de fertilizantes, de pesticidas, químicas, de conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, também possuem efluentes com concentrações elevadas de fósforo.

Considerando todo o período estudado, de 2009 a 2017, o nitrato se apresentou em concentrações relativamente elevadas em 13 % das campanhas, sendo o maior valor encontrado em Morin, na campanha de agosto de 2009, quando foi igual a 45,5 mg $L^{-1}$ (o limite para águas classe 2 é de 10 mg $L^{-1}$.) Os valores não conformes variaram principalmente na faixa de 10 a 20 mg $L^{-1}$ na bacia urbana. Na área preservada não foi determinado nenhum valor acima de 5,24 mg $L^{-1}$, este ocorreu em 2012. Valores altos de nitrato podem ser decorrentes dos despejos domésticos que ocorrem na região.

Na bacia urbana, na maior parte do tempo o nitrogênio amoniacal, em 59 % das coletas, estava dentro dos limites da classe 2. Em uma amostragem de 2015 foram determinados os maiores valores de nitrogênio amoniacal na bacia urbana, superiores a 3,7

mg $L^{-1}$, para pH abaixo de 7,5, inclusive. Os valores de nitrogênio amoniacal variaram principalmente na faixa entre 4 a 8 mg $L^{-1}$, com máximo em Morin, em agosto de 2011, igual a 24 mg $L^{-1}$. A alteração desse parâmetro pode ter relação com o desempenho não satisfatório das ETEs da região. As ETEs de Quitandinha e Palatinato estão localizadas a jusante de Morin, o que significa dizer que as águas a montante dessa estação já estão impactadas pela urbanização do local, como verificado nos IQAs calculados. A bacia preservada apresentou somente um valor acima do limite de classe 2 para esse parâmetro, que foi na campanha de maio de 2016, igual a 7 mg $L^{-1}$.

Pode-se verificar de maneira geral que, em quase todas as campanhas, os coliformes termotolerantes estavam com valores alterados nas estações da bacia urbana, chegando a apresentar, na campanha de maio de 2010, em Morin, o valor de cerca de 858.000 UFC 100 $mL^{-1}$, quando o estabelecido como máximo para águas doces classe 2 é até 1.000 UFC 100 $mL^{-1}$. Um cenário oposto foi observado na bacia preservada, onde somente foram determinados 12 resultados fora no limite normativo, do início do monitoramento até o ano de 2014. Convém dizer que essas bactérias são oriundas do trato intestinal humano e de animais de sangue quente. A *E. coli* inclui-se neste grupo, sendo oriunda exclusivamente de matéria fecal, sendo raramente detectada na ausência desta (MOTTA, 2003). A presença de coliformes em altas concentrações traduz despejos de efluentes domésticos no corpo hídrico.

A DBO é um parâmetro um pouco menos crítico para a bacia urbana, se apresentando em 60 % dos casos com valores dentro do padrão. Mais uma vez a bacia preservada tem uma qualidade de suas águas bem melhor, com apenas dois valores fora do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces, classe 2 (BRASIL, 2005). o que pode caracterizar os despejos de origem orgânica, provavelmente efluentes domésticos (LIBÂNIO, 2010).

O OD é um parâmetro crítico na bacia urbana, onde 84 % das amostras estavam com valores menores que 5 mg $L^{-1}$, inclusive com concentrações inferiores a 1 mg $L^{-1}$. Cerca de ¼ das amostras coletadas na bacia preservada também se encontrava comprometida em relação ao OD na estação da bacia preservada, com concentrações variando principalmente na faixa entre 2 e 4 mg $L^{-1}$. Esse fato também é um indicativo de recebimento de matéria orgânica. Se o corpo hídrico apresenta valor de OD baixo ou ainda quando o mesmo é igual a zero, há mortandade dos organismos aquáticos aeróbicos, além da influência na capacidade de autodepuração do corpo hídrico (MOTTA, 2003).

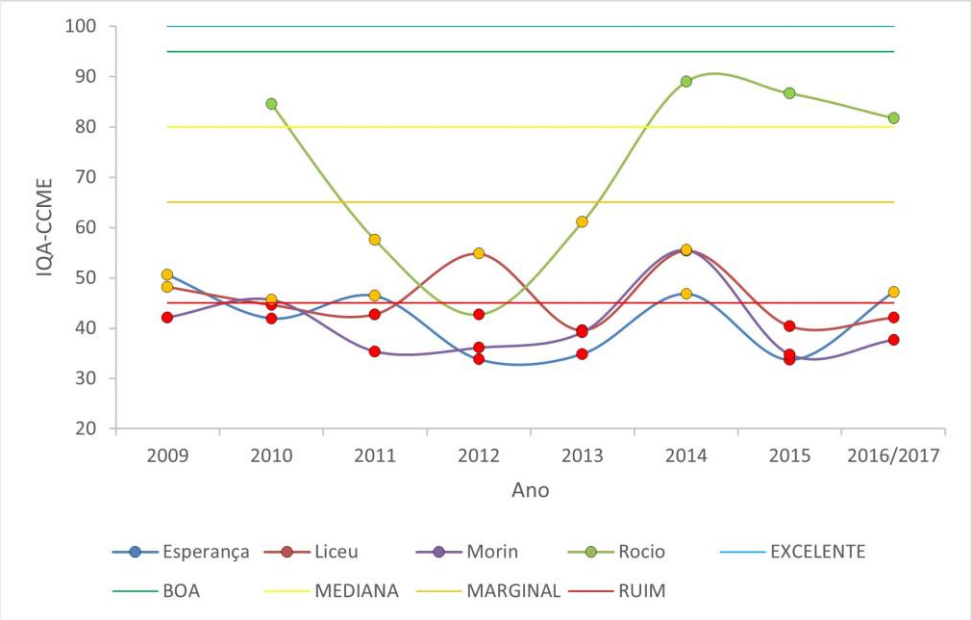
Em praticamente todas as amostras coletadas na estação Rocio o pH se situava entre 6 e 9 e em apenas 12 % os valores determinados na bacia urbana foram mais ácidos que a faixa preconizada na Resolução CONAMA nº 357/2005, classe 2 (BRASIL, 2005).

A turbidez apresentou-se dentro dos limites em todas as estações ao longo do período estudado nas bacias preservada e urbana (Gráfico 5).

Em resumo, o principal parâmetro que influenciou de forma negativa o $IQA_{CCME}$ para as estações da bacia urbana foi o coliforme termotolerante, apresentando-se sempre com valores bem altos e superiores à classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005). Além dos coliformes, na estação Esperança, também foram verificadas concentrações não conformes de nitrato, DBO, fósforo total e OD em algumas campanhas. Já para as estações Liceu e Morin, foram observados valores alterados de nitrato, DBO, OD, fósforo total, ferro e nitrogênio amoniacal.

Existem algumas ETEs na bacia urbana: a ETE Unimed, próxima à estação Esperança; ETE Piabanha, a jusante de Esperança; ETE Quitandinha e Palatinato, a jusante da estação de Morin, todas elas a montante da estação Liceu, onde também se encontra o sistema de tratamento de efluente de Quarteirão Brasileiro. Todas essas estações influenciam na qualidade da água do Piabanha, além dessa parcela de efluente doméstico que é tratada, também existe aquela que não recebe tratamento, uma vez que essa é a área mais ocupada da bacia representativa e com áreas de ocupação irregular.

Gráfico 5 – Comparação do $IQA_{CCME}$ das bacias Urbana e Preservada.




Fonte: A autora (2020).

e) Bacia experimental agrícola e preservada

Os resultados obtidos do cálculo do $IQA_{CCME}$ para as bacias agrícola e preservada determinaram que a qualidade da água das estações monitoradas variaram entre as categorias "Marginal" e "Boa", sendo que a última categoria abrange por 50% dos resultados (Gráfico 6). Nenhuma estação teve a qualidade da água classificada como "Ruim" durante o período monitorado. Em apenas poucas ocasiões, a água foi classificada como "Marginal", nas campanhas de 2009 e 2013 em Poço Tarzan; em 2015 em Poço do Casinho e em 2013 em João Christ (Gráfico 6).

Considerando-se os parâmetros separadamente, verifica-se que o alumínio apresentou 9 % dos valores acima do limite legal preconizado na Resolução CONAMA nº 357/2005 para classe 2 (BRASIL, 2005), com o valor variando de 0,101mg $L^{-1}$ a 0,300 mg $L^{-1}$, tendo sido o valor máximo determinado na estação João Christ. Foi verificado que esses valores mais elevados ocorreram principalmente no último trimestre do ano, quando começa o período de maiores chuvas na região.

O ferro e o nitrato aparentemente não são parâmetros problemáticos na área agrícola, sendo que o primeiro sempre apresentou concentrações inferiores ao limite legal e o nitrato em apenas uma campanha, de setembro de 2015, na estação Poço Tarzan, teve uma concentração igual a 10,26 mg $L^{-1}$. Também o nitrogênio amoniacal só foi determinado a cima do limite (3,7 mg $L^{-1}$) em raras ocasiões, em agosto de 2013, em Poço do Casinho (15,3 mg $L^{-1}$) e em João Christ (34,2 mg $L^{-1}$), e em maio de 2016, também em Poço do Casinho (8 mg $L^{-1}$).

Turbidez, DBO e pH também foram parâmetros raramente não conformes em relação aos limites da classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), o que pode ser um indicativo da menor presença de esgotos domésticos.

Somente em junho e julho de 2017, na estação de Poço Tarzan, foram encontradas concentrações relativamente altas de DBO, cerca de 7,9 mg $L^{-1}$.

O pH apresentou somente sete valores inferiores ao limite mínimo de 6,0, sendo o menor valor encontrado igual a 3,35, em Poço Tarzan, na campanha de outubro de 2010. Os outros valores encontrados, encontravam-se próximos ao limite inferior do pH.

