



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS**

JANAINA GOMES PIRES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM BACIAS
EXPERIMENTAIS SOBRE A QUALIDADE DE ÁGUA NO RIO PIABANHA –
REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO-RJ**

**EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE LAND USE AND LAND COVER IN
EXPERIMENTAL BASINS ON THE WATER QUALITY OF THE PIABANHA
RIVER – MOUNTAINOUS REGION OF RIO DE JANEIRO/RJ**

Niterói-RJ

2020

JANAINA GOMES PIRES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM BACIAS
EXPERIMENTAIS SOBRE A QUALIDADE DE ÁGUA NO RIO PIABANHA –
REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO-RJ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biosistemas da Universidade Federal Fluminense como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Biosistemas. Área de concentração Recursos Naturais e Ambiente. Linha de Pesquisa: Gerenciamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Andres Rodriguez

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Lígia Maria Nascimento de Araujo

Niterói, RJ

2020

JANAINA GOMES PIRES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM BACIAS
EXPERIMENTAIS SOBRE A QUALIDADE DE ÁGUA NO RIO PIABANHA –
REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO-RJ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biosistemas da Universidade Federal Fluminense como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Biosistemas. Área de concentração Recursos Naturais e Ambiente. Linha de Pesquisa: Gerenciamento Ambiental.

Aprovada em 23 de dezembro de 2020

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Daniel Andres Rodriguez - Orientador
UFRJ/COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro



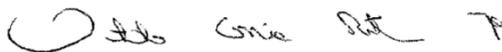
Prof^a. Dr^a. Lúcia Maria Nascimento de Araujo (Coorientadora)
MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional



Prof. Dr. Carlos Rodrigues Pereira
UFF – Universidade Federal Fluminense



Prof. Ph.D. José Paulo Soares de Azevedo
UFRJ/COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro



Prof. Ph.D. Otto Corrêa Rotunno Filho
UFRJ/COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Niterói, RJ

2020

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

S586a Silva, Janaina Gomes Pires da
Avaliação da Influência do Uso e Ocupação do Solo em
Bacias Experimentais sobre a Qualidade de Água no Rio Piabanha
- Região Serrana do Rio de Janeiro-RJ / Janaina Gomes Pires
da Silva ; Daniel Andres Rodriguez, orientador ; Lígia Maria
Nascimento de Araujo, coorientadora. Niterói, 2020.
168 f. : il.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,
Niterói, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PGEB.2020.m.04304120700>

1. Hidrologia. 2. Monitoramento da qualidade da água. 3.
Uso e cobertura do solo. 4. Bacia representativa. 5.
Produção intelectual. I. Rodriguez, Daniel Andres,
orientador. II. Araujo, Lígia Maria Nascimento de,
coorientadora. III. Universidade Federal Fluminense. Escola de
Engenharia. IV. Título.

CDD -

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu maior incentivador e apoiador, Achilles Monteiro (in memoriam) – e aos meus filhos Gabriel e Isabella, os quais espero que levem como aprendizado que nada é impossível para mentes dispostas e que cada conquista é a prova de que toda dedicação tem seu reconhecimento.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, pelo dom da vida e por ser minha luz nessa caminhada, regendo-me, guiando-me e protegendo-me com seu infinito amor, derramando sempre grandes bênçãos sobre mim.

À minha família, por toda a dedicação, empenho, compreensão e esforço em me proporcionar o melhor para que eu pudesse me dedicar a esta pesquisa. Em especial, aos meus pais José Francisco (*in memoriam*) e Francisca, por todo amor, exemplo, carinho e dedicação; ao meu irmão Cristiano; ao meu esposo André; aos meus filhos Gabriel e Isabella, que compreenderam os momentos de ausências; à minha netinha, minha amiga sereia Maria Eduarda (Duda); aos meus sobrinhos, Luiza e Nicolas, que, juntos são a força-motriz da minha vida.

Ao professor doutor Daniel Andres Rodriguez, por sua orientação e paciência ao longo desta caminhada.

Aos amigos do mestrado pelos momentos de estudos, incentivos e distrações, tornando a jornada mais amena. Em especial, a Camila Américo, Elaine Ferreira, Gilberto Tito – sem vocês, tudo ficaria mais difícil.

Ao corpo docente e funcionários do Programa de Engenharia de Biosistemas (PGEB – UFF), em especial ao professor doutor Carlos Rodrigues Pereira, por toda atenção, dedicação e conhecimento.

À Lígia Araujo, uma pessoa fundamental, muito importante com quem tive o prazer e a sorte de trabalhar, bem como adquirir conhecimentos e experiências que levo para a vida toda, tendo desempenhado papel fundamental para o desenvolvimento e execução desta dissertação.

À Mariana Villas Boas, por acreditar no meu trabalho, pelos incentivos, reconhecimentos, por ser minha mentora, para a construção, desenvolvimento e execução deste trabalho.

Aos meus amigos do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM-DEHID), que, por meio do convívio diário, das conversas e, dos incentivos muito me ajudaram no desenvolvimento desta pesquisa: Adriana Medeiros, Ana Carolina Costi, Andrea Germano, Arthur Moreira, Daniele Genaro, Daniel Moreira, Eduardo Sacramento, Frederico Peixinho, Jeferson Melo, João Costa, Leonardo Tristão, Lucia Régia, Marcelo Henriques, Márcio Junger, Maria Michele Gomes, Marta Ottoni, Michele Nascimento e Rubens Kenup. Em especial, agradeço ao meu amigo Décio Goulart, que, em determinado momento de grande dificuldade, não permitiu que eu desanimasse.

Aos meus amigos da Superintendência Regional de São Paulo (SGB-CPRM), que muito me auxiliaram nas etapas de trabalho de campo com muito carinho e dedicação. Em especial, Antônio Machado, Érico Lima, Francisco Eugênio e Gentil da Silva.

Aos meus muitos amigos, que me impulsionaram e acreditaram nesta conquista, em especial, às amigas “superpoderosas” Bianca Lima, Fernanda Lima, Samanta Pires e Valéria Fonseca.

Aos meus afilhados Sérgio Luz, Ramon e Breno, na esperança de que este instrumento os inspire a alcançar grandes objetivos e conquistas.

Em especial, aos professores doutores participantes da banca examinadora: Carlos Rodrigues Pereira, José Paulo Soares de Azevedo e Otto Corrêa Rotunno Filho.

A todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

Planeta Água

Água que nasce na fonte
Serena do mundo
E que abre um profundo grotão
Água que faz inocente
Riacho e desagua
Na corrente do Ribeirão
Águas escuras dos rios
Que levam a fertilidade ao sertão
Águas que banham aldeias
E matam a sede da população
Águas que caem das pedras
No véu das cascatas
Ronco de trovão
E depois dormem tranquilas
No leito dos lagos
Água dos igarapés
Onde Iara mãe d'água
É misteriosa canção
Água que o sol evapora
Pro céu vai embora
Virar nuvens de algodão
Gotas de água da chuva
Alegre arco-íris
Sobre a plantação
Gotas de água da chuva
Tão triste são lágrimas
Na inundação
Águas que movem moinhos
São as mesmas águas
Que encharcam o chão
E sempre voltam humildes
Pro fundo da terra
Pro fundo da terra
Terra! Planeta água...

Guilherme Arantes

Agradeço todas as dificuldades que enfrentei, se não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo as críticas nos auxiliam muito

Chico Xavier

RECONHECIMENTO

Os dados pluvio-fluviométricos utilizados neste trabalho têm origem no monitoramento de estações da rede hidrometeorológica nacional, coordenada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e operada com a parceria do Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), da rede de responsabilidade do Instituto Estadual do Ambiente (INEA/RJ), da rede de responsabilidade compartilhada entre o SGB-CPRM e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), mantida pelo SGB-CPRM, e da rede de monitoramento de qualidade da água do Piabanha do projeto EIBEX (RMQAP-EIBEX), que é de responsabilidade do SGB-CPRM.

Os mapas de usos do solo e cobertura vegetal foram produzidos com base no "Projeto MapBiomass – é uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite. A descrição completa do projeto encontra-se em <http://mapbiomas.org>".

A autora agradece às instituições mencionadas acima pela disponibilidade dos dados utilizados neste trabalho.

Agradecimentos também são dirigidos à FINEP pelos editais de fomento à pesquisa, como a Chamada Pública MCT/FINEP/CT-HIDRO - Bacias Representativas 04/2005 e a Chamada MCT/FINEP/CT-HIDRO nº 01/2010, com as redes HIDROECO e RHIMA, que apoiaram a implantação da bacia representativa com suas bacias experimentais e seu monitoramento, assim como ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha (CBH Piabanha) que, com recursos arrecadados por meio da cobrança pelo uso da água na bacia, tem apoiado o monitoramento na bacia do rio Piabanha.

RESUMO

O trabalho investiga a potencial influência do uso do solo e da cobertura vegetal na qualidade da água dos cursos d'água da bacia do rio Piabanha na região serrana do estado do Rio de Janeiro (RSRJ). A região vem sendo degradada, ao longo das últimas décadas, em decorrência de impactos gerados por altos índices de urbanização e transformações rurais capazes de comprometer a oferta de água para consumo humano em termos de qualidade, com prejuízos para a cadeia alimentar dos ecossistemas, para os ciclos econômicos, gerando desníveis socioambientais que potencializam a degradação dos recursos hídricos. A deficiência de serviços de saneamento básico, como ausência de coleta de esgotos, tratamento ineficiente e destinação inadequada de efluentes, assim como coleta irregular e destinação inapropriada de resíduos sólidos, tem influência direta sobre alguns parâmetros de qualidade monitorados. Para consecução da pesquisa, foram selecionadas cinco estações da rede de monitoramento da qualidade da água do projeto EIBEX, operada pelo SGB-CPRM, considerando pontos de monitoramento estratégico. Três das cinco estações controlam bacias experimentais de diferentes composições de uso e cobertura vegetal, com relevância maior em cada uma delas de alguma das classes de uso do levantamento MapBiomass: infraestrutura urbana em Liceu (44,5km²), mosaico de agricultura e pastagem em Poço Tarzan (17,2km²), formação florestal em Rocio (12,8km²). Outra controla a bacia delimitada em Parque Petrópolis (260km²), que engloba as três experimentais, e a mais de jusante que controla a bacia representativa delimitada em Pedro do Rio (427,9km²). Com abordagens diferentes, avaliou-se a distribuição espacial e temporal das concentrações de 12 parâmetros de qualidade da água e das cargas específicas de 11 deles. O comportamento dos parâmetros foi definido com base no levantamento realizado ao longo de 50 campanhas de amostragem durante o período 2009 a 2015, em cada uma das cinco bacias. Foram analisadas as cargas médias específicas anuais, do período chuvoso e do período de estiagem, que mostraram diferenças no que tange ao comportamento de alguns parâmetros, distinguindo os de fonte predominantemente difusa dos de fonte pontual. Estudo de correlação foi desenvolvido associando-se as cargas específicas dos parâmetros de qualidade da água com a variação temporal de uso do solo, obtida por meio de estimativa gerada por produto de sensoriamento remoto disponível para essa finalidade – o levantamento MapBiomass. Foram encontradas correlações significativas entre as classes de uso selecionadas e alguns dos parâmetros de qualidade de água em cada uma das três bacias. Os parâmetros mais sensíveis quanto à variação de uso e cobertura do solo foram: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, nitrogênio amoniacal, alumínio e ferro, que apresentam valores em faixas de variação bem distintas segundo os usos preponderantes de infraestrutura urbana, de mosaico de agricultura e pastagem e de formação florestal, em cada estação das três bacias experimentais estudadas. Os resultados, em geral, sugerem que a metodologia proposta e testada nesta pesquisa tem potencial para dar suporte ao monitoramento de mudanças no uso do solo e cobertura vegetal, e de seus impactos sobre a qualidade da água, assim como para avaliar a efetividade de intervenções nas bacias e melhorias dos serviços de saneamento básico, contando-se com a rede de monitoramento sistemático existente, que pode ser aprimorada para estudos de maior detalhe.