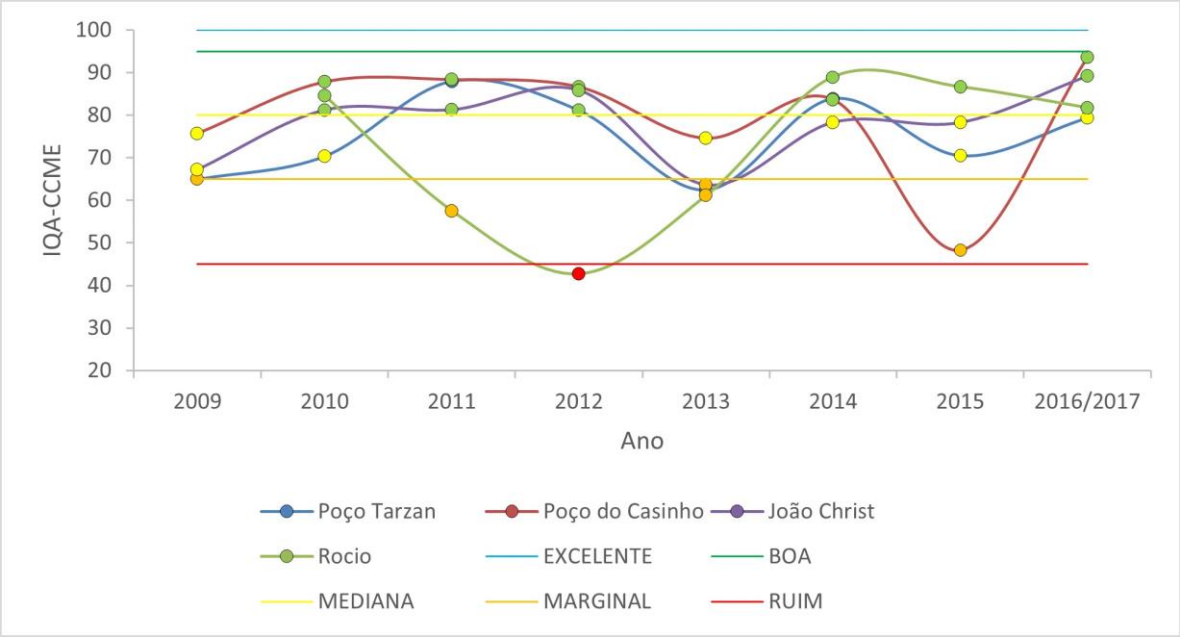
Os parâmetros fósforo, coliformes termotolerantes e OD foram os que apresentaram maior número de amostras não conformes durante o período estudado. De um total de 63 análises 16 % dos resultados de fósforo foram acima do limite, com o valor máximo observado de 3,06 mg $L^{-1}$ em Poço do Casinho, em 2015, que fez o $IQA_{CCME}$ dessa estação ter uma queda bem acentuada nesse ano. As águas drenadas de áreas agrícolas também podem

ser ricas em fósforo pelo uso de fertilizantes e pesticidas, ou pelo lançamento de efluentes e excrementos de animais.

Para coliformes termotolerantes, 29 % das amostras analisadas apresentaram valores elevados, sendo os mais altos encontrados na campanha de novembro de 2013 em Poço Tarzan e em João Christ, que apresentaram valores maiores que 96.000 UFC 100 $mL^{-1}$. Todas as 3 estações da área agrícola apresentaram concentrações elevadas de coliformes em praticamente todo o início período estudado, em geral com uma melhora nos últimos anos considerados de monitoramento. Essa distribuição indica a heterogeneidade da bacia agrícola, onde existem áreas que já requerem mais cuidado, como no entorno da estação Poço Tarzan.

Tal como os coliformes, os valores de OD estavam alterados em 29 % das campanhas, sendo o ano de 2013 o que apresentou os piores resultados, com metade das campanhas do ano com valores inferiores ao limite da classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005).

Gráfico 6 – Comparação do $IQA_{CCME}$ das bacias Agrícola e Preservada.




Fonte: A autora (2020).

f) Bacia experimental preservada e de controle

Tratando-se das estações de controle, sendo elas Parque Petrópolis e Pedro do Rio, apesar de algumas variações ao longo do período, apresentaram no final do período de monitoramento a mesma categoria no início, a “Marginal”, apesar do resultado mais baixo que o inicial. O mesmo ocorreu com a estação preservada, a de Rocio, onde os resultados obtidos iniciaram-se e findaram-se na categoria “Boa” (Gráfico 7).

Ao se avaliar individualmente os parâmetros considerados no cálculo do $IQA_{CCME}$, verificou-se que a maior parte deles se apresentou não conforme em pelo menos parte das amostragens para as bacias de controle (Parque Petrópolis e Pedro do Rio). Sendo que a turbidez, DBO, nitrato, nitrogênio amoniacal, ferro e alumínio se mostraram fora dos limites em menos de 50 % das amostras, enquanto coliformes termotolerantes, OD e o fósforo são os principais responsáveis pelos baixos valores do índice $IQA_{CCME}$ calculados para a bacia controle.

O alumínio, do total de 108 análises, 8 estavam com valores maiores que o limite da Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), sendo 6 em Pedro do Rio, com o maior valor determinado, igual a 0,747 mg $L^{-1}$, em dezembro de 2015. O ferro e a turbidez somente apresentaram uma concentração maior que o da classe 2, exatamente nessa campanha onde foi observado o pico do alumínio na estação de Pedro do Rio. Portanto, provavelmente, essa não é uma distribuição normal na região e deve ter sido acarretada por algum evento pontual, que ao final, acarretou um decréscimo importante na qualidade do rio Piabanha na área, chegando a ser classificado como de qualidade ruim segundo o cálculo do $IQA_{C\ CME}$.

Em 12 % dos dados, a DBO estava com valores superiores à classe 2, sendo o maior resultado encontrado em Pedro do Rio, em abril de 2012, igual a 18 mg $L^{-1}$.

Foram determinados valores de pH fora da faixa limite preconizada pala classe 2 em 13 % das amostras da bacia controle, sendo o menor valor encontrado o de 4,85, em dezembro de 2017, em Pedro do Rio. Foi obtido também um valor acima do limite, igual a 9,44, em março de 2013, também na estação Pedro do Rio.

Aproximadamente 16 % das amostras analisadas apresentaram resultados de nitrogênio amoniacal superiores ao limite de classe 2. O valor mais elevado de nitrogênio amoniacal foi 8 mg $L^{-1}$, para pH menor que 7,5, que foi encontrado em Parque Petrópolis.

O nitrato foi determinado em concentrações relativamente elevadas em 37 % das amostras, sendo o maior valor encontrado na bacia controle 77,59 mg $L^{-1}$, em janeiro de 2014, na estação de Parque Petrópolis. Já em Pedro do Rio a maior concentração foi 23,89 mg $L^{-1}$, em maio de 2015. A proximidade a centros urbano, devido aos lançamentos de efluentes domésticos, pode contribuir para o aumento do nitrato, assim como os de origem industriais, principalmente os oriundos de indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes. A atmosfera é outra importante fonte, embora de menor importância, devido a diversos mecanismos, a exemplo, as tempestades, que fornecem energia para combinar o nitrogênio com oxigênio molecular e formar o nitrato (ESTEVES, 2011). Em áreas urbanizadas a drenagem pluvial é um agravante,

devido às falhas no sistema de limpeza pública, o que constitui fonte difusa de poluição (CETESB, 2011). Grandes concentrações de nitrato podem ocasionar o crescimento de plantas aquáticas e do fitoplâncton, processo conhecido como eutrofização (ESTEVES, 2011).

Cerca de metade das amostras coletadas em Pedro do Rio e Parque Petrópolis tinham concentrações de OD inferiores a 5 mg $L^{-1}$, valor limite para águas doces classe 2. Em outubro de 2014, em Parque Petrópolis, praticamente não havia OD na água, quando foi determinada uma concentração de 0,02 mg $L^{-1}$., menor concentração obtida para essa bacia.

O fósforo foi um parâmetro não conforme em 71 % das amostras, sendo o maior valor encontrado em setembro de 2015, 9,83 mg $L^{-1}$ em Parque Petrópolis. Nessa mesma época em Pedro do Rio também foi valor determinada a maior concentração dessa estação, igual a 5,78 mg $L^{-1}$.

De modo geral toda a bacia controle apesentou o parâmetro coliforme termotolerante alterado em relação a condições naturais, sendo valores elevados em 82% das amostras do monitoramento.

Foram determinadas 5 (cinco) concentrações conformes, em um total de 21 análises, para fósforo total. O maior valor encontrado foi de 9,83 mg $L^{-1}$, na campanha de setembro de 2015, onde o valor de referência é de 0,1 mg $L^{-1}$. Já em Pedro do Rio, foram achados 7 valores conformes e, como pior resultado, 5,78 mg $L^{-1}$, também na mesma campanha.

Somente foram encontrados quatro valores alterados de DBO, sendo o maior deles em Parque Petrópolis em abril de 2012, 9,6 mg $L^{-1}$, e em Pedro do Rio cinco valores alterados, sendo o maior deles na mesma amostragem, com 18 mg $L^{-1}$.

O nitrogênio amoniacal apresentou-se elevado em poucas campanhas, somando 16 % dos resultados alterados, sendo o valor mais elevado 8 mg $L^{-1}$, para pH menor que 7,5, que foi encontrado em Parque Petrópolis em 3 (três) campanhas no ano de 2015.

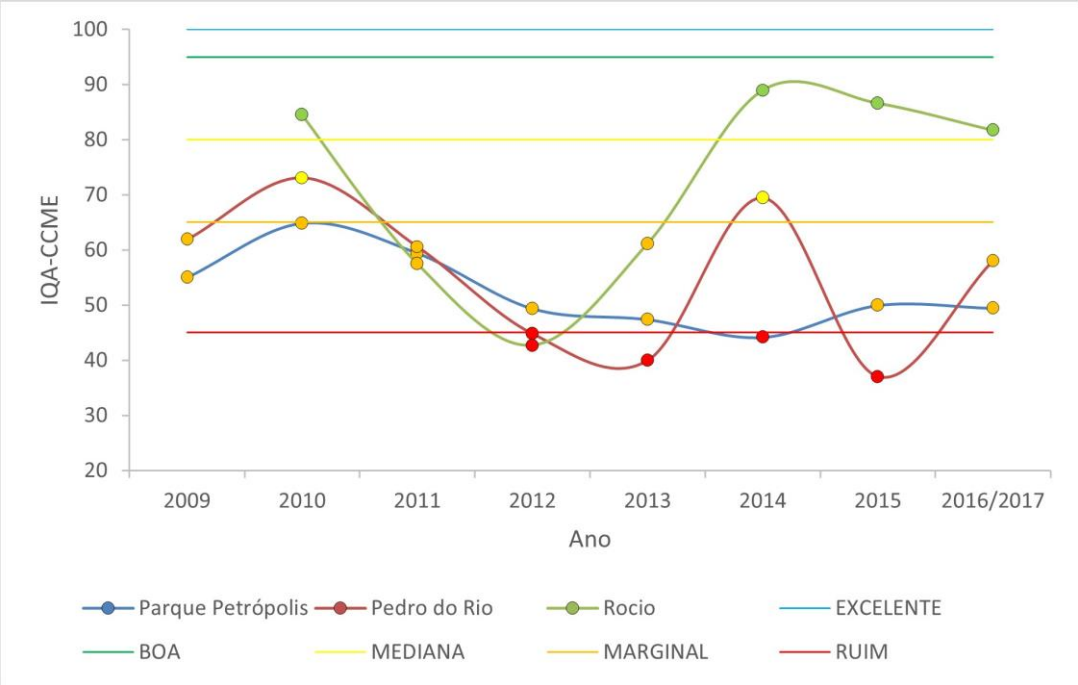
O pH apresentou valores alterados em 13% das amostras, sendo o menor valor encontrado o de 4,85 em dezembro de 2017 em Pedro do Rio. Foi encontrado também um valor acima do limite nessa estação, sendo o de 9,44 em março de 2013. Apesar de alguns valores abaixo, a maioria deles variou na faixa de 5,21 a 5,96, próximo ao limite normativo que compreende a faixa de 6 a 9.