Palavras-chave: hidrologia, monitoramento da qualidade da água; uso e cobertura do solo; bacia representativa

ABSTRACT

The work investigates the potential influence of land use and vegetation cover on the river water quality in the Piabanha river watershed located in the mountainous region of the state of Rio de Janeiro (RSRJ). The region has been degraded over the last few decades, due to the impacts generated by the high rates of urbanization and rural transformations capable of compromising the supply of water for human consumption in terms of quality, with losses not only for the food chain of ecosystems, and economic cycles and their socio-environmental differences, increasing the degradation of water resources. The lack of basic sanitation services, such as the absence of sewage collection, inefficient treatment and inadequate disposal of effluents, as well as irregular collection and improper disposal of solid waste, has a direct influence on some quality parameters monitored. In order to carry out the research, five monitoring locations were selected from the EIBEX project water quality monitoring network, operated by SGB-CPRM, considering strategic monitoring points. More specifically, three experimental basins with different land uses and land covers, inserted in the Piabanha river basin, were selected. The composition of use and vegetation cover in each of these three watersheds reveals greater relevance of one of the MapBiomas classes of land use: urban infrastructure in Liceu (44.5km²), mosaic of agriculture and pasture in Poço Tarzan (17.2km²), and forest formation in Rocío (12.8km²). The three are encompassed by the Parque Petrópolis basin (260km²) and the four are involved by the representative basin in Pedro do Rio (427.9km²). Using different approaches, it was possible to evaluate the spatial and temporal distribution of the 12 water quality parameters concentrations and the specific loads of 11 of them. Their behavior was analyzed over 50 sampling campaigns in each basin, during the period from 2009 to 2015. The annual average specific loads, and the rainy and the dry seasons average specific loads, were analyzed separately, which showed differences in the behavior of some parameters, distinguishing the predominantly non-point source parameters from those predominantly point source ones. The parameters specific loads were analyzed in a study of correlation with the variation in land use over time, estimated by remotely sensed product – the MapBiomas survey. Significant correlations were found between some land use classes and water quality parameters in each basin. The most sensitive parameters regarding the variation in land use and cover were: dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, nitrate, ammoniac nitrogen, aluminum and iron, which present values in very different ranges according to the predominant use such as urban infrastructure, mosaic of agriculture and pasture and forest formation, in the three experimental basins. The results, in general, suggest that the methodology proposed and tested in this research has the potential to support the monitoring of changes in land use and vegetation cover, and their impacts on water quality, as well as to evaluate the effectiveness of interventions in basins and improvements in sanitation services provision counting on the existing systematic monitoring network, which can be improved for more detailed studies.

Keywords: hydrology, water quality monitoring; land use and land cover; representative basin

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Motivação e justificativa	3
1.2. Objetivos	4
1.3. Estruturação do texto.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. O Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica	7
2.2. Uso do Solo	9
2.2.1. Usos consuntivos da água	14
2.3. Qualidade da água de um corpo hídrico	16
2.3.1. Panorama da qualidade da água no Brasil	17
2.3.2. Padrões de qualidade da água	18
2.3.3. Enquadramento dos cursos d'água no estado do Rio de Janeiro	20
2.3.4. Índices de qualidade da água	21
2.4. Poluição e suas fontes	22
2.4.1. Estimativa das cargas poluidoras	23
2.5. Monitoramento da qualidade da água	25
3. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PIABANHA	27
3.1. Características fisiográficas.....	27
3.1.1. Declividade do relevo e dos cursos d'água.....	30
3.1.2. Vegetação.....	31
3.1.3. Usos do solo e ocupação da bacia.....	34
3.2. Clima e hidrologia da região	35
3.2.1. Regime pluviométrico.....	36
3.2.2. Rede de monitoramento pluviométrico na bacia	37
3.3. População e atividades econômicas	39
3.4. Histórico de desastres naturais na região do Piabanha.....	39
4. MATERIAIS E MÉTODOS	43
4.1. Síntese da abordagem metodológica e etapas do trabalho	43
4.2. Seleção da área de estudo e levantamento de dados, mapas e informações disponíveis	43
4.2.1. Seleção dos pontos de amostragem	46
4.3. Verificação dos levantamentos de cobertura vegetal, uso e ocupação das bacias	47
4.3.1. Uso do solo e cobertura vegetal nas bacias de interesse	48
4.3.2. Definição dos percentuais das classes de uso e ocupação do solo em cada bacia.....	49
4.4. Densidade demográfica e usos da água nas bacias de interesse.....	54
4.5. Análise exploratória das séries temporais - concentração de parâmetros de qualidade de água, precipitação e vazão.....	55
4.5.1. Rede de Monitoramento da qualidade da água na bacia do rio Piabanha - RMQAP-EIBEX.....	56
4.5.2. Dados de precipitação para avaliação do regime pluviométrico	58
4.5.3. Dados de vazão para avaliação do regime fluviométrico	59
4.6. Estimativa da carga média anual dos parâmetros e sua distribuição na bacia	60
4.7. Análise das séries temporais de cargas de parâmetros de qualidade de água nas bacias	60

4.8. Correlação entre os percentuais de área de cada classe de uso do solo e cargas médias anuais dos parâmetros de qualidade de água.....	61
5. ANÁLISES DE QUANTIDADE E QUALIDADE DA AGUA NA BACIA	62
5.1. Análise da evolução temporal dos usos de solo para área de estudo	62
5.2. Demografia e usos da água cadastrados nas sub-bacias.....	66
5.2.1. Densidade demográfica das sub-bacias	66
5.2.2. Usos da água cadastrados por sub-bacia.....	67
5.3. Parâmetros de qualidade de água selecionados para análise espaço-temporal	68
5.3.1. Oxigênio dissolvido (OD).....	68
5.3.2. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	69
5.3.3. Demanda química de oxigênio (DQO)	70
5.3.4. Alumínio (Al)	71
5.3.5. Ferro (Fe)	71
5.3.6. Zinco (Zn).....	72
5.3.7. Nitrato (NO ₃)	73
5.3.8. Nitrogênio amoniacal (NH ₄ ⁺)	73
5.3.9. Fosfato (PO ₄)	74
5.3.10. Sulfato (SO ₄).....	75
5.3.11. Sólidos em suspensão	76
5.3.12. Turbidez	77
5.4. Regime hidrológico das sub-bacias.....	78
5.4.1. Regime pluviométrico na bacia representativa.....	78
5.4.2. Séries de vazões observadas nas estações das sub-bacias	81
5.4.3. Vazões nas estações durante as coletas de amostras e medições <i>in situ</i>	84
5.5. Análise conjunta das vazões nas coletas e das concentrações dos parâmetros	86
5.6. Estimativa das cargas	90
5.6.1. Oxigênio dissolvido (OD).....	91
5.6.2. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	93
5.6.3. Demanda química de oxigênio (DQO)	94
5.6.4. Alumínio (Al)	95
5.6.5. Ferro (Fe)	97
5.6.6. Zinco (Zn).....	98
5.6.7. Nitrato (NO ₃)	99
5.6.8. Nitrogênio amoniacal (NH ₄ ⁺)	100
5.6.9. Fosfato (PO ₄)	101
5.6.10. Sulfato (SO ₄).....	103
5.6.11. Sólidos em Suspensão.....	104
5.7. Correlação entre os percentuais de área de cada classe de uso do solo e cargas médias anuais específicas dos parâmetros de qualidade de água	105
5.8. Ajuste de equações de regressão para determinar a carga média dos parâmetros de qualidade de água em função das classes de uso do solo na bacia	112
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	118
6.1. Conclusões	118
6.2. Recomendações.....	120
6.2.1. Recomendações para futuros mapeamentos de uso e ocupação do solo	120
6.2.2. Recomendações para aprimoramento da rede de monitoramento da RMQAP-EIBEX	121
6.2.3. Recomendações para a continuidade da pesquisa nas bacias experimentais do Piabanha	122

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124
ANEXO I – DIAGRAMA UNIFILAR DAS ESTAÇÕES	138
ANEXO II – MONITORAMENTO NAS ESTAÇÕES EIBEX.....	139
ANEXO III – ÁREAS DE CADA CLASSE DE USO E COBERTURA NAS CINCO SUB-BACIAS.....	144

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1: Representação do ciclo hidrológico. Fonte: UNEP (2002).....	7
Figura 2.2: Bacia hidrográfica Fonte: COELHO NETTO (1994); Foto: Paulo Romeu, My Zoom (10/12/2008).	8
Figura 2.3: Usos da Água no Brasil em 2018. Fonte: ANA (2019).	16
Figura 2.4: Classes de enquadramento dos corpos d'água. Fonte: ANA (2019).	19
Figura 3.1: Encontro dos três rios, Piabanha (margem direita), Paraibuna (margem esquerda) e Paraíba do Sul (rio principal) em Três Rios. Fonte: KLING (2005)....	28
Figura 3.2: Principais sub-bacias do rio Piabanha. Fonte: DE PAULA (2011).....	28
Figura 3.3: Principais aproveitamentos hidrelétricos na bacia representativa do rio Piabanha.....	29
Figura 3.4: Relevo e declividade da bacia do rio Piabanha. Fonte: CPRM-SGB- (2017).	31
Figura 3.5: Vegetação natural nas regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro e bacias compartilhadas. Fonte: RADAMBRASIL, Vol. 32, (1983).	32
Figura 3.6: Remanescentes da vegetação natural nas regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro e bacias compartilhadas. Fonte: MMA/PROBIO(2007).	33
Figura 3.7: Mapa de unidades de conservação da bacia do rio Piabanha. Fonte: ANDRADE (2016).	34
Figura 3.8: Isoietas totais anuais médias do período 1977-2006 (CPRM, 2011) e a bacia do rio Piabanha com sua bacia representativa. Fonte: Adaptado de ARAUJO (2016).....	37
Figura 3.9: Rede pluviométrica e entidades operadoras na bacia do Piabanha.	38
Figura 3.10: Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação do município para a bacia representativa associada às isoietas médias anuais. Fonte: VILLAS_BOAS (2018).	40
Figura 3.11: Uso e ocupação de encostas, áreas de risco de deslizamentos – ocorrências em Teresópolis em 12/01/2011. Fonte: Veja Brasil (2011); ERTHAL e LEMOS (2011).....	41
Figura 3.12: Imagens da tragédia provocada pelas chuvas na RSRJ em janeiro/2011. Em cima à esquerda, Vale do Cuiabá - Petrópolis (Foto: B. Tabak/G1); à direita, região do Brejal - Petrópolis (Foto: M. Quintal/Prefeitura de Petrópolis); embaixo à esquerda, Campo Grande – Teresópolis (Foto: L. Bonadio/G1); e à direita, marca do nível atingido pelo rio Preto em São José do Vale do Rio Preto (Foto: G. Araújo/G1). Fonte G1-INTER TV (2021).	41
Figura 4.1: Síntese da metodologia - etapas do trabalho.	43
Figura 4.2: Localização da bacia representativa com destaque para as três experimentais e fotografias ilustrando os usos predominantes em cada uma delas.	44
Figura 4.3: Mapa da bacia representativa com as três bacias experimentais (agrícola, preservada e urbana) monitoradas no projeto EIBEX	45
Figura 4.4: Bacias experimentais e estações do projeto EIBEX.	47
Figura 4.5: Mapa de uso e ocupação do solo em 2019. Fonte: adaptado de MapBiomias (2020).....	49
Figura 4.6: Mapa de uso e ocupação do solo em 2009. Fonte: adaptado de MapBiomias (2020).....	50
Figura 4.7: Mapa de uso e ocupação do solo em 2010. Fonte: adaptado de MapBiomias, (2020).....	51
Figura 4.8: Mapa de uso e ocupação do solo em 2011. Fonte: adaptado de MapBiomias (2020).....	51

Figura 4.9: Mapa de uso e ocupação do solo em 2012. Fonte: adaptado de MapBiomias (2020).....	52
Figura 4.10: Mapa de uso e ocupação do solo em 2013. Fonte: adaptado de MapBiomias (2020).....	52
Figura 4.11: Mapa de uso e ocupação do solo em 2014. Fonte: adaptado de MapBiomias (2020).....	53
Figura 4.12: Mapa de uso e ocupação do solo em 2015. Fonte: adaptado de MapBiomias (2020).....	53
Figura 4.13: Setores censitários nas sub-bacias da bacia representativa.....	54
Figura 4.14: Pontos de captação de água e lançamento de efluentes.....	55
Figura 5.1 Evolução do uso do solo entre 2009-2015 na bacia de Liceu.....	63
Figura 5.2 Evolução do uso do solo entre 2009-2015 na bacia de Poço Tarzan.....	64
Figura 5.3 Evolução do uso do solo entre 2009-2015 de Rocio.....	64
Figura 5.4 Evolução do uso do solo entre 2009-2015 na bacia de Parque Petrópolis....	65
Figura 5.5 Evolução do uso do solo entre 2009-2015 na bacia de Pedro do Rio.....	65
Figura 5.6: Densidade demográfica na bacia representativa em Pedro do Rio.....	67
Figura 5.7: Concentração de oxigênio dissolvido (OD) em mg/L.....	69
Figura 5.8: Concentração de DBO em mg/L.....	70
Figura 5.9: Concentração de DQO em mg/L.....	70
Figura 5.10: Concentração de alumínio (Al) em mg/L.....	71
Figura 5.11: Concentração de ferro (Fe) em mg/L.....	72
Figura 5.12: Concentração de zinco (Zn) em mg/L.....	72
Figura 5.13: Concentração de nitrato (NO ₃) em mg/L.....	73
Figura 5.14: Concentração de nitrogênio amoniacal (NH ₄ ⁺) em mg/L.....	74
Figura 5.15: Concentração de fosfato (PO ₄) em mg/L.....	75
Figura 5.16: Concentração de sulfato (SO ₄) em mg/L.....	76
Figura 5.17: Concentração de sólidos em suspensão em mg/L.....	76
Figura 5.18: Turbidez em UNT.....	77
Figura 5.19: Perfil do rio Piabanha que é o caminho mais longo até Pedro do Rio Fonte: Adaptado de ARAUJO(2016).....	78
Figura 5.20: Regime de precipitações na bacia representativa do rio Piabanha. Fonte: adaptado de ARAUJO (2016).....	79
Figura 5.21: Distribuição das séries de precipitação do ano hidrológico entre 1939-2015.....	80
Figura 5.22: Precipitação diária acumulada (2012-2014) em 22 estações INEA/RJ e EIBEX. Fonte: adaptado de ARAUJO (2016).....	80
Figura 5.23: Histograma de vazões médias mensais do rio Piabanha em Pedro do Rio.....	82
Figura 5.24: Curvas de permanência de vazões em estações da bacia representativa – 2009-2015.....	82
Figura 5.25: Assinaturas das curvas de permanência de vazões na bacia do rio Piabanha.....	84
Figura 5.26: Distribuição das vazões diárias - média diárias - e dos dias das coletas....	85
Figura 5.27: Vazões específicas médias ao longo da área de estudo – bacia representativa.....	86
Figura 5.28: Dispersão entre valores de vazão nas coletas e concentração de OD.....	87
Figura 5.29: Dispersão entre valores de vazão nas coletas e concentração de Al.....	87
Figura 5.30: Dispersão entre valores de vazão nas coletas e concentração de Zn.....	88
Figura 5.31: Dispersão entre valores de vazão nas coletas e concentração de PO ₄	88
Figura 5.32: Dispersão entre valores de vazão nas coletas e concentração de SO ₄	89
Figura 5.33: Dispersão entre valores de vazão nas coletas e a turbidez.....	89

Figura 5.34: Carga média de OD anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.	92
Figura 5.35: Carga média de DBO anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.	94
Figura 5.36: Carga média de DQO anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.	95
Figura 5.37: Carga média de Alumínio (Al) anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.....	96
Figura 5.38: Carga média de ferro (Fe) anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.....	98
Figura 5.39: Carga média de zinco (Zn) anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.....	99
Figura 5.40: Carga média de nitrato (NO ₃) anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.....	100
Figura 5.41: Carga média de nitrogênio amoniacal (NH ₄ ⁺) anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.....	101
Figura 5.42: Carga média de fosfato (PO ₄) anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.....	102
Figura 5.43: Carga média de sulfato (SO ₄) anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.....	103
Figura 5.44: Carga média de sólidos em suspensão anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.	104
Figura 5.45: Equação de regressão entre carga esp. de OD e % área em IU em PP. ...	114
Figura 5.46: Equação de regressão entre carga esp. de OD e % área em IU em PR....	114
Figura 5.47: Equação de regressão entre carga esp. de NO ₃ e % área em MAP em PT.	114
Figura 5.48: Evolução do uso do solo e cobertura vegetal entre 2009 e 2015 em PP..	115
Figura 5.49: Evolução do uso do solo e cobertura vegetal entre 2009 e 2015 em PR.	116
Figura 5.50: Evolução do uso do solo e cobertura vegetal entre 2009 e 2015 em PT.	117
Figura 5.51: Evolução do uso do solo e cobertura vegetal entre 2009 e 2015 em Liceu.	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Parâmetros do IQA e respectivos pesos	22
Tabela 3.1: Unidades de Conservação na bacia do rio Piabanha	33
Tabela 3.2: Redes contidas na bacia do Piabanha e na bacia representativa.....	38
Tabela 3.3: Alguns dados socioeconômicos da região. Fonte: IBGE (2020).....	39
Tabela 4.1: Estações da rede EIBEX – localização e datas de início da operação.....	46
Tabela 5.1: Densidade demográfica da sub-bacia representativa.....	66
Tabela 5.2: Vazões características da curva de permanência (m ³ /s)- 2009-2015.....	83
Tabela 5.3: Distribuição das vazões diárias (m ³ /s) na série observada e dos dias das coletas	85
Tabela 5.4: Distribuição do número de campanhas realizadas entre 2009-2015	91
Tabela 5.5: Correlação entre % área de classe de uso do solo e carga de parâmetros - Liceu	105
Tabela 5.6: Correlação por períodos entre % área de classe de uso do solo Infraestrutura Urbana e carga de parâmetros – Liceu.....	107
Tabela 5.7: Correlação entre % área de classe de uso do solo e carga de parâmetros – P. Tarzan	107
Tabela 5.8: Correlação entre % área de classe de uso do solo e carga de parâmetros - Rocio.....	109
Tabela 5.9: Correlação entre % área de classe de uso do solo e carga de parâmetros – P. Petrópolis	110
Tabela 5.10: Correlação entre % área de classe de uso do solo e carga de parâmetros – P. do Rio	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Classificação das águas doces - Resolução CONAMA nº 357/2005	20
Quadro 4.1: Parâmetros analisados no monitoramento da bacia representativa	56
Quadro 4.2: Campanhas de monitoramento realizadas entre 2009 e 2015	57

LISTA DE ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APA	Área de Proteção Ambiental
CBH	Comitê da Bacia Hidrográfica do Piabanha – Comitê Piabanha
CNARH40	Cadastro Nacional de Usuário de Recursos Hídricos
CEMADEN	Centro de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DRM-RJ	Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro
EIBEX	Estudos Integrados de Bacias Experimentais – Parametrização Hidrológica na Gestão de Recursos Hídricos das Bacias da Região Serrana do Rio de Janeiro
EPA	Environmental Protecting Agency (USA)
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FEEMA	Fundação Estadual do Meio Ambiente
INEA-RJ	Instituto Estadual do Ambiente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IQA	Índice de Qualidade de Água
LULC - Land Use Land Cover	(Uso e Cobertura da Terra)
LAMIN	Laboratório de Análises Minerais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NSF	National Sanitation Foundation
OD	Oxigênio Dissolvido
PARNASO	Parque Nacional da Serra dos Órgãos
pH	Potencial Hidrogeniônico
REBIO	Reserva Biológica de Araras
PROBIO	Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos

RMQA	Rede de Monitoramento de Qualidade da Água
RMQAP	Rede de Monitoramento de Qualidade de Água do Piabanha
RNQA	Rede Nacional de Qualidade da Água
RSRJ	Região Serrana do Rio de Janeiro
SIGEL	Sistema de Informações Georeferenciadas do Setor Elétrico
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UC	Unidade de Conservação
SGB-CPRM	Serviço Geológico do Brasil
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

1. INTRODUÇÃO

A água, recurso natural finito, é indispensável à vida. Sua disponibilidade é fundamental ao desenvolvimento humano em seus diversos usos. Sua manutenção em padrões de quantidade e qualidade para atendimento aos seus usos múltiplos constitui grande desafio. Nesse sentido, o monitoramento dos escoamentos superficial e subterrâneo e o desenvolvimento de estudos para conhecimento de sua disponibilidade em quantidade e qualidade são essenciais, com vistas a apoiar a tomada de decisões na gestão dos recursos hídricos, com o desejável envolvimento da sociedade.

O regime hidrológico de um rio pode ser afetado por diversos aspectos, tais como: variabilidade climática, uso do solo de sua bacia hidrográfica, captações de água, barragens, retificações e canalizações de seus trechos, entre outros (SANTOS *et al.*, 2010). Dessa forma, modificações no uso e na ocupação do solo praticadas em uma bacia hidrográfica tendem a promover mudanças quantitativas e qualitativas nos processos hidrológicos (BUTT *et al.*, 2015). As ações antrópicas como, por exemplo, o aumento da produção de bens agrícolas, têm gerado grandes impactos na paisagem, como perda da biodiversidade e deterioração da qualidade e quantidade dos recursos hídricos (DELLAMATRICE; MONTEIRO, 2014).

A modificação da paisagem realiza-se, na maioria dos casos, impensadamente ou com planejamento muito limitado, resultando na degradação dos mananciais, pela aceleração de processos erosivos, pela contaminação por defensivos agrícolas e lançamento de efluentes urbanos e industriais sem o adequado tratamento, com alteração da disponibilidade hídrica (SANTOS *et al.*, 2010). Grande parte dos estudos já realizados sobre mudanças da cobertura e uso da terra e suas consequências descrevem as condições de alteração em zonas de clima temperado, abordando mudanças da vegetação original para o uso urbano e atividades econômicas, de modo geral, com objetivos de prover alimentos, fibras, energia, abrigo para atender às necessidades de hoje de mais de sete bilhões de pessoas no mundo, como apresentado em revisão por FOLEY *et al.* (2005), que alerta para consequências também no surgimento de doenças quando há perturbações do habitat de vida selvagem, e aponta as vantagens do uso sustentável considerando os serviços dos ecossistemas naturais.

Embora a modificação da superfície terrestre pelos seres humanos, para prover sua subsistência e obter itens essenciais, já seja praticada há milhares de anos, a

extensão, a intensidade e a taxa de mudança no uso e cobertura da terra ou solo - *land use and land cover*– (LULC) são bem maiores agora do que no passado, acarretando alterações em níveis locais, regionais e globais sem precedentes nos ecossistemas e processos ambientais. Assim, a evolução de LULC desempenha um papel importante no estudo do cenário global alterado de hoje, pois seus dados propiciam a geração de informações críticas para a tomada de decisão sobre gerenciamento ecológico e planejamento ambiental, tendo em perspectiva as gerações futuras da humanidade (ZHAO *et al.*, 2004; DWIVEDI *et al.*, 2005; ERLE; PONTIUS, 2007; FAN *et al.*, 2007).

O entendimento dos efeitos das mudanças no uso e cobertura da terra sobre o meio ambiente é essencial para muitos setores econômicos como agricultura, silvicultura (WENG, 2001). Tais efeitos podem constituir perda de terras agrícolas, degradação do solo, expansão urbana desordenada, alteração na disponibilidade hídrica e na qualidade da água, dentre outros.

O Brasil possui uma reserva hídrica abundante, algo em torno de 13% da água doce do planeta, entretanto, concentrada em áreas que não atingem a maioria da população, tendo em vista que, aproximadamente 80% dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos encontram-se na Amazônia e o restante disponível está com a qualidade comprometida, como evidenciam estudos levados a efeito em diversas bacias hidrográficas espalhadas pelo país (ANA, 2013).

De maneira geral, a perda da qualidade da água está relacionada ao crescimento progressivo da população, ao intenso crescimento do país nos últimos anos, com a instalação de diversas indústrias com potencial altamente poluidor, ao uso inadequado do solo para expansão da agricultura e/ou desenvolvimento de diversas atividades produtivas, dentre outras agravantes. Nesse cenário, a deficiência de serviços de saneamento básico, como ausência de coleta de esgotos, tratamento ineficiente e destinação inadequada de efluentes, assim como coleta irregular e destinação inadequada de resíduos sólidos, tem influência negativa direta sobre alguns parâmetros de qualidade monitorados (ANA, 2012).

No que concerne especificamente ao saneamento básico, menos da metade (42,6%) dos esgotos do país é coletada e tratada. Dos 5.570 municípios, somente 30% possuem uma estação de tratamento de esgotos (ETE), apenas 39% das 9,1 mil toneladas (t) de carga orgânica gerada diariamente no país, estimada pela demanda bioquímica de oxigênio (DBO), são removidos pelas 2.768 ETES existentes, antes de

seus efluentes serem lançados nos corpos d'água. Os outros 61%, que correspondem a 5,5 mil toneladas (t) de DBO, podem alcançar os corpos hídricos todos os dias (ANA, 2017), contrariando a Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011), que estabelece remoção mínima de 60% de DBO, antes do lançamento nos corpos d'água.

O baixo índice de coleta de tratamento dos esgotos e seu insuficiente percentual de remoção de carga orgânica comprometem a qualidade da água dos cursos d'água, em especial na região Sudeste, conforme o cenário atual da qualidade das águas brasileiras revelado pela Rede Nacional de Qualidade da Água (RNQA), com dados de monitoramento obtidos em 2017, para concentração de *Escherichia coli* (ANA, 2019).