Os parâmetros coliformes termotolerantes e OD se apresentaram em concentrações mais elevadas que os da classe 2, os coliformes em 82 % das campanhas e o OD em 55 %. Pedro do Rio é localizada no exutório dessa bacia e apresenta maiores valores em comparação a Parque Petrópolis. Nesta área da bacia existe uma aglomeração populacional, além de pontos de lançamento de efluentes, como mostrado na Figura 15, o que explica esses valores

relativamente elevados desse parâmetro nessa estação. Aliado a esse fato, não existe ETE em funcionamento nessa região.

Na estação preservada a maior parte desses valores alterados foi observada no início do período estudado, até 2014, indicando uma melhoria da qualidade do rio Piabanha na área da estação Rocio.

Gráfico 7 – Comparação do $IQA_{CCME}$ das bacias de Controle e Preservada.




Fonte: A autora (2020).

### 4.1.3 Comparação dos resultados de $IQA_{NSF}$ versus $IQA_{CCME}$ das estações de monitoramento do Projeto EIBEX

Tanto o $IQA_{CCME}$, quanto o $IQA_{NSF}$, classificam a qualidade dos corpos hídricos em cinco categorias, mas existem algumas diferenças entre elas, como pode ser verificado na Tabela 18. Na categoria de pior qualidade (Muito Ruim para o $IQA_{NSF}$ e Ruim para o $IQA_{CCME}$), por exemplo, o $IQA_{CCME}$ vai até 45, enquanto o índice americano é mais restritivo, ficando até 25. O contrário ocorre na categoria de melhor qualidade, quando o $IQA_{NSF}$ é menos restritivo que o desenvolvido no Canadá. Somente essa questão já gera algumas diferenças na categorização da qualidade do rio Piabanha por esses dois índices.

Tabela 17 – Comparação da composição das categorias do $IQA_{NSF}$ e $IQA_{CCME}$.

| **$IQA_{NSF}$** | | | **$IQA_{CCME}$** | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ***Categoria*** | ***Intervalo*** | ***%*** | ***Categoria*** | ***Intervalo*** | ***%*** |
| **Excelente** | $100 \geq IQA_{NSF} \geq 90$ | 10 | **Excelente** | $100 \geq IQA_{CCME} \geq 95$ | 5 |
| **Boa** | $90 > IQA_{NSF} \geq 70$ | 20 | **Boa** | $95 > IQA_{CCME} \geq 80$ | 15 |
| **Média** | $70 > IQA_{NSF} \geq 50$ | 20 | **Mediana** | $80 > IQA_{CCME} \geq 65$ | 15 |
| **Ruim** | $50 > IQA_{NSF} \geq 25$ | 25 | **Marginal** | $65 > IQA_{CCME} \geq 45$ | 20 |
| **Muito ruim** | $25 > IQA_{NSF} \geq 0$ | 25 | **Ruim** | $45 > IQA_{CCME} \geq 0$ | 45 |

Fonte: A autora (2020).

Outro ponto é o fato de que, mesmo se usando os mesmos parâmetros para cálculo dos dois índices, os resultados obtidos são distintos, uma vez que no NSF cada parâmetro possui um peso respectivo e no CCME o que é levado em conta é se esses valores estão ou não em conformidade com o padrão selecionado, quantos parâmetros apresentaram-se não conformes e o quanto fora dos limites o resultado se encontra. Assim como o peso atribuído no $IQA_{NSF}$, essas determinações também são um fator de importância e que influencia diretamente nos resultados obtidos nesse índice.

No entanto, a diferença mais importante entre esses dois índices é o seu próprio significado; enquanto o $IQA_{NSF}$ avalia se um determinado corpo hídrico tem qualidade especialmente para seu uso para abastecimento; o $IQA_{CCME}$ compara a qualidade do corpo hídrico com algum padrão desejável, seja ele para qual objetivo for.

De acordo com os dados apresentados, o $IQA_{NSF}$ pode ser considerado uma ferramenta muito útil quando se trata de evidenciar o lançamento de efluentes domésticos no corpo hídrico, o que ainda é um cenário existente e importante na bacia representativa do Piabanha.

Apesar do elevado percentual de tratamento de efluentes em Petrópolis (81,4 %), ainda existem locais que não são atendidos pelo sistema de saneamento básico, principalmente comunidades carentes, o que proporciona o aporte de efluentes sem tratamento nos rios da região. Pode-se verificar que a Concessionária Águas do Imperador vem buscando soluções alternativas, por meio de biodigestores e biossistemas, uma vez que um dos principais gargalos no sistema de tratamento de efluentes domésticos é o relevo irregular e íngreme da região.

Para outros tipos de impactos, como, por exemplo, o lançamento de outros tipos de efluentes, como os industriais, ou os provenientes de áreas agrícolas, o $IQA_{NSF}$ não consegue mapear a influência na qualidade da água. Para esses locais onde há diversos fatores de

deterioração da qualidade da água, o melhor artifício é o uso do $IQA_{CCME}$, uma vez que a seleção dos parâmetros é definida por quem irá aplicar o índice, em função do objetivo da realização do monitoramento e das fontes de contaminação presentes no local.

Vale mencionar que o índice canadense é mais flexível que o americano, uma vez que se pode adaptá-lo à realidade da região, parâmetros e limites legais. No americano a ausência de um parâmetro inviabiliza o seu cálculo, mesmo que para todos os outros tenham tido medição. Isso é um fato a ser levado em conta uma vez que, no caso de alguma campanha ou estação apresentar problema, não será possível determinar a qualidade daquela estação ou corpo hídrico, apesar de todos os custos inerentes à realização de amostragens e de análises químicas.

Neste trabalho, encontrou-se essa limitação e, por isso, apesar do esforço para as medições realizado pelo SGB/CPRM, não foi possível calcular o $IQA_{NSF}$ nas estações de monitoramento nas campanhas 1 a 20 e 33 a 46, já que essas não apresentavam todos os valores dos parâmetros que compõem o índice. Os anos de 2013 a 2015 também apresentaram campanhas que não estavam completas, no entanto, como os valores foram agrupados para a obtenção de um índice anual, foi possível realizar o cálculo para esse intervalo.

Em relação à aplicação do $IQA_{CCME,}$ que necessita de quatro parâmetros em quatro campanhas para o seu cálculo (CCME, 2001), no caso desse trabalho, que o período utilizado foi anual, teve-se que agrupar os dois últimos anos de monitoramento uma vez que, em cada um desses anos, separadamente, não foram realizadas quatro campanhas. Em função disso, para comparação entre os resultados dos índices, foi realizado o mesmo agrupamento de anos com o índice americano.

Alguns estados brasileiros usam seu próprio IQA ou a composição da CETESB como referência, no caso de não possuir um índice próprio. Esses fatores dificultam a comparação entre entes federativos, uma vez que parâmetros e pesos são diferentes, e por vezes as faixas de valores utilizadas também são diferentes.

O modelo canadense, nesse quesito, apresenta a vantagem de utilizar limites legais para comparação e, no caso de legislações federais, como a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), seria possível criar um padrão nacional para cálculo, ou ainda possibilitar o uso em complemento ao índice americano já praticado.

Os parâmetros utilizados nesse trabalho para o cálculo do índice canadense levam em conta a classificação dos rios como sendo classe 2, uma vez que ainda não existe o enquadramento nessa bacia. No entanto, apesar da classe da água ser compatível com os seus usos, é importante saber que as águas dessa bacia servem de fonte de abastecimento para a

região serrana, e qualquer aporte que altere a qualidade da água é prejudicial para a população.

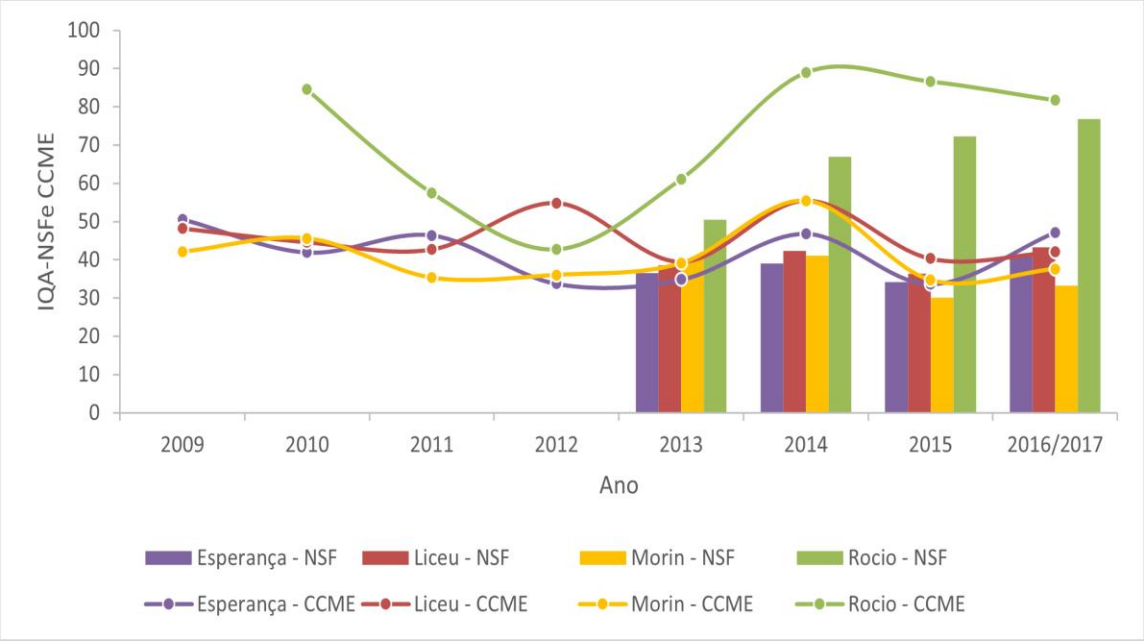
Em relação às variáveis utilizadas para os cálculos dos índices, o método americano apresenta em comum com o canadense os parâmetros DBO, fósforo total, nitrato, OD, pH, turbidez, coliformes termotolerantes, além dos sólidos dissolvidos totais e temperatura. Para o cálculo do $IQA_{CCME}$ foram utilizados no cálculo, em adição aos comuns com o $IQA_{NSF}$, o nitrogênio amoniacal, alumínio e ferro. Em relação ao $IQA_{CCME}$, o parâmetro "sólidos dissolvidos totais" não foi utilizado por não ter praticamente se alterado ao longo das medições, e temperatura por não ter limite legal aplicável na Resolução CONAMA nº 357/2005, somente para o caso de lançamento de efluentes.

A seguir, é possível verificar a variabilidade dos valores dos IQAs aplicados, em cada estação de monitoramento, ao longo do período monitorado (Gráfico 8, Gráfico 9 e Gráfico 10).