1.1. Motivação e justificativa

A motivação para consecução desta pesquisa reside no fato de poder abordar problemas reais da gestão de recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, integrando quatro aspectos importantes: (i) a disponibilidade hídrica e sua manutenção em padrões de quantidade e qualidade; (ii) a problemática do monitoramento de qualidade da água; (iii) a ocupação desordenada com mudanças no uso e cobertura do solo; (iv) a poluição dos recursos hídricos.

Trata-se de um tema abrangente e de natureza complexa, envolvendo vários interesses, e que tem a dinâmica do comportamento socioeconômico, que impacta o meio ambiente em escala local, criando desafios técnicos, administrativos e jurídicos. A manutenção da qualidade das águas em patamares adequados ao seu uso é um desafio grande, sobretudo em alguns cursos d'água que cortam o meio urbano. O monitoramento como um instrumento preventivo de referência para apoio a ações corretivas e de planejamento é uma das principais ferramentas para abordar o problema de qualidade das águas, sendo essencial avaliar a efetividade das redes de monitoramento em refletir os impactos do uso do solo na bacia e no acompanhamento das medidas de prevenção e redução da poluição dos recursos hídricos implantadas na bacia.

No caso estudado, a bacia do rio Piabanha, na Região Serrana do Rio de Janeiro (RSRJ), conta com o apoio da Rede de Monitoramento de Qualidade de Água do Piabanha (RMQAP), operada pelo Serviço Geológico do Brasil/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (SGB-CPRM).

Desde 2006, o SGB-CPRM mantém a rede de monitoramento da bacia experimental do rio Piabanha, a qual foi concebida no âmbito do projeto Estudos

Integrados de Bacias Experimentais – Parametrização Hidrológica na Gestão de Recursos Hídricos das Bacias da Região Serrana do Rio de Janeiro – Projeto EIBEX –, apoiado pela Chamada Pública MCT/FINEP/CT-HIDRO – Bacias Representativas 04/2005, coordenado pela COPPETEC-COPPE-UFRJ. Inicialmente restringia-se ao monitoramento hidrometeorológico, tendo incorporado em 2009 o monitoramento sistemático da qualidade da água nas estações fluviométricas, consolidando a RMQAP-EIBEX. A bacia experimental do Piabanha tem ainda a função de bacia-escola, tendo dessa forma apoiado o Curso de Extensão em Hidrometria (Edital MCT/CNPq/CT-Hidro nº 037/2006). Em 2010, novo edital de fomento trouxe recursos e novas pesquisas para a bacia, como a Chamada MCT/FINEP/CT-HIDRO nº 01/2010 – com as redes HIDROECO e RHIMA. Mais recentemente, o monitoramento na bacia tem recebido apoio do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha (CBH Piabanha) com recursos arrecadados por meio da cobrança pelo uso da água na bacia. A localização relativa das estações da bacia do rio Piabanha pode ser vista no diagrama unifilar apresentado no Anexo I, Figura I.1, onde estão indicadas as estações da rede EIBEX na bacia representativa.

Em particular, o estudo desses aspectos na bacia do rio Piabanha, pesquisa sobre processos de mudanças no uso e cobertura da terra e seus impactos na hidrologia de bacias, pode apoiar o CBH Piabanha (Comitê Piabanha) em estudos e deliberações, a prefeitura de Petrópolis, na gestão do uso do solo, e o Instituto Estadual do Ambiente (INEA/RJ), em suas atribuições como órgão gestor de recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro.

1.2. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar as mudanças espaço-temporais do uso e cobertura do solo e seus impactos sobre a disponibilidade hídrica na bacia do rio Piabanha, em sua porção definida como bacia representativa, considerando aspectos da qualidade de água.

Em especial, três bacias experimentais situadas na bacia são examinadas, uma vez que abrangem características hidrológicas distintas, notadamente com influências de origem urbana, agropastoril e florestal, relacionando a correspondente evolução da cobertura e uso do solo com parâmetros de qualidade de água obtidos no período 2009-2015 mediante a realização de 50 campanhas de amostragem na bacia do Piabanha.

Mais especificamente, delimitaram-se os seguintes objetivos específicos:

1. caracterizar a área de estudo do ponto de vista fisiográfico e do uso do solo e sua cobertura vegetal
2. identificar os parâmetros de qualidade da água mais relacionados à variação do uso do solo, com base nos dados existentes para a bacia hidrográfica;
3. propor indicadores de quantidade e qualidade de água, sensíveis às variações do uso do solo;
4. propor uma sistemática de monitoramento e acompanhamento desses indicadores;
5. revisar a problemática das bacias experimentais e representativas, inseridas na bacia do rio Piabanha.

1.3. Estruturação do texto

O texto deste trabalho está sistematizado da maneira que se expõe a seguir. Como visto, este item 1 traz as considerações gerais, motivação, justificativas e objetivos (geral e específicos). Em seguida, o item 2 reúne os fundamentos teóricos e a revisão bibliográfica, relativos à pesquisa e às ferramentas propostas. É feita uma contextualização do monitoramento da qualidade de água, internacionalmente e no Brasil, e são apresentados conceitos e definições relacionados a uma Rede de Monitoramento de Qualidade da Água (RMQA). A partir de uma ampla revisão bibliográfica, é possível observar a evolução das técnicas mais utilizadas para a avaliação das RMQAs a fim de facilitar a avaliação das técnicas utilizadas neste trabalho.

No item 3, é caracterizada a área de estudo quanto à sua fisiografia, clima, usos do solo e cobertura vegetal, no contexto da configuração de bacias representativas e experimentais, inseridas na bacia do rio Piabanha, considerando os dados com a apresentação da base cartográfica utilizada.

No item 4 é apresentada a metodologia proposta para análise e são apresentadas, em uma visão exploratória, as séries de dados disponíveis de precipitação, vazão e parâmetros da RMQA do Piabanha, e os mapas temáticos produzidos neste trabalho para apoio às análises.

No item 5 são apresentados e comentados os resultados da análise conjunta dos parâmetros e das características de usos do solo e cobertura vegetal.

Finalmente, apresentam-se as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros no item 6, e as referências bibliográficas citadas ao longo do texto são apresentadas no item 7

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o presente estudo, é importante a compreensão dos processos hidrológicos que ocorrem na bacia hidrográfica, de suas possíveis alterações, induzidas ou não por ação antrópica, além do conhecimento sobre de que maneiras alterações do uso e ocupação do solo podem afetar a qualidade da água, sobre como quantificar seus efeitos por meio de monitoramento e interpretação do comportamento de parâmetros físicos, químicos e biológicos nos diversos trechos dos cursos d'água e ao longo do tempo.

2.1. O Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica

O ciclo hidrológico, ilustrado na Figura 2.1, representa o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado, fundamentalmente, pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (SILVEIRA, 1997). As chuvas são elo entre os fenômenos meteorológicos, propriamente ditos, e os demais componentes do ciclo hidrológico. A precipitação é o elemento forçante da fase terrestre do ciclo hidrológico, constituindo importante fator para os processos de escoamento superficial direto, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos e vazões de base dos rios, sendo que cerca de 70% da quantidade de água precipitada sobre a superfície terrestre retorna para a atmosfera via evaporação e transpiração.

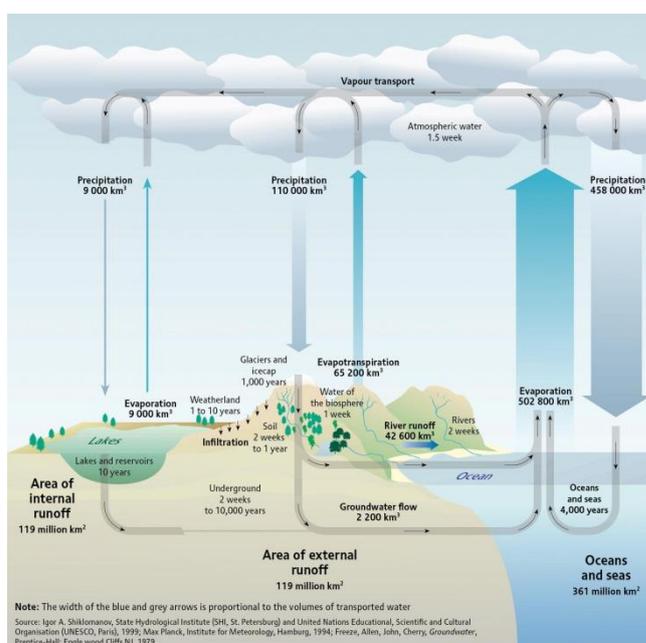


Figura 2.1: Representação do ciclo hidrológico. Fonte: UNEP (2002).

Com distintas denominações, quantidade e velocidade com que circulam nas diferentes fases do ciclo hidrológico, as águas são influenciadas por diversas características da bacia hidrográfica como, por exemplo, a cobertura vegetal, altitude, topografia, temperatura, tipo de solo e a geologia (MOLINARI, 2015).

Na bacia hidrográfica são desenvolvidas as atividades humanas, muitas vezes revelando conflitos de uso entre suas áreas urbanas, industriais, agrícolas e Áreas de Preservação Permanente (APPs), como exemplificado em SILVA *et al.* (2010) que apontam essas divergências entre legislação e uso da terra no município de Itabira/MG. Porto e Porto (2008) mencionam que no exutório da bacia hidrográfica estão representados todos os processos integrantes de seu sistema, e o que ocorre na bacia é consequência das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem. Outra importante observação, feita por RIBEIRO *et al.* (2001), é sobre a maneira com que o solo é afetado pelo seu uso, podendo alterar a dinâmica do escoamento, a infiltração, a evaporação, a qualidade da água em seus mananciais, pois quando a água percorre o solo adquire suas características.

Segundo SILVEIRA (1997), a bacia hidrográfica é o elemento fundamental de análise do ciclo hidrológico, principalmente de sua fase terrestre, que engloba a infiltração e o escoamento superficial. De acordo com COELHO NETTO (1994), a bacia hidrográfica ou bacia de drenagem é a área que drena os fluxos líquidos, sólidos e solúveis para uma saída comum. Para sua delimitação, é necessária a representação do relevo com topografia bem definida, na escala de análise pretendida, conforme ilustra a Figura 2.2.

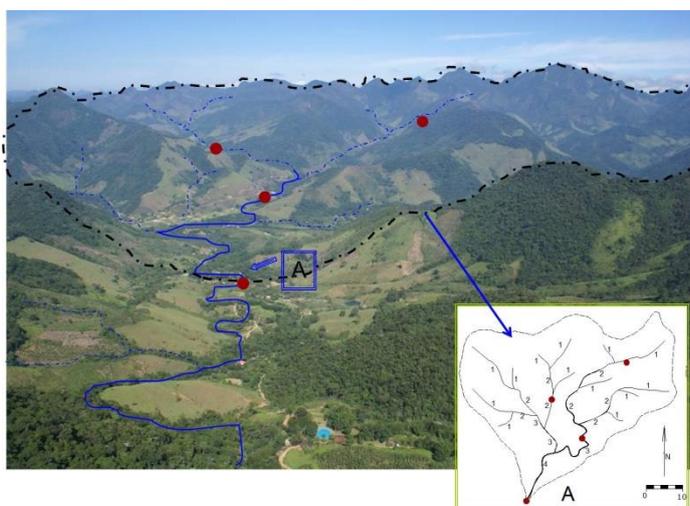


Figura 2.2: Bacia hidrográfica Fonte: COELHO NETTO (1994); Foto: Paulo Romeu, My Zoom (10/12/2008).

Ao longo da década de 1990, a gestão de recursos hídricos ganhou forças com base no recorte territorial das bacias hidrográficas. Os princípios de Dublin foram acordados em reunião preparatória à Rio-92. Desses, o princípio nº 1 diz que, para a gestão dos recursos hídricos ser efetiva, ela deve ser integrada, abrangendo todos os aspectos físicos, sociais e econômicos, e para que essa integração tenha o foco adequado, sugere que a gestão seja baseada nas bacias hidrográficas. A Lei Federal Nº 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), tem entre seus fundamentos que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a sua implementação e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), devendo assim ser o objeto da aplicação dos seus instrumentos, como os Planos de Recursos Hídricos e o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água.

2.2. Uso do Solo

O uso do solo é a manifestação concreta da ocupação de espaço imposta pela sociedade, onde o homem é direta ou indiretamente considerado o importante agente modificador do meio ambiente que é constituído por componentes físicos como ar, água, solo e subsolo, além de componentes biológicos, plantas, animais e o homem (BARBIN, 2003). Para ZALIDIS *et al.* (2002), as últimas décadas foram caracterizadas pelas drásticas mudanças no uso e ocupação do solo e representam uma das principais forças motrizes para a degradação ambiental, em especial, do solo e da água.

Segundo IBGE (2006), entende-se que “o conhecimento da distribuição espacial dos tipos de uso e da cobertura da terra é fundamental para orientar a utilização racional do espaço”. Ao retratar as formas e a dinâmica de ocupação da terra, os estudos representam instrumento valioso para a construção de indicadores ambientais e para a avaliação da capacidade de suporte ambiental, frente aos diferentes manejos empregados na produção, contribuindo assim para a identificação de alternativas promotoras da sustentabilidade do desenvolvimento.

Os levantamentos de uso e cobertura da terra fornecem subsídios para as análises e avaliações dos impactos ambientais, como os provenientes de desmatamentos, perda da biodiversidade, mudanças climáticas, doenças recorrentes, ou, ainda os inúmeros impactos gerados pelos altos índices de urbanização e pelas transformações rurais que se cristalizam em um grande contingente de população sem emprego, vivendo nos limites das condições de sobrevivência (IBGE, 2006).

Nos estudos de SANTOS e SILVEIRA (2004), a concepção teórica sobre a apreensão do conjunto do uso da terra também é identificada ao colocar como questão o uso do território para tratar da apropriação dos espaços no território brasileiro. Em cada região do país, os problemas repetem-se, mas também se diferenciam a partir das formas e dos tipos de ocupação e do uso da terra, que são delineados a partir dos processos definidos nos diferentes “circuitos de produção”. Os autores advertem que o uso do território está relacionado com a produção, sendo necessário reconhecer os seus produtores e possuidores para decifrar os seus usos.

As informações e o conhecimento sobre o uso e a cobertura do solo de uma região são de fundamental importância para apontar a tipologia de uso e identificar os problemas ambientais que se configuram em decorrência desses usos.

No curto prazo, as diferentes práticas de uso e exploração do solo são aplicadas geralmente em sistemas locais, proporcionando o fornecimento de bens materiais. Tais práticas podem causar ou potencializar a degradação de ecossistemas no longo prazo, podendo atingir escalas regionais e globais. Sendo assim, a sociedade deve encarar o desafio e a responsabilidade de desenvolver estratégias de redução dos impactos negativos ao meio ambiente, sem prejudicar a garantia dos benefícios econômicos e sociais oriundos da exploração e uso do solo por meio de múltiplos serviços. Mudanças contínuas no uso do solo permitiram ao homem utilizar de forma crescente os recursos do planeta. Essa prática, realizada de forma desordenada, provoca a diminuição da capacidade do ecossistema em sustentar a produção de alimentos, manter a água doce em qualidade e quantidade desejáveis e conservar recursos florestais remanescentes. (FOLEY *et al.*, 2005).

A discussão acerca de mudanças globais tem sido relacionada à disponibilidade de alimento, água e abrigo para a população do planeta. A devastação de florestas tropicais, prática de agricultura de subsistência, intensificação da produção agrícola e expansão de centros urbanos são maneiras intensas de alterar a paisagem. São atividades desempenhadas para satisfazer necessidades imediatas em detrimento das condições ambientais (FOLEY *et al.*, 2005).

Contribui para essa degradação a atuação do homem na geração de resíduos domésticos ou industriais e nas atividades agropecuárias. Desta forma, pode-se dizer que a qualidade e a quantidade da água estão diretamente ligadas às condições de uso e cobertura do solo numa bacia hidrográfica. (VON SPERLING, 2005).

Os fatores que influenciam o aporte de sedimentos em bacias hidrográficas são relevo, tipo de solos, clima e uso e ocupação dos solos. Dentre esses, a cobertura do solo tem influência decisiva nas perdas de água e de solo (SILVA *et al.*, 2005), podendo influenciar indiretamente a disponibilidade e a qualidade da água.

A poluição da água por nutrientes provenientes de atividades humanas difusas, agrícolas e urbanas é um problema global (CARPENTER *et al.*, 1998). No estado do Rio de Janeiro, TROMBONI e DODDS (2017) mostraram resultados interessantes de como o uso urbano está concentrado na zona ripária e como esse fato altera, mais intensamente, as condições de qualidade da água dos corpos d'água, com relação à concentração de nutrientes. Verificaram ainda que, onde o uso urbano representa de 10 a 46% da cobertura de uma bacia hidrográfica, há um salto no aumento da concentração desses nutrientes para pequenos incrementos de urbanização.

Solo e água são recursos vitais para a manutenção da vida e do desenvolvimento econômico da sociedade. Em especial, nas últimas décadas vem ocorrendo a substituição do uso e cobertura do solo, de florestas por áreas intensas de produção agrícola, pecuária e, principalmente, pela expansão urbana. Na bacia hidrográfica do Bonfim, afluente do rio Piabanha, experimentos de LAWALL (2010) mostram que o tipo de uso e cobertura do solo influencia a dinâmica hidrológica dos solos, principalmente, à superfície.

O crescimento desordenado do espaço urbano, sem a ação ou com a conivência dos poderes públicos locais, tem gerado graves problemas ambientais que comprometem a qualidade de vida da população (BARBIN, 2003).

A urbanização em uma bacia hidrográfica tem consequências fortes com a impermeabilização de sua superfície e canalização de cursos d'água, que alteram o escoamento das águas de chuva e aumentam o carreamento de sólidos e nutrientes. Os corpos d'água sofrem assoreamento, poluição e contaminação por efluentes líquidos. Há poluição do ar e das superfícies urbanas, por disposição inadequada de resíduos sólidos. Políticas públicas inadequadas de uso do solo urbano, drenagem urbana e de gestão de resíduos sólidos agravam o problema das enchentes em cidades em todo o país (TUCCI *et al.*, 2001).

Diversos estudos já identificaram as consequências de mudanças em LULC em pequenas bacias, por exemplo, com a substituição de florestas por pastagens que aumenta o escoamento direto, com reflexos nas vazões máximas de pico em eventos chuvosos. RODRIGUEZ (2011) menciona que as mudanças nas vazões em sub-bacias

na Amazônia têm várias interpretações, e que o impacto das mudanças do uso da terra depende da escala, e isso afeta a percepção desses sinais com os diferentes efeitos sobrepostos de diversos fatores naturais. RODRIGUEZ *et al.* (2010) concluem que impactos da mudança revelaram-se em bacias menores, com não linearidade evidenciada, enquanto para bacias maiores esses efeitos seriam agregados e compensados.

Em 2012, a 18th *Biennial Conference on Ecological Modelling for Global Change and Coupled Human and Natural Systems - International Society for Ecological Modeling*, que aconteceu em Pequim (China), teve a apresentação de cerca de 300 trabalhos, com dezenas deles apresentando estudos de casos de mudanças no padrão da paisagem ou no uso e cobertura do solo e suas implicações sobre a qualidade da água. Boa parte dos trabalhos teve a bacia hidrográfica como objeto. Há descrição de diferentes abordagens metodológicas como modelagem matemática quali-quantitativa com o modelo SWAT (YOU *et al.*, 2012; CHEN *et al.*, 2012), com o Aquatox (YANG *et al.*, 2012); análise estatística multivariada e análise de agrupamentos de 21 parâmetros indicadores de qualidade da água em 13 pontos da bacia (ZHAO *et al.*, 2012), correlações simples e múltiplas (XIA *et al.*, 2012); análise de regressão de parâmetros e índices de LULC (LI *et al.*, 2012) e proposição de índices para avaliação da efetividade da gestão da qualidade ambiental de áreas preservadas (HE *et al.*, 2012) e da qualidade da água (LIU *et al.*, 2012).

VILLAS BOAS (2018) apresenta ferramenta de avaliação da rede de monitoramento de qualidade de água da bacia do rio Piabanha, utilizando análise multivariada dos parâmetros e locais de monitoramento e modelagem quali-quantitativa com o modelo SWAT, concluindo sobre parâmetros e locais de monitoramento mais relevantes para a bacia.

WEI *et al.* (2020) propõem o método de características hidrogeoquímicas com suporte de geoprocessamento, para identificar e quantificar fontes de poluição pontuais e difusas, em área de contribuição a reservatórios de armazenamento de água, avaliando distintamente os parâmetros em período chuvoso e de estiagem.

Sob o ponto de vista da gestão da bacia hidrográfica, toda ação de planejamento visando ao ordenamento territorial e, em consequência, à atenuação ou eliminação de impactos decorrentes das alterações no uso do solo, deve ser precedida de um diagnóstico ou monitoramento do uso do solo (PAIVA, *et al.*, 2003). Contudo, conforme citam ENOKIDA e MAGALHÃES (2009), a elaboração de um banco de

dados é importante para se realizar um diagnóstico da bacia hidrográfica, quanto à espacialização dos usos do solo, permitindo assim propor um planejamento ambiental da bacia e apoiar as tomadas de decisões pertinentes.

O geoprocessamento apresenta um enorme potencial no Brasil, por seu tamanho e pela real carência de dados e informações adequadas para a tomada de decisões sobre problemas urbanos, rurais e ambientais, (PAIVA *et al.*, 2003).

O monitoramento e o conhecimento do uso e ocupação da terra são importantes para a compreensão dos padrões de organização do espaço, uma vez que suas tendências possam ser correlacionadas e analisadas (LEITE e ROSA, 2012).

A obtenção de informações detalhadas e precisas sobre o espaço geográfico é uma condição necessária para as atividades de planejamento e tomada de decisões, segundo o destaque feito por ARAÚJO FILHO *et al.* (2007). Para os autores, os mapas de uso da terra e de cobertura da terra são instrumentos que auxiliam a cumprir essas funções, promovendo o desenvolvimento sustentável e sendo imprescindíveis para o planejamento regional ou local.

Observar o comportamento hidrológico resultante de alterações no uso e ocupação do solo é de grande importância para o gerenciamento adequado dos recursos hídricos, possibilitando inferir sobre a disponibilidade hídrica, sendo essencial no que concerne à proposição de medidas visando ao desenvolvimento sustentável. O monitoramento das mudanças ocorridas sobre a superfície terrestre por meio do sensoriamento remoto é vantajoso, em função de sua ampla cobertura espacial, de seu baixo custo e da rapidez na obtenção dos resultados.

O tema mudanças no uso do solo e cobertura vegetal tem sido estudado desde os anos 1970, abordando suas causas e consequências dada a importância dos impactos na produtividade das terras, nos ecossistemas, da biodiversidade, nos ciclos biogeoquímicos, do carbono, da água, da energia, na variabilidade e nas mudanças climáticas, para sua compreensão, permitindo aumentar a capacidade preditiva dessas mudanças. Há algum tempo produtos de sensoriamento remoto têm papel fundamental no mapeamento e no monitoramento de LULC para detecção e acompanhamento de alterações. Mais recentemente, a tecnologia de sensoriamento remoto tem mostrado potencial também para avaliação de impactos de mudanças de LULC, com a disponibilidade de técnicas de tratamento e análise de dados em quantidade e de produtos voltados para essa finalidade (LIANG *et al.*, 2012).

Para avaliar as mudanças provenientes do uso intenso do solo e crescentes distúrbios provocados por este uso, atualmente encontram-se disponíveis ferramentas de registro e de análise de impactos eficientes, como o uso associado de imagens de satélites e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) com diversas técnicas de processamento digital de imagem, que auxiliam no mapeamento e monitoramento do meio natural e das ações antrópicas sobre ele (ARAÚJO e LOBÃO, 2009). A importância da análise do uso e da ocupação do solo em estudos de caracterização ambiental justifica-se, principalmente, pela necessidade de identificação de fontes ou potenciais fontes de alterações do ambiente advindas de atividades humanas.

O MAPBIOMAS (SOUZA JR *et al.*, 2020) é um produto de sensoriamento remoto com metodologia que se propõe a ser rápida, confiável e de baixo custo na geração de mapas anuais de cobertura e uso do solo do Brasil. Utiliza imagens Landsat, com a proposta de atualização a cada aprimoramento dos algoritmos de classificação utilizado e não só por novas imagens. A metodologia de classificação é dinâmica com a finalidade de aperfeiçoar a classificação de cada tipologia. O produto permite a avaliação das mudanças no uso e cobertura do solo a cada ano, sendo apresentado por Bioma.

2.2.1. Usos consuntivos da água

Os usos da água podem ser classificados como usos consuntivos e não consuntivos, assim descritos em função da demanda hídrica e das perdas qualitativas resultantes dos usos (ESTEVES, 2011).