A bacia experimental urbana é a área com maior população na bacia, onde está localizado o Centro de Petrópolis, e onde as estações de monitoramento apresentarem os piores IQAs para os dois métodos empregados. As ETEs da região somente possuem tratamento secundário.

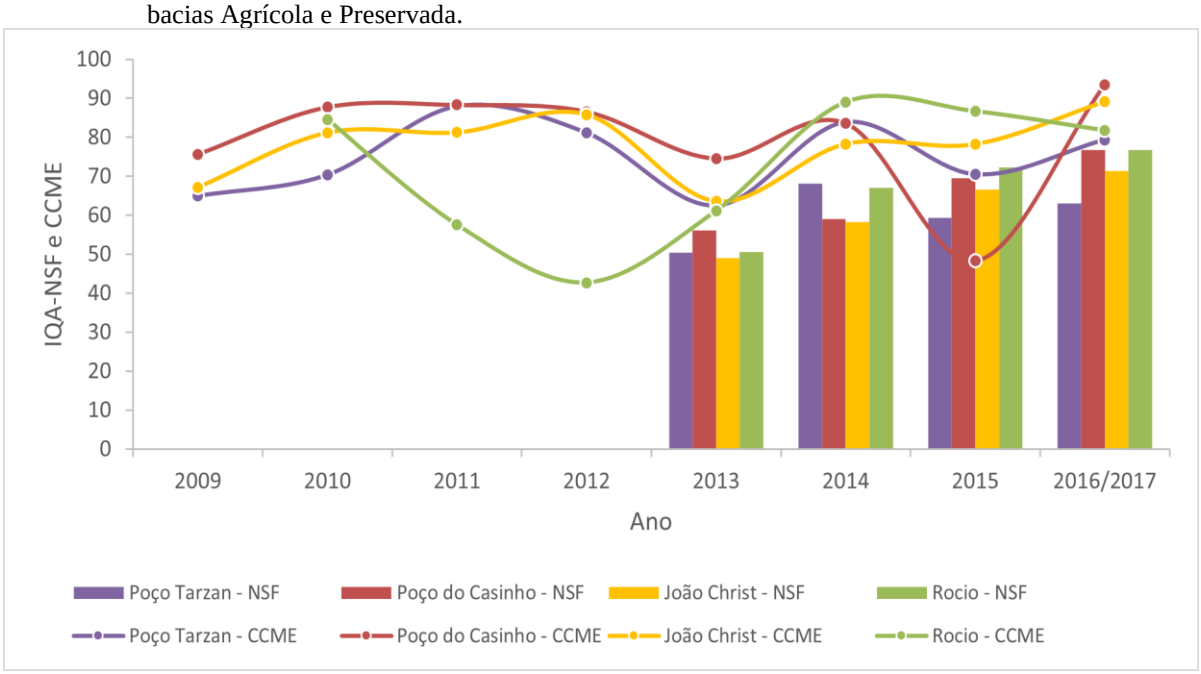
A Concessionária Águas do Imperador opera algumas estações de tratamento de esgoto particulares, como é o caso da localizada no hospital Unimed nessa bacia. Também a ETE Piabanha recebe efluente domiciliar. Essas duas ETEs lançam seus efluentes no próprio rio Piabanha, nas proximidades das estações Esperança (EIBEX) e Piabanha (INEA). Cabe dizer que as características de efluentes hospitalares são diferentes de efluentes domésticos.

Gráfico 8 – Comparação dos valores de $IQA_{NSF}$ e $IQA_{CCME}$ das estações de monitoramento localizadas nas bacias Urbana e Preservada.



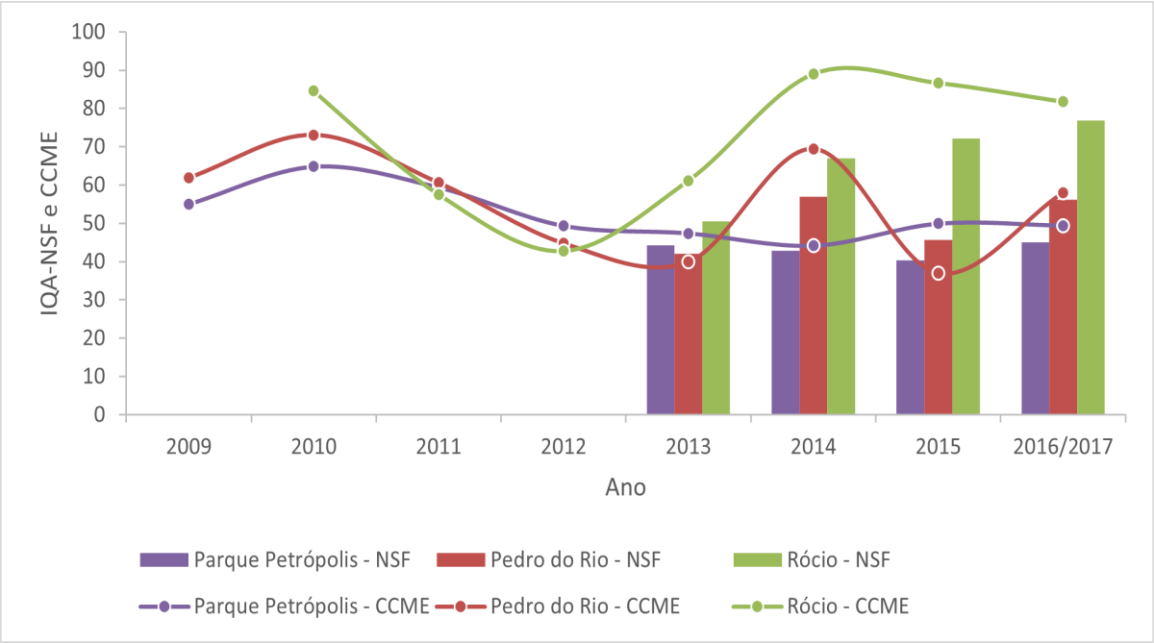

Fonte: A autora (2020).

Gráfico 9 – Comparação dos valores de $IQA_{NSF}$ e $IQA_{CCME}$ das estações de monitoramento localizadas nas bacias Agrícola e Preservada.




Fonte: A autora (2020).

Gráfico 10 – Comparação dos valores de $IQA_{NSF}$ e $IQA_{CCME}$ das estações de monitoramento localizadas nas bacias de Controle e Preservada.




Fonte: A autora (2020).

Apesar das diferenças já apontadas entre os índices, foi observado que os valores calculados foram coerentes e até bem próximos. De uma forma geral, os dois índices, mesmo apresentando valores diferentes, apontam para a mesma tendência de evolução entre os anos. Vias de regra, os valores do índice $IQA_{CCME}$ são maiores e há uma amplitude maior dos aumentos ou decréscimos de valores ao longo dos anos.

No Gráfico 11, abaixo, são apresentados o $IQA_{NSF}$ e o $IQA_{CCME}$ médios de cada estação de monitoramento calculados para o período de 2013 a 2017, visto que nesse período foi possível calcular os IQAs pelos dois métodos.

Em relação ao $IQA_{NSF}$, é possível constatar que a bacia urbana (Esperança, Liceu e Morin) e as estações de controle (Parque Petrópolis e Pedro do Rio) apresentaram piores índices. No entanto, em comparação a bacia de uso urbano, o exutório em Pedro do Rio apresentou melhora no índice, com alteração da categoria de qualidade “Ruim” para “Média”, assim como as outras estações monitoradas. Cabe destacar que nenhuma estação, no Gráfico 20, se apresentou com qualidade “Boa” ou “Excelente”, o mesmo valendo para a categoria “Muito Ruim”.

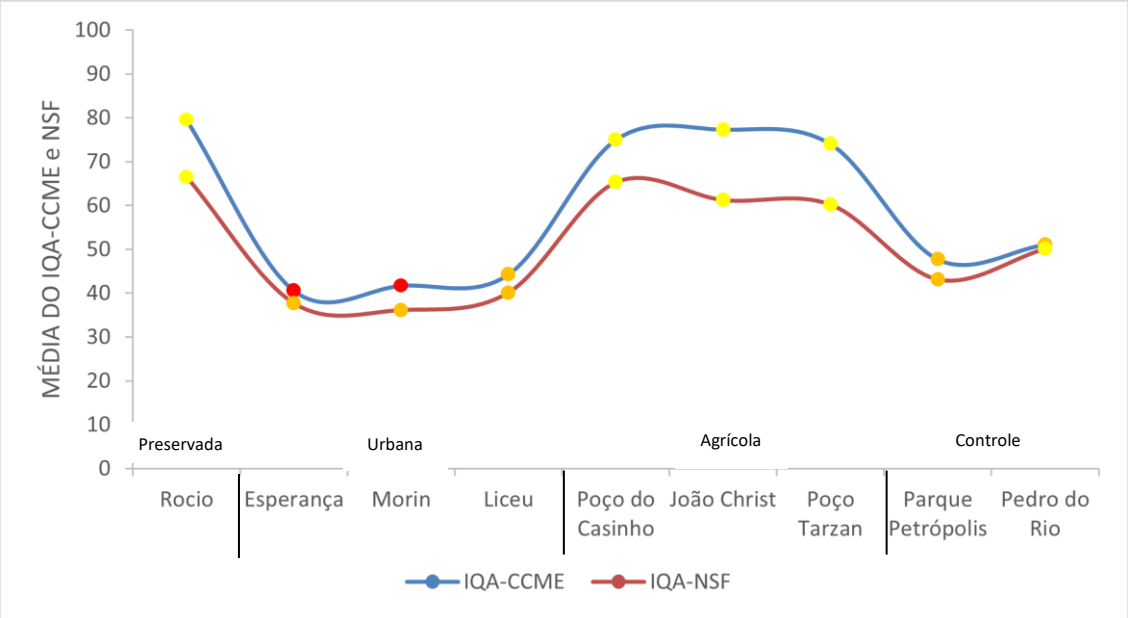
Para o $IQA_{CCME}$, verificou-se que as estações da bacia urbana de Esperança e Morin apresentam qualidade categorizada como “Ruim”, que é a pior para esse índice. A jusante dessas estações, quando o rio Palatinato deságua no Piabanha, ocorre ligeira melhora da qualidade, passando para a categoria “Marginal” na estação de Liceu, ainda no limite da bacia

urbana, que significa que a qualidade da água está frequentemente afetada. As estações da bacia agrícola, sendo elas Poço do Casinho, João Christ e Poço Tarzan, foram as que apresentaram melhores índices, com a categoria “Mediana”, que denota qualidade da água protegida, mas com ocorrência de ocasionais impactos. A estação de Poço do Casinho quase obteve a categoria “Boa” como resultado, que é quando a qualidade da água está protegida, mas com ocorrência de algum grau de impacto.

Já Parque Petrópolis, que fica a jusante das bacias experimentais, devido ao aporte da bacia agrícola, melhora seus índices até chegar a Pedro do Rio, que possuiu resultado melhor quando comparado a bacia urbana. Essa melhora denota que a qualidade do rio Piabanha consegue se recuperar um pouco antes de sair dessa bacia. Cabe mencionar ainda que o $IQA_{CCME}$ das bacias controle e preservada apresentaram valores mais elevados do que o modelo americano. No entanto, devido ao intervalo mais restritivo do modelo canadense, comparativamente o americano apresentou melhores categorias.