Essa definição é essencial na avaliação de solicitações de outorga de direitos de usos da água, por órgãos gestores de recursos hídricos, instrumento essencial da PNRH, Lei 9.433/1997. São ainda definidos valores limites para consideração de uso insignificante em função do impacto que a demanda causaria às vazões de referência dos cursos d'água. Os usos insignificantes estariam isentos da obrigatoriedade da outorga, porém devem ser cadastrados para contabilização no balanço hídrico da bacia, pois em seu conjunto poderão impactar a disponibilidade hídrica. Essa definição de uso insignificante é objeto de regulamentação por cada órgão gestor de recursos hídricos.

Segundo REBOUÇAS (2002), os usos não consuntivos ocorrem no próprio manancial sem retirada de água, ou, após sua captação, permitem retorno integral ao manancial. São exemplos de usos não consuntivos: navegação, pesca, preservação da flora e da fauna, e recreação.

O uso para diluição de efluentes, por exigir disponibilidade hídrica para diluir e possibilitar a autodepuração de poluentes, em função da carga poluidora, também requer outorga de direito de uso.

O uso para geração de energia hidrelétrica requer reserva de disponibilidade hídrica e outorga, pois pode competir com outros usos já outorgados. Nos empreendimentos com reservatório de acumulação para regularização, há uma redução da vazão a jusante, que pode comprometer a preservação da fauna e da flora. Além disso, no reservatório pode ocorrer alteração dos padrões de qualidade da água com a acumulação de nutrientes, poluentes e sedimentos, exigindo a instalação de estações de monitoramento, coleta de amostras para análise e o acompanhamento por parte do empreendedor, exigência estabelecida em resolução conjunta ANA/ANEEL N° 3/2010 (BRASIL, 2010).

Os empreendimentos a fio d'água, isto é, sem reservatório de regularização, como é o caso da maioria das pequenas centrais elétricas (PCH), embora não retirem água propriamente do sistema, pois devolvem a jusante a mesma vazão afluyente e sem retardo, podem impactar algum trecho se houver no projeto a previsão de desvio de vazão para jusante, com a finalidade de melhor aproveitamento da queda e, neste caso, deve prever uma vazão remanescente no trecho da calha original, de acordo com a vazão de referência estabelecida para o curso d'água.

ANA (2019) apresenta a partição de retiradas de água, retorno e consumo por finalidade de uso, com base no ano de 2018 (Figura 2.3). Com relação ao consumo anual, a distribuição relativa a 2018 é 66,1% para irrigação, 9,1 % para o abastecimento urbano e 2,5% para abastecimento rural, 9,5% para a indústria, 0,9% para mineração, 0,3% para termelétricas, e 11,6% para uso animal. A demanda de água é crescente para todos os usos. Estima-se que tenha havido aumento nas últimas duas décadas de, aproximadamente, 80% no total retirado de água e que até 2030 essa retirada aumente 26%. A evolução histórica dos usos da água está diretamente relacionada ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país.

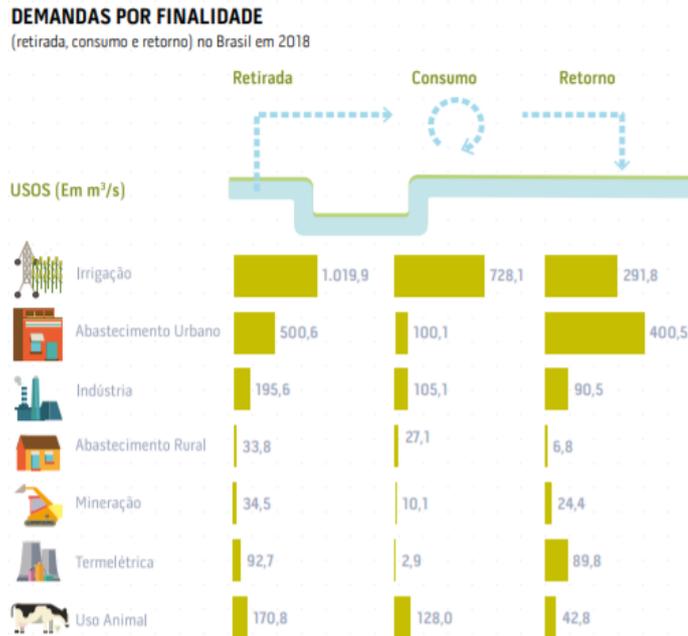


Figura 2.3: Usos da Água no Brasil em 2018. Fonte: ANA (2019).

2.3. Qualidade da água de um corpo hídrico

A água, como recurso natural vital para toda a flora e a fauna, é indispensável em praticamente todas as atividades humanas. Segundo OKI (2002), a água é um indicador ambiental de grande eficiência, pois ao longo do ciclo hidrológico, ela interage com todo o ambiente, acumulando as informações dessas interações que se refletem em sua disponibilidade e qualidade.

Sendo a água um recurso limitado e dada a sua importância, a conservação de sua qualidade e a procura por mecanismos eficazes na mitigação de impactos ambientais negativos, como o crescimento desordenado da população, a expansão urbanística, a industrialização, a agricultura, a pecuária e a produção de energia elétrica, são motivos de preocupação crescente em termos mundiais.

De acordo com VON SPERLING (2005), a qualidade da água pode ser representada por meio de diversos parâmetros, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas.

Na avaliação da qualidade da água, os parâmetros monitorados constituem séries temporais que podem ser avaliadas por diversas técnicas, para a construção de um diagnóstico. Em EPA (2006) são apresentadas diversas técnicas estatísticas capazes de transformar os dados em informação para apoio à decisão.

2.3.1. Panorama da qualidade da água no Brasil

O Brasil possui 13,2% da disponibilidade de água doce superficial do mundo, sendo este um dos grandes patrimônios do país. A disponibilidade da água, contudo, não se resume apenas ao aspecto quantitativo. Os vários usos da água possuem requisitos de qualidade que, quando não atendidos, representam um fator limitante para o seu aproveitamento. A PNRH tem como um de seus objetivos assegurar, à atual e às futuras gerações, a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequada aos respectivos usos.

Conforme ANA (2012), o conhecimento sobre a qualidade das águas brasileiras é primordial para que seja feita sua correta gestão e para que o uso múltiplo das águas, preconizado pela PNRH, seja garantido. A existência de água limpa é requisito essencial para a manutenção dos ecossistemas aquáticos e para várias atividades humanas, tais como o abastecimento doméstico, a irrigação, o uso industrial, a dessedentação de animais, a agricultura, a pesca e o turismo. Os impactos ambientais, sociais e econômicos da degradação da qualidade das águas traduzem-se, entre outros, na perda da biodiversidade, no aumento de doenças de veiculação hídrica, no aumento do custo de tratamento das águas destinadas ao abastecimento doméstico e ao uso industrial, na perda de produtividade na agricultura e na pecuária, na redução da pesca e na perda de valores turísticos, culturais e paisagísticos.

Em 2013, a Agência Nacional de Águas (ANA) implementou a Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade das Águas (RNQA). O objetivo da RNQA é ter um monitoramento padrão em relação ao controle do Índice de Qualidade da Água (IQA), pois constatou-se que uma das grandes questões no Brasil era a falta de padronização das informações sobre as coletas e as análises laboratoriais. Essa realidade tornava os resultados pouco confiáveis e de difícil comparação entre as diversas regiões do país. Com a operação da RNQA, é possível identificar áreas em situações mais críticas que necessitam apoio e ações de planejamento da gestão, concessão de outorgas, licenciamento ambiental e fiscalização do uso da água. Seus resultados podem ser acompanhados em ANA (2020).

No ano de 2010, aproximadamente 81% dos recursos hídricos monitorados no Brasil encontrava-se em boas condições de qualidade. Dos 1.988 pontos analisados, 75% apresentavam o Índice de Qualidade de Água (IQA) com classificação boa. Os menores índices concentram-se nas zonas urbanas, onde 47% foram avaliados como

ruim ou péssima, sendo esse fato, decorrente do baixo índice de coleta e tratamento de esgotos. Os baixos índices foram relacionados, principalmente, ao alto crescimento populacional sem os devidos investimentos em saneamento, manejo de atividades agropecuárias e controle de lançamentos de efluentes industriais (BRANCO, 2014).

Em 2018 havia já 2.873 pontos de monitoramento de qualidade de água em operação em 24 Unidades da Federação, no âmbito da RNQA. A previsão é de que a RNQA venha a ter 4.534 pontos de monitoramento em todo o Brasil, com padronização de frequência, procedimentos de amostragem/análise e parâmetros monitorados, tornando os dados de qualidade de água comparáveis em âmbito nacional (ANA, 2019).

2.3.2. Padrões de qualidade da água

A água de boa qualidade é fundamental para toda a cadeia da subsistência humana, pela beleza de um curso de água natural, repleto de vida animal e vegetal, pelas atividades econômicas essenciais que a água limpa dos rios e dos córregos proporciona, e pelo papel fundamental para a saúde que a água potável segura desempenha (ANA, 2011).

O conhecimento sobre qualidade de água evoluiu nos últimos séculos a partir do aumento da demanda e da capacidade de medição e interpretação de características da água. (PAIVA *et al.*, 2003).

A resolução nº 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005) preconiza os padrões para classificação dos corpos de água segundo o uso preponderante de suas águas, dispõe sobre as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, e dá outras providências. Seu texto foi alterado pela resolução nº 430 (BRASIL, 2011) quanto ao estabelecimento das condições e padrões de lançamento de efluentes.

A Lei 9.433/97, que instituiu a PNRH, em seu Art. 9º cita que o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, visa a assegurar, às águas, qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e a diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes (BRASIL, 2005).

A resolução determina que a qualidade das águas seja exigida conforme o enquadramento pelos usos preponderantes mais restritivos da água, atuais ou pretendidos. A classe estabelecida para um segmento de corpo de água, ao longo do tempo, deve estar baseada em diagnósticos regionais, considerando-se dados

socioeconômicos, uso do solo e usos pretendidos dos recursos hídricos, de modo a assegurar seus usos preponderantes.

Essa mesma resolução define padrão de qualidade como sendo o valor limite adotado como requisito normativo para um parâmetro de qualidade da água, ao passo que a condição de qualidade representa a qualidade em um segmento do corpo d'água num determinado momento, em termos de usos possíveis com segurança adequada, frente às classes de qualidade. Assim, para cada classe de qualidade foram estabelecidos condições e padrões de qualidade por meio de variáveis (1) descritivas, tais como materiais flutuantes não naturais, óleos e graxas, substâncias que propiciam gosto ou odor, corantes provenientes de fontes antrópicas, resíduos sólidos objetáveis e toxidades e; (2) quantitativas, tais como pH, DBO, OD, substâncias orgânicas, metais totais e dissolvidos, e dissolvidos, densidade de cianobactérias, teor de clorofila, entre outras, onde existem faixas de concentrações permitidas.

Os corpos de água doce são enquadrados por leis ou decretos, uma vez que esse enquadramento, respeitando os padrões de qualidade, estabelece metas ou objetivos de qualidade da água a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um dado segmento de corpo d'água ao longo do tempo. Dessa forma, as ações de controle de poluição de fontes pontuais (origem doméstica e industrial) ou difusas (origem urbana e agrícola) devem visar à adequação da qualidade dos corpos hídricos à sua respectiva classe de uso (CETESB, 2020a), conforme e ilustrado na Figura 2.4 e descrito no Quadro 2.1.



Figura 2.4: Classes de enquadramento dos corpos d'água. Fonte: ANA (2019).

Quadro 2.1: Classificação das águas doces - Resolução CONAMA nº 357/2005

CLASSES	USOS
Classe Especial	a) Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; b) Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; c) Abastecimento para consumo humano, com desinfecção.
Classe 1	a) Abastecimento doméstico após tratamento simplificado; b) Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); c) Proteção das comunidades aquáticas; d) Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e) Proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.
Classe 2	a) Abastecimento doméstico, após tratamento convencional; b) Proteção das comunidades aquáticas; c) Recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho); d) Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e) Aquicultura e atividades de pesca.
Classe 3	a) Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) Pesca amadora; d) Recreação de contato secundário; e) Dessedentação de animais.
Classe 4	a) Navegação; b) Harmonia paisagística.

Para cada uma das classes acima descritas, na seção da resolução, são fixadas as condições e os padrões orgânicos e inorgânicos a serem respeitados. Dessa forma, o padrão da qualidade da água a ser adotado é função do uso a que se destina o curso d'água.

É uma abordagem interessante para a questão da qualidade da água, podendo-se estabelecer metas a serem cumpridas em contínua melhoria no enquadramento dos cursos hídricos. LIU *et al.* (2012) demonstrou a apreensão em estabelecer indicadores e valores limites para restrições de parâmetros em toda uma bacia em condições atuais tão distintas como em sua área de estudo, uma sub-bacia do rio Yangtzé. Sua proposição resultou semelhante à abordagem da Resolução Conama 357/2005 (BRASIL, 2005), com distribuição de pesos por categoria de uso do corpo d'água, em uma avaliação dinâmica que ajuste os pesos de cada parâmetro a metas de qualidade estabelecidas na gestão dos recursos hídricos.

2.3.3. Enquadramento dos cursos d'água no estado do Rio de Janeiro

O enquadramento dos cursos d'água é instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos ainda por implantar na maioria das bacias hidrográficas.

O órgão gestor de recursos hídricos no estado do Rio de Janeiro (INEA/RJ) utiliza o sistema de classificação e as recomendações da Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), em especial, as de seu artigo 42, onde estabelece que, enquanto não forem feitos os enquadramentos, as águas doces serão consideradas Classe 2. Dessa forma, como ainda não foi realizado o enquadramento dos rios de jurisdição estadual da bacia do rio Paraíba do Sul, dentre eles o rio Piabanha, permanece válida a Classe 2 para toda a extensão desses rios e seus afluentes (COPPETEC, 2006; AGEVAP, 2007).

2.3.4. Índices de qualidade da água

Os índices de qualidade buscam sintetizar a informação sobre a qualidade da água refletindo diversos de seus aspectos e facilitando a transmissão dessa informação ao público em geral. O índice de qualidade pode também ser acompanhado ao longo do tempo mostrando sua evolução, além de permitir a comparação entre diversos cursos d'água. Os índices de qualidade da água estão associados ao uso que se deseja para um corpo d'água (PORTO, 1991).

Em CPRH-PE (2020) encontra-se uma interessante revisão bibliográfica sobre índices de qualidade da água, que abrange desde o primeiro trabalho que se apresentou formalmente com esse objetivo, proposto por HORTON (1965), e que tinha como princípios considerar número mínimo de variáveis, refletir a disponibilidade de dados e resultar significativo em todo o país, garantindo, assim, sua praticidade e aplicabilidade.

Segundo QUEIROZ *et al.*, (2015), o IQA elaborado nos Estados Unidos, em 1970, pela *National Sanitation Foundation* (NSF), foi adotado no Brasil a partir de 1975, com uma versão do IQA adaptada da versão original, pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

Os parâmetros de qualidade de água que fazem parte do cálculo do IQA refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos (ANA, 2005). É importante ter em conta que o IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade das águas, tendo como principal objetivo sua utilização para o abastecimento público, considerando aspectos relativos ao tratamento de água (CETESB, 2020a).

Conforme COSTA *et al.*(2012), no desenvolvimento do IQA houve a participação de especialistas que indicaram as variáveis julgadas relevantes para a determinação da qualidade da água. Foi determinado para cada variável um peso

relativo entre 0 e 1, proporcional à sua importância. Ao todo foram propostas inicialmente 35 variáveis, segundo uma escala de valores de importância, contudo somente nove parâmetros foram considerados mais representativos, sendo eles: oxigênio dissolvido, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitratos, fosfato total, turbidez, temperatura da água, sólidos totais dissolvidos e coliformes termotolerantes. (CETESB, 2020a), conforme apresentado na Tabela 2.1

Tabela 2.1: Parâmetros do IQA e respectivos pesos

Parâmetros	Unidade de Medida	Peso (w)
Oxigênio Dissolvido (OD)	% Saturação	0,17
Coliformes Fecais	NMP 100 mL ⁻¹	0,15
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mgL ⁻¹ O ₂	0,10
Temperatura	°C	0,10
Nitrato (NO ₃)	mgL ⁻¹ NO ₃	0,10
Fósforo Total	mgL ⁻¹ PO ₄	0,10
Turbidez	uT ou UNT	0,08
Sólidos Totais	mgL ⁻¹	0,08

Alguns estudos aplicaram a metodologia do IQA ou IQA-NSF e suas versões em avaliações da qualidade da água das bacias do rio Piabanha e do Paraíba do Sul, como, por exemplo, VILLAS BOAS, *et al.* (2011a; 2011b).

2.4. Poluição e suas fontes

É preciso conhecer as fontes de potenciais poluidores para poder tratar a questão da qualidade da água em uma bacia hidrográfica. A primeira classificação seria quanto ao tipo de fonte: pontual e não pontual ou difusa. As fontes do tipo pontual, em geral, são de efluentes lançados diretamente no corpo d'água, por indústrias, núcleos habitacionais, concessionárias de saneamento básico ou outro emissor com localização precisa; ou podem ser de origem não pontual ou difusa, como as resultantes de práticas agrícolas, de substância constituinte do solo ou rochas no ambiente natural. Essa classificação ajuda na compreensão da questão da qualidade da água.

Há alguns estudos que relacionam elementos ou substâncias presentes na água com a tipologia de empreendimentos potencialmente poluidores ou com a geologia ou características naturais do ambiente. Esses estudos são fundamentais na interpretação de resultados do monitoramento da qualidade da água.

A CETESB, anualmente, publica o Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. Em um de seus apêndices, apresenta os parâmetros monitorados e interpreta o significado ambiental e sanitário das variáveis, com inferência de possíveis causas de anomalias ou não conformidade com padrões estabelecidos (CETESB, 2020b).

HEM (1985) apresenta extensa relação de elementos e substâncias químicas encontradas nas águas naturais, associando suas principais fontes, com base em conhecimentos geológicos e geoquímicos. É uma referência de grande utilidade e percebe-se o seu uso em outros trabalhos publicados, embora nem sempre seja citado.

ARAÚJO *et al.* (2007), para estabelecimento dos parâmetros de monitoramento da rede de Alerta de QA do rio Paraíba do Sul em projeto de cooperação ANA-SGB-CPRM, pesquisaram os parâmetros relacionados às tipologias dos empreendimentos constantes dos cadastros de usuários da água dos órgãos gestores de recursos hídricos dos três estados São Paulo (SP), Rio de Janeiro (RJ) e Minas Gerais (MG) e da ANA. Para identificar os parâmetros e estabelecer restrições de consistência dos dados de concentrações encontradas na água, utilizaram-se como referências as diversas publicações da Agência Ambiental dos Estados Unidos (EPA), que tem grande preocupação em apoiar a adequação de empreendimentos quanto a seus efluentes e resíduos oferecendo programas de incentivos, pactuando metas por setor produtivo, e assim oferece ampla divulgação de estudos sobre o tema em seu sítio eletrônico (EPA, 2020).

2.4.1. Estimativa das cargas poluidoras

A qualidade ambiental é avaliada em estudos das variações nos meios ecológico e social, que produzem impactos sobre o bem-estar dos seres vivos. Segundo SOARES (2001), a manutenção da qualidade ambiental e a difusão de sua importância estão diretamente relacionadas ao conhecimento e ao controle de algumas variáveis que definem o problema, sejam elas consequência de ações do homem sobre o meio em que habita ou de suas transformações naturais. Para alcançar esses objetivos de controle da qualidade da água e publicidade da informação, são necessários, pelo menos:

- monitoramento de parâmetros físico-químicos e biológicos;
- monitoramento hidráulico do corpo hídrico, níveis e vazões;
- conhecer a capacidade de assimilação de poluentes pelo corpo hídrico,
- quantificar as cargas poluidoras.

Para abordar o problema, de forma sistemática, diversas técnicas estão disponíveis como modelos matemáticos de simulação da qualidade da água em trechos de rios, conforme apresentado, por exemplo, em NAGALLI, et. al, (2009) MACHADO (2006), NUNES (2007), OPPA (2007), SANTOS (2008), MORAIS *et al.* (2009) que utilizaram sistema de alocação de cargas e simulação da capacidade de assimilação do rio permitindo acompanhar o cumprimento de metas de enquadramento por meio do modelo QUAL2E (BROWN e BARNWELL, 1987) para a bacia do rio Paraíba do Sul; cabe ainda destacar que outras técnicas de abordagem já foram empregadas, de natureza mais holística e menos sistemática, como em NEMES (2006) e em BARROS (2008), que abordam e investigam a relação entre causa e efeito.

VON SPERLING (2005), aborda o processo de autodepuração em corpos d'água, vinculado ao restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, após as alterações induzidas pelos despejos de afluentes. O impacto de despejos industriais deve ser avaliado considerando a capacidade de recuperação das condições do curso d'água com o conhecimento do fenômeno de sua autodepuração em relação aos poluentes. Para avaliar a eficácia das medidas de controle, é necessário quantificar as cargas poluidoras afluentes, o que requer levantamentos de campo na área em estudo, incluindo amostragem dos poluentes, análises de laboratório e medição de vazões.

Segundo VON SPERLING (2005), a carga é expressa em termos de massa por unidade de tempo, e pode ser obtida multiplicando-se a concentração do parâmetro analisado pela vazão do corpo receptor. Recomenda que a quantificação dos poluentes deva ser apresentada em termos de cargas por meio da Equação 1.

$$\text{Carga (kg.dia}^{-1}\text{)} = \frac{\text{concentração (g.m}^{-3}\text{).vazão (m}^3\text{ .dia}^{-1}\text{)}}{1.000(\text{g.kg}^{-1})} \quad (1)$$

PRODANOFF (2005) explicita o cálculo das cargas de parâmetros e potenciais poluentes, apresentando os componentes medidos em termos de sua massa e a concentração C em unidades como mg/L ou g/m³. Como a densidade da água é próxima a 1.0 g/cm³, unidades de µg/cm³, mg/L, e g/m³ são numericamente equivalentes a partes por milhão (ppm) por massa na água, enquanto µg/L (microgramas por litro) é numericamente equivalente a partes por bilhão (ppb) por massa.

A concentração também pode ser definida para variáveis não medidas em unidades de massa. Por exemplo, bactérias são frequentemente medidas como um número (ex. número mais provável de organismos ou NMP) por unidade de volume.

O impacto de poluentes no corpo hídrico pode ser influenciado tanto pela concentração quanto pela carga. A carga pode tanto significar a massa total M em um volume V de água na forma

$$M = C V \quad (2)$$

ou a taxa de fluxo de massa L (massa/tempo) na água escoando com a vazão Q (volume/tempo) segundo a relação

$$L = C Q \quad (3)$$

A Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011) dispõe sobre as condições e parâmetros, padrões e diretrizes ambientais, e também estabelece condições para gestão de lançamento de efluentes em corpos de água receptores.

Seu intuito é limitar as cargas poluidoras e a presença de contaminantes encaminhadas ao meio ambiente em lançamentos diretos na forma *in natura* nos cursos d'água gerando grandes impactos ambientais.

Segundo FREITAS e HORA (2016), o órgão gestor não deve permitir o lançamento de efluentes que exceda as condições e padrões de qualidade de água estabelecidos para as respectivas classes, podendo abrir exceção em situação em que existem metas obrigatórias estabelecidas para corpos de água em recuperação. Ainda assim, o lançamento de efluentes não poderá causar violação dos padrões de qualidade determinada pelas metas estabelecidas no plano de recursos hídricos da bacia. A restauração da qualidade da água dos rios tem sido um grande desafio para os gestores ambientais.

2.5. Monitoramento da qualidade da água

O monitoramento da qualidade da água é fundamental no gerenciamento dos recursos hídricos. Seu planejamento inclui a seleção das variáveis de qualidade da água, localização das estações de amostragem e determinação das frequências de amostragem (KARAMOUZ *et al.*, 2009).

A partir de 1970 no Brasil foram criadas algumas redes de monitoramento de qualidade da água, porém distribuídas de forma irregular pelo país, concentradas nas regiões sul e sudeste (ANA, 2012).

No estado do Rio de Janeiro, o monitoramento da qualidade das águas vem sendo realizado desde a década de 70, quando foi implementado pela FEEMA, e desde 2009 é mantido pelo INEA, que é responsável por seu planejamento e operacionalização, e pela avaliação e divulgação do diagnóstico da qualidade das águas (WEINBERG, 2018). A rede de monitoramento de qualidade da água de responsabilidade do INEA conta com 197 estações em operação. De modo geral, o monitoramento abrange parâmetros bacteriológicos, físico-químicos, biológicos e bioensaios. Vale ressaltar que o monitoramento dessa rede de qualidade de água não está associado ao monitoramento hidrológico (leituras de nível d'água e medições de descarga), o que impede a determinação das cargas poluidoras nos cursos d'água.