Mais uma vez, foi verificada uma grande similaridade dos resultados obtidos pelo cálculo do $IQA_{NSF}$ e do $IQA_{CCME}$ (Gráfico 11). A diferença maior foi verificada nas estações de uso agrícola.

Gráfico 11 – Média dos valores de IQAs de cada estação de monitoramento do projeto do EIBEX. Período considerado de 2013 a 2017.




Legenda: Categorias do $IQA_{NSF}$: média (amarelo) e ruim (laranja). Categorias do $IQA_{CCME}$: mediana (amarelo), marginal (laranja) e ruim (vermelho).

Fonte: A autora (2020).

## 4.2 **Aplicação do IQA nas estações do INEA**

### 4.2.1 Aplicação do $IQA_{NSF}$

Após a obtenção dos dados brutos de monitoramento das estações do INEA, calculou-se o valor de $IQAs_{NSF}$ de cada campanha de monitoramento para as estações Piabanha e Santo Antônio. Em seguida, esses dados foram agrupados e foi calculada a média anual de cada um desses parâmetros, e a média do período considerado (Tabela 19).

Foi utilizada a escala de cores já apresentada para caracterizar as faixas de valores apresentadas, de acordo com o que é utilizado no INEA, no qual a cor vermelha é resultado de qualidade "Muito Ruim", o laranja significa o "Ruim", o amarelo qualidade "Média", a verde a "Boa" e a azul representa a qualidade "Excelente".

Tabela 18 – Média anual do $IQA_{NSF}$ das estações de monitoramento do INEA situadas dentro da bacia representativa do rio Piabanha.

| ***Ano / Estação*** | ***Piabanha*** | ***Santo Antônio*** |
|---|---|---|
| **2012** | 41,4 | - |
| **2013** | 25,6 | 37,5 |
| **2014** | 41,4 | 45,9 |
| **2015/16/17** | 47,3 | 55,2 |
| **Média do período** | 38,9 | 46,2 |

Fonte: A autora (2020).

Não foram calculados os $IQAs_{NSF}$ para os anos de 2009 a 2011 para a estação Piabanha, e de 2009 a 2012 para a Santo Antônio, devido à ausência de algum(ns) dado(s) ou pela não realização de monitoramento, no caso da estação Santo Antônio.

Via de regra, as duas estações de monitoramento do INEA tiveram qualidade "Ruim" durante todo o período considerado, à exceção de 2015/2016/2017, na estação Santo Antônio, onde foi obtida classificação na categoria "Média" segundo o $IQA_{NSF}$.

É possível observar ainda com esses resultados que a qualidade da água em Santo Antônio apresentou melhora ao longo do período de monitoramento e sempre foi um pouco melhor que a da estação Piabanha, uma vez que esta é localizada em área de maior concentração urbana e de lançamento de efluentes.

### 4.2.2 Aplicação do $IQA_{CCME}$

Como para o cálculo do $IQA_{NSF}$, foram usados os dados do Programa de Monitoramento Sistemático do INEA para obter o $IQA_{CCME}$ anual das estações de monitoramento Piabanha e Santo Antônio (Tabela 20). Da mesma forma, foi calculada a média desses índices, para a obtenção de um único valor para o período, como mostrado abaixo, sendo usada também a mesma faixa de cores para os intervalos; onde a cor vermelha denota qualidade "Ruim", o laranja demonstra qualidade "Marginal", o amarelo representa qualidade "Mediana", a verde a "Boa" e a azul a qualidade "Excelente".

Tabela 19 – Média anual do $IQA_{CCME}$ das estações de monitoramento do INEA situadas dentro da bacia representativa do rio Piabanha.

| ***Ano / Estação*** | ***Piabanha*** | ***Santo Antônio*** |
|---|---|---|
| **2009** | 71,27 | - |
| **2010** | 61,67 | - |
| **2011** | 58,03 | 36,71 |
| **2012** | 23,97 | |
| **2013** | 23,68 | |
| **2014** | 30,49 | 38,74 |
| **2015/16/17** | 37,76 | 50,71 |
| **Média do período** | 43,84 | 42,06 |

Fonte: A autora (2020).

Foi necessário agrupar os anos de monitoramento das duas estações para o período de 2015 a 2017 devido ao número reduzido de campanhas.

As duas estações apresentaram as médias anuais bem próximas, considerando todo o período avaliado. No entanto, os melhores índices da estação Piabanha foram obtidos nos anos 2009, 2010 e 2011, anos em que não houve monitoramento em Santo Antônio.

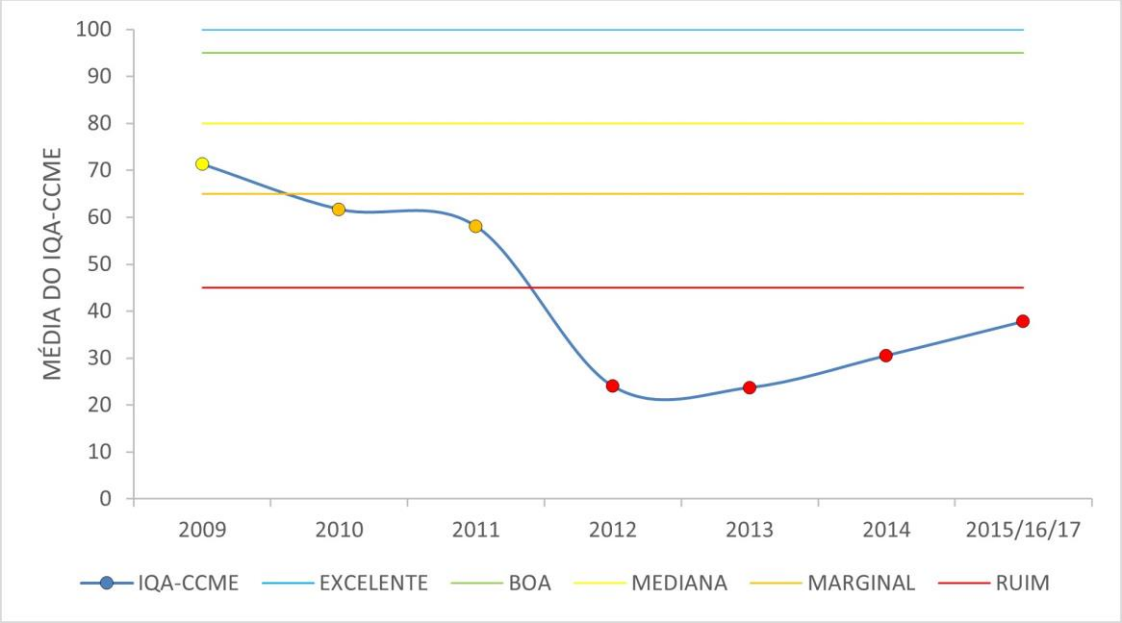
Na estação Piabanha é possível verificar claramente uma piora na qualidade ao longo do monitoramento indo da categoria "Mediana" em 2009 até "Ruim" de 2012 a 2017 (Gráfico 12). Infelizmente não foi possível calcular o $IQA_{CCME}$ de Santo Antônio no mesmo período. Para essa estação, na maior parte dos anos de monitoramento também apresentou na categoria "Ruim", com uma melhora no último período considerado 2015/2016/2017, indo para a categoria "Mediana".

Nas duas estações do INEA houve descontinuidade no monitoramento de alguns parâmetros, o que prejudica a análise da qualidade da água.

Na estação Santo Antônio se observa uma melhoria recente da qualidade, e, nesse caso, há uma evolução de categoria indo da "Ruim" para a "Mediana" no período 2015/2016/2017.

Apesar da piora da qualidade no período de 2009 a 2013, a estação Piabanha, a partir de 2014, teve um aumento paulatino dos valores do $IQA_{CCME}$, contudo não suficiente para mudança de categoria, mas é um ponto positivo na evolução da qualidade da água desse corpo hídrico.

Gráfico 12 – Média dos valores do $IQA_{CCME}$ da estação Piabanha/INEA. Período considerado de 2009 a 2017.




Fonte: A autora (2020).

Na estação de monitoramento Piabanha, os coliformes termotolerantes foram determinados em concentrações superiores aos limites da Resolução CONAMA nº 357/2005 para corpos hídricos classe 2 (BRASIL, 2005), o mesmo ocorrendo com o fósforo, à exceção de fevereiro de 2009. O valor de nitrogênio amoniacal esteve superior a limite em cerca de ¼ das amostragens e a DBO em metade, com mínimo de 6,0 e máximo de 24,5 mg $L^{-1}$, em 2013. Já o OD, em 55% das amostragens foi inferior a 5 mg $L^{-1}$, valor mínimo para águas doces da classe 2. Esses parâmetros com concentrações elevadas, em conjunto com os baixos teores de OD, em geral entre 4 e 5 mg $L^{-1}$, apontam influência de lançamento de esgotos domésticos nessa estação.

Já a estação de Santo Antônio apresentou, durante o período considerado, todos os parâmetros em geral com valores conformes em relação à Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), à exceção dos coliformes termotolerantes, cujas concentrações sempre estiveram acima do normativo, que é 1.000UFC 100 $mL^{-1}$, e do fósforo, que chegou a atingir 3,4 mg $L^{-1}$. Vale apontar que foi encontrada alta turbidez em 2013 nas duas estações.

### 4.2.3 Comparação dos resultados de $IQA_{NSF}$ versus $IQA_{CCME}$ das estações de monitoramento do INEA

As 2 (duas) estações de monitoramento do INEA são localizadas em áreas urbanizadas, sendo a estação Piabanha na região mais ocupada da bacia, próxima ao centro. Esta estação fica localizada a jusante de onde são encontradas as maiores ETEs dessa bacia, conforme já destacado.

Já Santo Antônio, apesar da menor ocupação em relação à região central do município, é uma área sensível, onde a urbanização ocorreu sem planejamento e também ao longo das margens do rio Piabanha, o que afeta as suas áreas de proteção. É uma região que sofre com os problemas de enchentes, como a ocorrida em 2011 no vale do rio Cuiabá, que é um afluente do rio Santo Antônio. Esse desastre foi responsável, além das perdas humanas e materiais, pelo aporte de sedimentos ao curso do rio Cuiabá, do seu assoreamento em alguns trechos, o que afeta diretamente a qualidade da água.

Para o cálculo do índice canadense foram utilizados os dados de fósforo total, nitrato, coliformes termotolerantes, DBO, OD, pH, turbidez e nitrogênio amoniacal, sendo que esse último não entra no cálculo do $IQA_{NSF}$. Não foi utilizado o parâmetro “sólidos dissolvidos

totais” uma vez que não foi um parâmetro que apresentou variações ao longo do período estudado. Já a temperatura não foi usada pelo fato de que não ter limite legal aplicável na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), somente para o caso de lançamento de efluentes.

Vale destacar que os dois índices apresentaram semelhança nos resultados. No entanto, sua interpretação é diferenciada, uma vez que o $IQA_{NSF}$ leva em conta uma qualidade desejável da água para sua utilização para abastecimento público, enquanto o $IQA_{CCME}$ compara a qualidade do corpo hídrico em relação à qualidade que deveria ter segundo seus usos, a partir dos limites da Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005).

Convém mencionar que em função do $IQA_{CCME}$ não utilizar parâmetros fixos, apenas exigir um mínimo de quatro campanhas para o seu cálculo, torna-se possível a partir de seus resultados ter um histórico das duas estações de monitoramento do órgão ambiental, como é visto no caso da estação Piabanha. Já para o método do IQA americano, a ausência de resultado de algum dos parâmetros inviabiliza o seu cálculo.

## 4.3 **IQAs e tratamento de efluentes**

O tratamento de efluentes promove a melhoria da infraestrutura urbana, uma vez que por meio dele ocorre a melhoria de qualidade de vida, já que a ausência de saneamento ambiental é um fator determinante para a ocorrência de mortandade e doenças. O contato com efluente poluído, principalmente durante as enchentes que são comuns na região também acaba sendo uma possibilidade de transmissão de doenças.

Cabe ressaltar que pelas condicionantes da licença ambiental de todas essas ETEs verificadas, existe a necessidade de reportar ao órgão ambiental o resultado do monitoramento do efluente tratado. Observou-se de maneira geral que os empreendimentos demoraram a se adequar a essa exigência, que é uma autodeclaração realizada em sistema específico. Foi visto ainda que também ocorreu ausência de declaração de alguns parâmetros. Ocorreram casos ainda de realização de vistorias nas ETEs, onde não havia profissionais para realizar a sua operação ou houve dificuldade de acesso a registros. A ausência de profissional é um fator crítico, pois mesmo que a ETE seja equipada com sistemas automáticos, nem todas são assim, e o mesmo pode ainda apresentar falhas, que um operador facilmente atenderia. Por outro lado, também foi verificada a realização de vistoria técnica por parte do órgão ambiental sem

a presença de profissional habilitado para a função, o que também demostra fragilidade do órgão ambiental.

Outro problema enfrentado é a questão do uso do sistema do órgão ambiental, que por vezes não é estável, então acaba sendo um problema para o seu usuário. Vale mencionar ainda o fato que normalmente os operadores das ETEs podem não ter o conhecimento técnico para o uso desses sistemas informatizados ou para a geração de registros de seu trabalho, necessitando de capacitação, o que pode ser um limitador para acesso a informações.

Em acréscimo a esse fato, existe também a dificuldade do órgão ambiental de realizar fiscalizações com frequência, tanto por meio da realização de visitas tanto por análise de documentação, seja no sistema ou aquelas protocoladas. As empresas de modo geral acabam ainda por vezes entregando excesso de documentação e nem sempre a documentação é o que o órgão precisa, o que também é um limitador para o trabalho de fiscalização, e o órgão ambiental acaba não atuando como deveria por carência de recursos e de pessoal habilitado.

A seguir é possível verificar por bacia experimental a interação entre os IQAs obtidos e o tratamento de efluentes na região.

### 4.3.1 Bacia experimental preservada

A bacia preservada, estação de Rocio, foi a que apresentou os melhores valores de $IQA_{NSF}$ em toda a bacia representativa

Apesar da melhora anual nos últimos anos do monitoramento, ainda não foi suficiente para atingir a categoria de “Boa” quando calculada a média de todos os anos de monitoramento, devido ao início do monitoramento apresentar resultados piores.

Contudo, mesmo não havendo lançamento de efluentes mapeado na área da estação Rocio, de 2009 a 2014 foram determinados valores relativamente elevados de coliformes, forte indício do lançamento de esgotos domésticos no rio Piabanha.

A região, apesar de ser considerada preservada, tem o entorno ocupado por alguns condomínios, cujo número vem aumentando ao longo dos anos. Inclusive a estação Rocio fica localizada dentro de um deles.

Este fato demonstra que pode estar ocorrendo tanto o lançamento irregular de efluentes sanitários ou ainda o lançamento sem tratamento adequado, pelo menos no período em que foram detectados os menores valores dos índices $IQA_{NSF}$ e $IQA_{CCME}$.

É comum na região o uso de sistema de fossa filtro como tratamento do esgoto, além de captação de água em poços. Caso a fossa esteja mal posicionada ou não esteja funcionando de forma adequada, além da contaminação do solo, pode contaminar o aquífero, e por consequência o corpo hídrico próximo.

Apesar da melhoria dos valores dos índices ao longo do período estudado, sugere-se a alteração da localização da estação Rocio, ou inclusão de uma nova, mais a montante, para que as informações obtidas possam de fato funcionar como um *background* da bacia, e que possam ser utilizadas para avaliação dos impactos de uso de ocupação do solo, como aponta Villas Boas (2018).

### 4.3.2 Bacia experimental urbana

Na estação Piabanha, do INEA, pode-se verificar que em quase todas as campanhas o fósforo total, coliforme termotolerantes, DBO e OD estavam alterados, o que pode ser resultado dos pontos de lançamento de efluentes nas proximidades dessa estação, inclusive aqueles oriundos das ETEs, uma vez que esses parâmetros são indicadores de carga poluidora de origem orgânica.

A estação Liceu, do monitoramento EIBEX apresenta elevação dos resultados dos índices, o que indica uma melhoria na qualidade do rio, mesmo após todos os lançamentos de efluentes que ocorrem nessa bacia. Esse fato sugere ainda uma certa capacidade de autodepuração do rio Piabanha. É preciso considerar, no entanto, a existência do túnel extravasor da bacia do rio Palatinato para o rio Itamarati que desvia boa parte das águas poluídas a montante para jusante de Liceu.

Apesar da melhoria de qualidade da água na estação Liceu, comparada às estações Esperança e Morin, esse fato ainda não é suficiente para melhorar a qualidade da água dessa bacia de forma significativa, o que pode ser visto nos resultados obtidos nos dois índices estudados.

Os valores dos IQAs nas estações próximas às saídas dos efluentes das ETEs podem ser influenciados pelas operações das próprias ETEs, em especial pelos seus desempenhos que podem apresentar parâmetros não conformes.

Em relação à estação de Palatinato, a mesma recebeu chorume proveniente de aterro durante parte do tempo de monitoramento deste trabalho. Esse tipo de efluente possui elevada

carga de DBO e nitrogênio amoniacal, além de possuir alguns compostos tóxicos, sendo muito mais poluente que os esgotos domésticos. Foi pleiteado por essa mesma estação receber efluente industrial de complexo cervejeiro. Esses fatores juntos podem influenciar eventualmente no desempenho da ETE, apesar dos pré-tratamentos específicos adotados.

Em relação às localizações das estações de monitoramento da bacia urbana, sugere-se que seja verificada a possibilidade de realocação da estação de Morin para jusante do lançamento de ETE Palatinato, para verificar de fato a contribuição desta na qualidade de água da bacia, uma vez que a mesma recebe efluentes de origem industrial e de aterro sanitário.

### 4.3.3 Bacia experimental agrícola

O único sistema de tratamento nesta bacia experimental é o do Bonfim, localizado a jusante das estações EIBEX.

Tratando-se do $IQA_{CCME}$, os resultados da bacia são melhores inclusive que a bacia preservada, apesar de próximos, sendo a de melhor qualidade de água a de Poço do Casinho, primeira estação da bacia, que poderia servir como de referência para esta bacia.

Já com o $IQA_{NSF}$, os resultados apresentados foram inferiores aos da bacia preservada, mas próximos também, inclusive com a mesma categoria.

Pode-se verificar pouca alteração de qualidade em relação a essas estações, apesar de João Christ e Poço do Casinho estarem localizadas em afluentes formadores do rio do Bonfim.

Como mencionado em Villas Boas (2018), devido à proximidade desses resultados, poderia ser proposta a extinção da estação de João Christ e manutenção das outras duas estações, além da alteração de local de Poço Tarzan para as proximidades do exutório da bacia agrícola.

### 4.3.4 Bacia de controle

Na região da estação Parque Petrópolis a caminho da estação Pedro do Rio, houve ao longo do tempo de monitoramento um aumento da ocupação urbana, inclusive com a construção de condomínios na região, o que acarreta em aumento na geração de efluentes e sua respectiva necessidade de tratamento adequado.

Após a saída da bacia urbana até Pedro do Rio, exutório da bacia representativa, há somente uma ETE em operação, a de Corrêas, que é próxima à bacia agrícola. Dessa forma, até o exutório da bacia, somente existem outros sistemas menores para tratar os efluentes gerados, uma vez que a ETE existente nesse percurso, a de Granja Brasil atende a um só empreendimento.

A evolução do $IQA_{CCME}$ na estação Parque Petrópolis causa preocupação em função da carência em estações de tratamento de esgotos na região e do aumento da pressão antrópica, representada pelo aumento do número de moradias na área.

Comparando com os resultados obtidos para a estação de monitoramento de Santo Antônio, do INEA, localizada a jusante de Parque Petrópolis, é perceptível uma melhoria da qualidade da água, o que demostra recuperação do rio até o exutório em Pedro do Rio.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em primeiro lugar, o monitoramento da qualidade das águas é de fundamental importância para a gestão dos recursos hídricos. O uso de ferramentas, como os IQAs, permite a obtenção de informações e resultados de forma objetiva, tanto para pesquisadores, quanto para a população.

O programa institucional do SGB/CPRM, que adota a sistemática de bacia representativa e experimentais para o monitoramento hidrológico, permite a realização de estudos, além da geração de fonte de dados e estímulo à pesquisa, que podem servir como base para outros trabalhos e para a própria gestão de recursos hídricos da RH na qual o projeto está inserido.

Segundo o cálculo do $IQA_{NSF}$ anual para as estações EIBEX, no período considerado de 2013 a 2016/2017, em nenhuma campanha ou estação de monitoramento foi observada a melhor categoria de qualidade, "Excelente". A categoria "Boa" respondeu por somente 11 % dos resultados, a "Média" por 36 %, enquanto a categoria "Ruim", por 53 %. Portanto a aplicação desse índice na bacia representativa do rio Piabanha evidenciou que a maior parte das estações se apresentam com qualidade "Ruim", o que equivale a um ambiente com qualidade da água frequentemente afetada o que acaba por afastar das condições naturais ou desejáveis, tendo como base os parâmetros de qualidade descritos para a classe 2, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005).

Já nas estações do INEA, nos períodos que foi possível calcular o $IQA_{NSF}$, de 2012 a 2014 e 2015/2016/2017, estes últimos precisaram ser unificados para comparação com o método canadense; e para a estação de Santo Antônio o período de 2011/2012/2013, 2014 e 2015/2016/2017, verificou-se que todos os 4 (quatro) resultados obtidos na estação Piabanha apresentaram-se na categoria "Ruim", enquanto que dos 3 (três) resultados obtidos para a estação Santo Antônio, 2 (dois) deles ficaram na categoria "Ruim" enquanto 1 (um) na categoria "Média", evidenciando a baixa qualidade desses locais.

Em uma avaliação geral, o $IQA_{CCME}$ das estações EIBEX do período de 2009 a 2016/2017, apresentou 28% dos resultados na pior categoria, a "Ruim", na categoria "Marginal" 35%, 14% na "Mediana" e 23% na categoria "Boa", também não apresentando nenhum resultado na melhor categoria, a "Excelente". Dessa forma, a maior parte dos resultados encontram-se na categoria "marginal", onde a qualidade da água está afetada com

frequência, com condições que frequentemente se afastam das condições naturais ou desejáveis.

Tratando-se das estações localizadas na área agrícola, foram verificadas algumas violações para o parâmetro alumínio para o padrão da classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005). Sendo assim, sugere-se o acompanhamento desse parâmetro para que se possa investigar o motivo dessa alteração.

Observou-se semelhança entre os valores dos IQAs, para as estações EIBEX e do INEA para o período de 2013 a 2017. Comparativamente, em relação aos dados de $IQA_{NSF}$ obtidos das estações EIBEX, duas estações apresentaram como resultado a categoria "Média", a estação preservada de Rocio e a estação de controle Pedro do Rio (exutório da bacia); toda bacia urbana (Esperança, Morin e Liceu) e agrícola (Poço do Casinho, João Christ e Poço Tarzan), e de controle de Parque Petrópolis apresentaram resultado para o $IQA_{NSF}$ médio, a categoria "Ruim". Por outro lado, os valores obtidos do $IQA_{CCME}$ para essas estações do EIBEX, foram categorizados como "ruim" em Esperança e Morin; "Marginal" em Liceu, Parque Petrópolis e Pedro do Rio e "Mediana" em Rocio, Poço do Casinho, João Christ e Poço do Tarzan. Resultados na categoria "Ruim" do $IQA_{NSF}$ significam que a qualidade do rio Piabanha está distante da desejável para o abastecimento público, uma vez que esse índice foca nessa questão. Já os resultados na categoria "Ruim" do $IQA_{CCME}$ denotam que a qualidade da água quase sempre está afetada e que suas condições sempre ou quase sempre se afastam das naturais ou desejáveis, tendo como base a qualidade de uma água classe 2, que foi utilizada como padrão de qualidade, uma vez que a bacia não possui enquadramento. Mesmo as melhores estações, classificadas como "Mediana" pelo $IQA_{CCME}$, não têm a qualidade desejável aos seus usos propostos.

Sugere-se que o $IQA_{NSF}$ e o $IQA_{CCME}$ sejam usados de forma complementar na bacia representativa do rio Piabanha, uma vez que eles respondem a questões diferentes. O $IQA_{NSF}$ tem como principal objetivo a verificação da qualidade da água para o consumo humano, enquanto o $IQA_{CCME}$ pode ter vários objetivos, a depender da escolha dos parâmetros e dos limites para a sua aplicação.

Como a bacia representativa do Piabanha é uma bacia de estudo, apesar da principal fonte de poluição seja de origem urbana, considerou-se o IQA canadense um melhor método para o acompanhamento do seu monitoramento, visto que ele pode incluir parâmetros críticos para a qualidade da água nas três bacias experimentais e na de controle. Dessa forma, esse índice pode captar as diferenças de qualidade decorrentes de aportes típicos de cada uma delas, o que é um facilitador para os gestores dos recursos hídricos. No entanto, depende de

pessoal capacitado para a seleção dos parâmetros a considerar para o índice. Assim como o IQA americano, o canadense também permite que a população obtenha informações de qualidade da água, representadas em um único número e com a sua respectiva categoria.

Em acréscimo, o $IQA_{CCME}$ ainda permitiu que um número maior de campanhas fosse incluído na análise, inclusive um período mais longo de observação em função de ausências de determinados parâmetros que inviabilizam o cálculo do $IQA_{NSF}$.

Apesar de o monitoramento de qualidade de água no estado do Rio de Janeiro ter iniciado na década de 1980, no site do INEA só existem dados brutos para a região do rio Piabanha a partir do ano de 2014, e para o $IQA_{NSF}$ calculado a partir de 2012. O INEA liberou os dados de período anterior mediante solicitação ao departamento responsável. Para assegurar o princípio da publicidade desses dados para acesso à população de forma facilitada, o que é de suma importância para conhecimento da qualidade da água, sugere-se a disponibilização de toda a série histórica no site do órgão estadual de meio ambiente.

Outro fato importante é a questão da metodologia de cálculo do $IQA_{NSF}$ utilizada pelo INEA. Embora a metodologia descrita no próprio site do INEA faça menção ao uso do parâmetro fosfato total, inclusive na curva do método referente ao fósforo (INEA, 2019), na prática em seus boletins consolidados do índice $IQA_{NSF}$ ou dos dados brutos fica evidente que o parâmetro utilizado é o fósforo total. Essa informação deve ser retificada, pois é o índice oficial utilizado no estado e deve ser padronizado para evitar quaisquer tipos de erros ou de interpretações equivocadas.

Os valores de IQAs refletem a qualidade da água de uma região e respondem a processos antrópicos e naturais. A qualidade da água da bacia experimental do rio Piabanha reflete a ocupação urbana, as atividades industriais e agrícolas, bem como alguns processos naturais. Essa região é sujeita a desastres naturais que são agravados pelas ocupações irregulares em encostas e ao longo do leito de rios.

Essa área da Região Hidrográfica IV - Piabanha está em processo de estudo para o enquadramento de seus corpos hídricos. Essa pesquisa poderá colaborar com esses estudos.

Com a realização do enquadramento desta bacia será possível ajustar a realidade das águas na região com os cenários de melhoria, o que facilitará aos gestores de recursos hídricos da bacia a tomada de decisão, criação de projetos e investimentos adequados, além da realização do próprio monitoramento.

A manutenção e atualização de um banco de dados permanente de qualidade das águas são de fundamental importância e para que isso ocorra na bacia representativa do rio Piabanha

é necessário, além da cooperação entre as instituições, a divulgação adequada e ampla desses dados para a população.

Em relação aos parâmetros monitorados pelo SGB/CPRM, no Projeto EIBEX, verificou-se, como Villas Boas (2018), que vários poderiam ser descontinuados no monitoramento, uma vez que seus resultados não apresentam relevância para a determinação da qualidade da água do rio Piabanha. Dessa forma, sugere-se que seja feita uma análise crítica do monitoramento, à luz dos resultados já obtidos, a fim de se realizar adequações, sejam em relação aos parâmetros monitorados, quanto à frequência de realização de todas as análises, em especial dos parâmetros que não apresentaram alteração ao longo do período de execução do projeto institucional. Os parâmetros monitorados que apresentaram maiores alterações foram aqueles ligados à poluição de origem doméstica. Sugere-se ainda que seja verificada a possibilidade da inclusão no monitoramento da temperatura do ar, uma vez que o método oficial de cálculo de IQA utilizado no estado do Rio de Janeiro, o $IQA_{NSF}$, utiliza a diferença entre as variáveis temperatura do ar a da água.

Considerando-se a localização das estações de monitoramento do Projeto EIBEX, sugeriram-se alterações de localização das estações Rocio, Morin e Poço Tarzan, além da extinção da estação de João Christ. Essas alterações visam a adequar a rede de monitoramento aos pontos de aportes significativos de efluentes na região.

Verificou-se que o tratamento de efluentes é um grande aliado para a melhoria da qualidade das águas, o que influi diretamente nos resultados de $IQA_{NSF}$, uma vez que os valores desse índice respondem bem à poluição por efluentes de origem doméstica. Dessa forma, devido aos baixos valores de $IQA_{NSF}$ observados, consequência de alteração principalmente nos parâmetros de DBO, OD, fósforo total e coliformes termotolerantes, fica clara a importância de investimentos na área de saneamento. O grande limitador do uso do $IQA_{NSF}$ é a necessidade de ter todos os parâmetros para o seu cálculo.

Foi verificado que a concessionária responsável pelos tratamentos de efluentes da região opera ETEs de empreendimentos particulares, como hospital e condomínio, além de receber efluentes também de aterro sanitário, hospitais e indústria cervejeira para tratamento em sua planta, ao menos durante o período de execução deste trabalho. Apesar de adequações em seus processos para recebimento desses efluentes, nem sempre as suas características permanecem as mesmas de projeto, o que pode levar a eventual sobrecarga do sistema. Em contrapartida, o fato de a concessionária operar os sistemas particulares pode ter um lado positivo, já que a mesma é apta para a realização do serviço, mas também existe o lado negativo, uma vez que a concessionária deveria servir especialmente à população, já que ela é

a titular do serviço de tratamento de efluentes domésticos, uma vertente do saneamento básico, que deve ser estendido a todos, conforme respectiva lei.

Em relação ao funcionamento das ETEs, cabe uma maior fiscalização e controle do órgão ambiental para assegurar que as mesmas estejam atendendo todas as respectivas condicionantes de suas licenças ambientais e dispositivos legais aplicáveis.

Apesar de grande parcela do esgoto gerado em Petrópolis passar por tratamento, a RH-IV como um todo apresenta baixo percentual de tratamento. Portanto é prioritário que haja investimento nessa área para melhoria da qualidade das águas, principalmente do Piabanha, que abastece a região serrana.

Pelo presente trabalho, ficou claro que as fontes de poluição da bacia representativa do rio Piabanha, são predominantemente de origem urbana, de efluentes domésticos. A região vem apresentando incremento em sua ocupação e por isso é necessário também um aumento da alocação de recursos para tratamento de efluentes, seja por meio das ETEs convencionais ou por meio dos sistemas alternativos que já vêm sendo utilizados na região.

Por último, vale mencionar que os dados obtidos de qualidade da água foram dados reais e oriundos de diversas planilhas e laudos, sejam eles na forma física ou digital, que foram compilados para planilhas específicas para cálculos dos respectivos índices desse estudo. Todos os dados foram gerados e compilados direta ou indiretamente por pessoas e, portanto. podem estar sujeitos a falhas, apesar das sucessivas conferências realizadas.

Cabe dizer que o SGB/CPRM envidou esforços para inclusive atualizar seu banco de informações para fornecer os dados para esse trabalho, que acabou sendo uma contribuição dessa pesquisa, uma vez que esse trabalho motivou e atuou diretamente nessa atualização.

# REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL. *AGEVAP* – Agência da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Resende, 2019. Disponível em <https://www.agevap.org.br/ > Acesso em dez. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. *Atlas Esgotos* - Despoluição de Bacias Hidrográficas. Brasília, 2017. Disponível em <http://atlasesgotos.ana.gov.br/> Acesso em dez. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019b. Disponível em <http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura-completo.bb39ac07.pdf> Acesso em jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2018. 72p. Disponível em <https://arquivos.ana.gov.br/portal/publicacao/Conjuntura2018.pdf> Acesso em dez. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. *Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil*. Brasília, DF, 2012. Disponível em <http://pnqa.ana.gov.br/rede/rede_avaliacao.aspx.> Acesso em 28 dez. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. *Portal Oficial da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).* Brasília, 2020 Disponível em <https://www.ana.gov.br/> Acesso em: ago. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas - A gestão de recursos hídricos no Rio de Janeiro. Brasília, 2019a. Disponível em <http://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/panorama-dos-estados/rj/a-gestao-de-recursos-hidricos-no-rio-de-janeiro> Acesso em dez. 2019.

ÁGUAS DO IMPERADOR. *Estação de Tratamento de Esgoto***.** Petrópolis. 2019. Disponível em: <https://www.grupoaguasdobrasil.com.br/aguas-imperador/agua-e-esgoto/estacao-de-tratamento-de-esgoto/>. Acesso em: 05 dez. 2018.

ARAÚJO, L. M. N. et al. Estudos para um diagnóstico quali-quantitativo em Bacias Experimentais – Estudo de caso: Bacia do Rio Piabanha**.** In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, 2., 2009, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 2009.

ARAÚJO, L. M. N. et al.; Estudo dos principais parâmetros indicadores da qualidade da água na bacia do rio Paraíba do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007. *Anais...* Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2007.

ARAÚJO, L. M. N. *Identificação de padrões hidrológicos de precipitação e de umidade do solo na bacia hidrográfica do rio Piabanha/RJ*. 2016. 250 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

BRAGA, B. et al. *Introdução a Engenharia Ambiental***:** O desafio do desenvolvimento sustentável**.** 2 ed. São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2006.

BRASIL. Decreto Federal nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. *Coleção das Leis do Brasil - 1934***,** v, 4, p. 679, Poder Executivo, Rio de Janeiro, RJ, 1934.

BRASIL. Decreto Federal nº. 1.842, de 22 de março de 1996. Institui Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - CEIVAP, e dá outras providências. *Diário Oficial da União,* Poder Executivo, Brasília, DF, 1996.

BRASIL. Decreto Federal nº 6.591, de 1º de outubro de 2008. Altera a denominação do Comitê instituído pelo Decreto no 1.842, de 22 de março de 1996, e acresce parágrafo único ao seu art. 1o. *Diário Oficial da União,* Poder Legislativo, Brasília, DF, 2008.

BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil*: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações determinadas pelas Emendas Constitucionais de Revisão nos 1 a 6/94, pelas Emendas Constitucionais nos 1/92 a 91/2016 e pelo Decreto Legislativo no 186/2008. Brasília, 1988.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Resolução nº 58 de 30 de janeiro de 2006. Aprova o Plano Nacional de Recursos Hídricos e dá outras providências. *Diário Oficial da União,* Poder Executivo, Brasília, DF, 2006.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n° 20, de 18 de junho de 1986. Estabelece a classificação das águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional e outras providências. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília, DF, 1986.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras e dá outras providências. *Diário Oficial da União,* Poder Executivo, Brasília, DF, 25 jan. 2001.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e outras providencias. *Diário Oficial da União,* Poder Executivo, Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n° 410, 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 e outras providências. *Diário Oficial da União,* Poder Executivo, Brasília, DF, 2009.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. 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 e outras providências. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília, DF, 2011a.

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

BRASIL. Lei Federal n° 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*, Poder Legislativo, Brasília, DF, 1981.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial da União*, Poder Legislativo, Brasília, DF, 1997.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Poder Legislativo, Brasília, DF, 2007.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT - CCME. *Quality Index 1.0, User's Manual.* Canada, 2001. 5 f. Disponível em: <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/138 >. Acesso em 09 jun. 2019.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT - CCME. *Water***.** 2019. Disponível em: <https://www.ccme.ca/en/resources/water/index.html>. Acesso em: 13 jan. 2019.

COMITÊ DE INTEGRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - CEIVAP. *Dados Gerais*. Resende, 2019. Disponível em <http://www.ceivap.org.br/dados-gerais.php> Acesso em jan. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Relatório de Qualidade das Águas Superficiais*, São Paulo, 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo*, São Paulo, 2015. Disponível em:<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasSuperficiais2015_ParteI_25-07.pdf>. Acesso em 01 mai. 2019.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo*. São Paulo, 2018. Disponível em: <

https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2019/10/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-SP-2018.pdf >. Acesso em 01 mai. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/> Acesso em 28 out. 2020.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Brasília, 2021. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Pesquisa-e-Inovacao/Estudos-de-Bacias-Representativas-da-Mata-Atlantica-Fluminense-6642.html> Acesso em 20 jan. 2021.

DE PAULA, T. P. *Diagnóstico e Modelagem Matemática da Qualidade da Água em Trecho do rio Piabanha/RJ***.** 2011. 256 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. 3ed. Rio de Janeiro, Ed. Interciência. 2011.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. *Abastecimento de água para consumo humano*. Belo Horizonte, UFMG, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE Cidades. *Petrópolis – Panorama*. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/petropolis/panorama> Acesso em nov. 2020.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. *Ar, Água E Solo* > Como é feito o monitoramento das Águas Interiores? Rio de Janeiro, 2020a. Disponível em <http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/como-e-feito-o-monitoramento-das-aguas-interiores/> Acesso em: 10 jan. 2020.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. *Ar, Água E Solo* > Qualidade das Águas por Região Hidrográfica (RHs). Rio de Janeiro, 2020b. Disponível em < http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/qualidade-das-aguas-por-regiao-hidrografica-rhs/> Acesso em: 10 jan. 2020.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. *RH IV Região Hidrográfica Piabanha*. Rio de Janeiro, 2020c. Disponível em <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/GESTAODEAGUAS/InstrumentosdeGestodeRecHid/PlanodeRecursosHidricos/PiabanhaAgendaAzul/index.htm> Acesso em: 01 nov. 2020.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. *Índice de Qualidade da Água NSF ($IQA_{NSF}$).* Rio de Janeiro, 2019. Disponível em <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/12/IQA-NSF-Metodologia-Qualidade-de-%C3%81gua-2-dez-2019.pdf> Acesso em: 10 jan. 2020.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3ed. Campinas, SP: Átomo, 2010.

LOU, R. F. *Modelagem hidrológica chuva-vazão e hidrodinâmica aplicada na bacia experimental do rio Piabanha/RJ***.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MARAFON, G. J. *et al. Geografia do Estado do Rio de Janeiro*: da compreensão do passado aos desafios do presente. Rio de Janeiro: Gramma, 2011.

MARTINS, R. C. Sociologia da governança francesa das águas. *Revista Brasileira de Ciências Sociais,* São Paulo, v. 23 n. 67, jun./2008.

MASCARENHAS, F. C. B. Projeto – EIBEX-I Estudos Integrados de Bacias Experimentais – Parametrização Hidrológica na Gestão de Recursos Hídricos das Bacias da Região Serrana do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: MCT/FINEP/CT-HIDRO, 2007. 72 p.

MOLINARI, B. S. *Modelagem espacial da qualidade da água na bacia do rio Piabanha/RJ***.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

MONTES, V. M. *et al. Atlas da região hidrográfica IV*: Piabanha**.** Petrópolis: AGEVAP, 2019. Disponível em <http://www.comitepiabanha.org.br/conteudo/Atlas-Comite-Piabanha.pdf > Acesso em: 10 dez. 2019.

MOTA, S. *Introdução à engenharia ambiental*. 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 416 p.

NUVOLARI, A. Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. Edgard Blucher: São Paulo, 2003

PETRÓPOLIS. Plano Municipal de Saneamento Básico de Petrópolis/RJ. Petrópolis: Habitat Ecológico, 2014.

PETRÓPOLIS. *Prefeitura de Petrópolis. Notícias.* Rio de Janeiro, 2021. Disponível em < https://www.petropolis.rj.gov.br/pmp/index.php/imprensa/noticias/item/6936-petr%C3%B3polis-busca-recursos-para-recupera%C3%A7%C3%A3o-do-t%C3%BAnel-extravasor.html> Acesso em: 20 fev. 2021.

PHILIPPI JR., A. (Ed.). *Saneamento, saúde e ambiente*: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri, SP: Manole, 2005. 842 p. (Coleção Ambiental; 2).

RIO DE JANEIRO (estado). Lei Estadual nª 3239, de 02 de agosto de 1999. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos; cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos; regulamenta a Constituição Estadual, Em Seu Artigo 261, Parágrafo 1º, Inciso VII; e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado*, Poder Executivo, Rio de Janeiro, 1999.

RIO DE JANEIRO (estado). Decreto nº 38.235 de 14 de setembro de 2005. Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha e sub-bacias Hidrográficas dos Rios Paquequer e Preto, no âmbito do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial do Estado*, Poder Executivo, Rio de Janeiro, 2005.

SANDERS, T.G., et al. Design of Networks for Monitoring Water Quality. *Water Resources Publications***,** Littleton, Colorado, 1983, 328 p.

SANTOS, I. dos. et al. *Hidrometria Aplicada*. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 372 p.

SILVA, L. P. da. *Hidrologia*: engenharia e meio ambiente. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. SNIS - *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto de 2018*. Brasília, DF, 2019. Disponível em <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018> Acesso em: 10/01/2020.

TUCCI, C. E. M. et al**.** *Gestão da água no Brasil*. Brasília: UNESCO, 2001.

TUNDISI, J. G. *Limnologia no século XXI: perspectivas e desafios***.** São Carlos, SP: Instituto Internacional de Limnologia, São Carlos, SP, 1999.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. Revista USP, São Paulo, v. 70, 2006, p. 24-35.

VILLAS BOAS, M. D. et al. Avaliação preliminar da qualidade da água nas bacias experimentais e representativa do Rio Piabanha a partir do cálculo do Índice de Qualidade de Água – IQA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. *Anais...* Maceió, 2011a.

VILLAS BOAS, M. D. et al. O manejo do uso do solo como mecanismo regulatório da gestão da qualidade da água **–** Estudo de caso: A bacia do rio Piabanha**.** In: WORLD WATER CONGRESS, 14., Porto de Galinhas, 2011. *Anais*... Porto de Galinhas, 2011b.

VILLAS BOAS, M. D. *Ferramentas para avaliação da rede de monitoramento de qualidade de água da bacia do rio Piabanha – RJ com base em redes neurais e modelagem hidrológica***.** 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

VON SPERLING, M. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; vol. 1). Belo Horizonte: DESA-UFMG, 452p. 2005.

VON SPERLING, M. *Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios*. Belo Horizonte. UFMG, 2007.

WARD, R.C. et al. *Design of Water Quality Monitoring Systems*. New Jersey: Hoboken, 2003.

WEINBERG, A. *Metodologia para Priorização do Controle e Monitoramento da Qualidade das Águas, Como Ferramenta para Gestão de Recursos Hídricos*. 2008. 183 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.