As instituições hoje responsáveis pelo monitoramento das águas na bacia do rio Piabanha, por meio de projetos e parcerias, são: INEA e ANA/ SGB-CPRM.

3. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PIABANHA

A bacia do Piabanha foi escolhida como área de estudo em bacias experimentais em razão de apresentar diversos impactos produzidos ao longo do processo histórico de uso e ocupação desordenada do solo característicos da região, destacando-se o desenvolvimento urbano e rural rápido com consequências substanciais de degradação ambiental. Os ciclos econômicos e a produção de desníveis socioambientais potencializam a degradação dos recursos hídricos, comprometendo não só a cadeia alimentar dos ecossistemas, mas também atingindo a oferta de água para consumo humano. Por essas razões, há necessidade de monitoramento intensivo e constante desses problemas ambientais, para que possam ser estudados, compreendidos e mitigados.

Neste capítulo será apresentada a caracterização geral da bacia do rio Piabanha. A área de estudos propriamente dita, no entanto, onde foram aplicadas as ferramentas desenvolvidas nesta dissertação, limita-se à bacia do rio Piabanha até a seção fluviométrica de Pedro do Rio, que abrange três bacias experimentais avaliadas no trabalho, sobretudo no que concerne à qualidade de água.

3.1. Características fisiográficas

O rio Piabanha nasce na Serra do Mar a aproximadamente 1.546 metros de altitude na Pedra do Retiro em Petrópolis (ANDRADE, 2016). Possui uma extensão de aproximadamente 80km contados de sua nascente em Petrópolis até sua foz, no rio Paraíba do Sul (MONTES, 2019). A foz do Piabanha, na margem direita do rio Paraíba do Sul, está localizada no município de Três Rios, praticamente o mesmo ponto de confluência do rio Paraibuna, pela margem esquerda, conforme ilustra a Figura 3.1.



Figura 3.1: Encontro dos três rios, Piabanha (margem direita), Paraibuna (margem esquerda) e Paraíba do Sul (rio principal) em Três Rios. Fonte: KLING (2005).

A bacia hidrográfica do rio Piabanha apresenta a área aproximada de 2.065km² (NUNES, 2014), com sua maior parte inserida na RSRJ, que é parte do bioma Mata Atlântica.

Seus principais afluentes são, pela margem esquerda, os rios Araras e Fagundes, e pela margem direita, os rios Quitandinha, Itamarati, Poço do Ferreira, Santo Antônio e Preto, conforme ilustra a Figura 3.2.

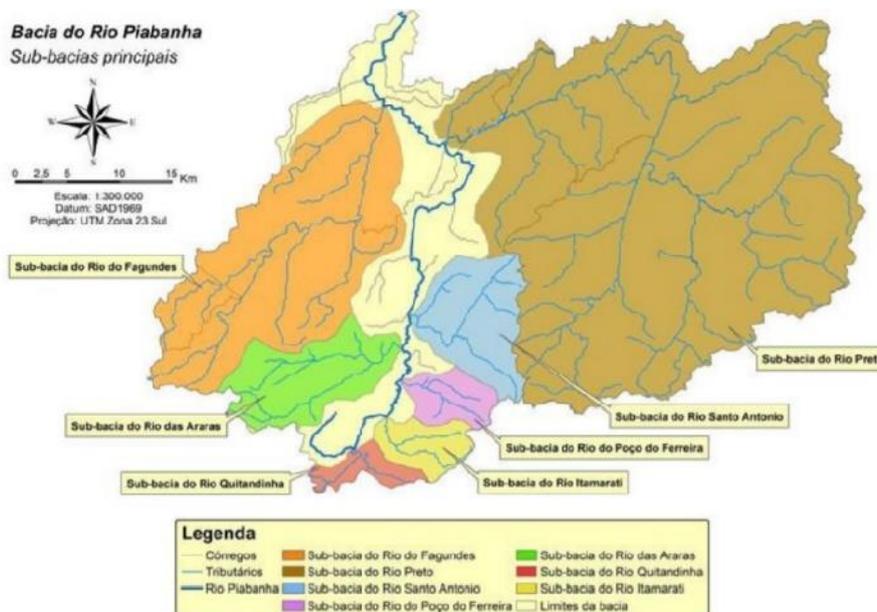


Figura 3.2: Principais sub-bacias do rio Piabanha. Fonte: DE PAULA (2011).

De jusante para montante, a bacia do rio Fagundes, afluente pela margem esquerda do rio Piabanha já próximo à sua foz, é a segunda maior sub-bacia com 364km² de área de drenagem. Sua vazão específica média é aproximadamente metade da vazão do rio Piabanha em Pedro do Rio. A ocupação da sub-bacia é predominantemente rural com a presença de pastagens e pequenos núcleos urbanos (ANDRADE, 2016). A poucos quilômetros de sua confluência com o rio Piabanha, existe a pequena central hidrelétrica (PCH) Coronel Fagundes (6MW) que, apesar de ser do tipo ao fio d'água, considerada sem reservatório de armazenamento, ocasiona expressiva redução das vazões do rio Fagundes (DE PAULA, 2011).

A bacia do rio Preto destaca-se por ser a maior dentre as sub-bacias do rio Piabanha, com área de drenagem de 1.053km², abrangendo a totalidade do município de Teresópolis. O rio Preto é de todos o afluente mais longo, tendo 54km de extensão, chegando ao Piabanha pela margem direita (AGEVAP, 2006). Suas vazões na confluência com o Piabanha têm a mesma ordem de grandeza das vazões do próprio Piabanha, especialmente no período de estiagem. A sub-bacia do rio Preto sofre grande influência de áreas urbanas e atividades industriais diversas, o que reflete diretamente na qualidade de suas águas (ANDRADE, 2016).

A presença do aproveitamento hidrelétrico UHE Morro Grande (20 MW), instalada no município de Areal, interfere em seu regime de vazões (BORGES, 2004; DE PAULA, 2011).

Os aproveitamentos hidrelétricos na bacia do Piabanha, com base no SIGEL (ANEEL, 2019), são representados na Figura 3.3.



Figura 3.3: Principais aproveitamentos hidrelétricos na bacia representativa do rio Piabanha.

A sub-bacia do rio Santo Antônio caracteriza-se pela ocupação rural, com pastagens e lavouras agrícolas. O rio Santo Antônio tem bacia de contribuição de 106km², sua confluência com o rio Piabanha dá-se no seu curso médio, ainda no município de Petrópolis, no distrito de Itaipava (DE PAULA, 2011).

A sub-bacia do rio das Araras, com 111km², apresenta, predominantemente, áreas de cobertura vegetal preservada, como a Reserva Biológica de Araras que abriga a nascente do rio Araras. Por estar em uma bacia protegida e em função da sua área de drenagem, esse rio contribui com vazões expressivas que influenciam positivamente a qualidade da água do rio Piabanha, no ponto de sua confluência pela margem esquerda no distrito de Cascatinha - Petrópolis.

O rio Poço do Ferreira drena uma área total de 39km², sendo sua confluência com o rio Piabanha pela margem direita localizada no distrito de Cascatinha, no município de Petrópolis. Sua bacia apresenta predomínio de ocupação rural, com pastagens e lavouras agrícolas.

As sub-bacias dos rios Itamarati e Quitandinha, localizadas no município de Petrópolis, são predominantemente urbanas, sendo que a bacia do rio Itamarati apresenta uma área agrícola considerável em sua parte mais alta. O rio Itamarati constitui a divisa entre os distritos de Cascatinha e Petrópolis - sede urbana. Esses rios drenam áreas de elevada ocupação populacional que contam com precária infraestrutura de saneamento (DE PAULA, 2011, ANDRADE, 2016).

3.1.1. Declividade do relevo e dos cursos d'água

Por sua localização na RSRJ, a bacia apresenta relevo montanhoso, de modo geral, muito acidentado, no curso médio e superior, com afloramentos rochosos e altitudes que ultrapassam os 2.000m (VILLAS BOAS, 2018). O planalto da RSRJ situa-se imediatamente a norte do reverso montanhoso da serra do Mar, constitui um relevo bastante movimentado, contudo com declividades e amplitudes menores, à medida que se aproxima da calha do baixo-médio curso do rio Paraíba do Sul. (DANTAS *et al.*, 2001).

O rio Piabanha apresenta grandes declividades ao longo de praticamente todo o seu curso. Sendo assim, seus níveis d'água elevam-se e baixam rapidamente em resposta a eventos chuvosos. Por esse motivo, para registrar os eventos de cheias na bacia hidrográfica, abrangendo as vazões máximas, é necessário o monitoramento contínuo em registros subdiários, pois o tempo de concentração estimado para a bacia, em Pedro

do Rio, pode variar de oito até 11 horas e, em Moura Brasil, quase na foz do rio Piabanha no Paraíba do Sul, seria de 20 horas, conforme estimado por CONÇALVES (2008).

Conforme a Figura 3.4, o relevo da bacia pode ser classificado em: forte montanhoso (9,2%), montanhoso (50%), forte ondulado (8,8%), ondulado (24,7%), suave ondulado (6%) e plano (1,3%), segundo CPRM (2017).

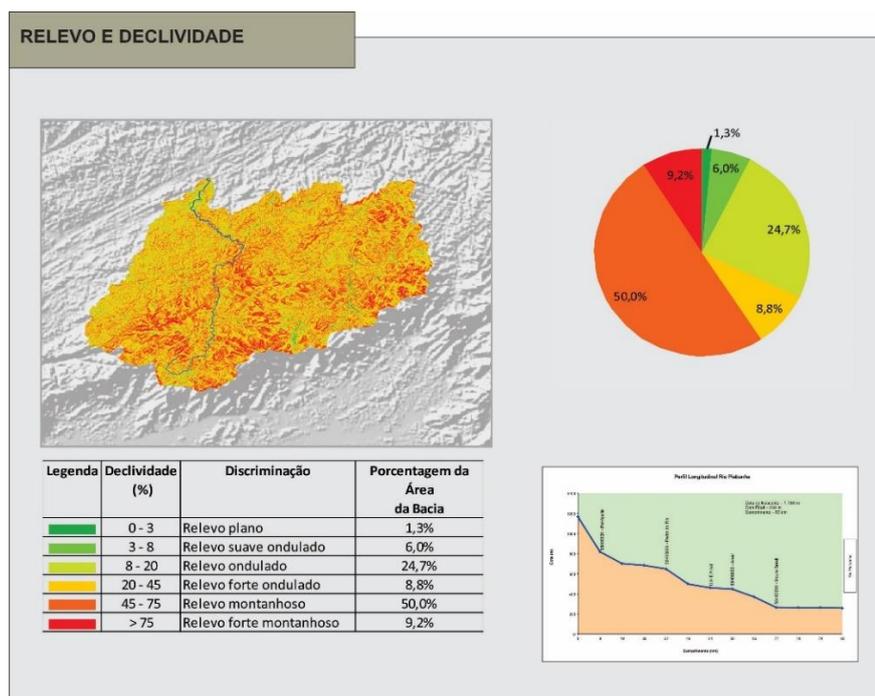


Figura 3.4: Relevo e declividade da bacia do rio Piabanha. Fonte: CPRM-SGB- (2017).

3.1.2. Vegetação

A diversidade de ambientes geomorfológicos e de condições climáticas resultou igualmente em grande diversidade na distribuição espacial, na estrutura e composição biológica da vegetação natural na bacia do rio Paraíba do Sul. Dentre as suas principais sub-bacias, a bacia do rio Piabanha está inserida no bioma Mata Atlântica, considerado um dos biomas mais ricos e mais ameaçados do mundo. É a que apresenta a maior cobertura florestal, estimada em mais de 20% de suas terras. Esse aspecto é evidenciado pela presença de diversas unidades de conservação dentro da bacia, tanto de uso sustentável quanto de proteção integral (COPPETEC, 2014), estaduais e federais. A Mata Atlântica abriga mais de 20 mil espécies de plantas, sendo aproximadamente 50% endêmicas, ou seja, espécies que só existem ali. É a floresta mais rica do mundo em

espécies de árvores por área, tendo, por exemplo, 454 espécies identificadas em um único hectare no sul da Bahia (KLING, 2005).

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) publicou em 2007 o mapeamento do bioma Mata Atlântica no âmbito do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO, utilizando imagens Landsat de 2001 a 2003, para toda a bacia do rio Paraíba do Sul com destaque para as regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro. A região hidrográfica IV é onde está localizada a bacia do rio Piabanha. Pode-se ver, na Figura 3.5 e na Figura 3.6 que, na região serrana, predomina a floresta ombrófila densa, seguida da floresta estacional semidecidual. (COPPETEC, 2014).

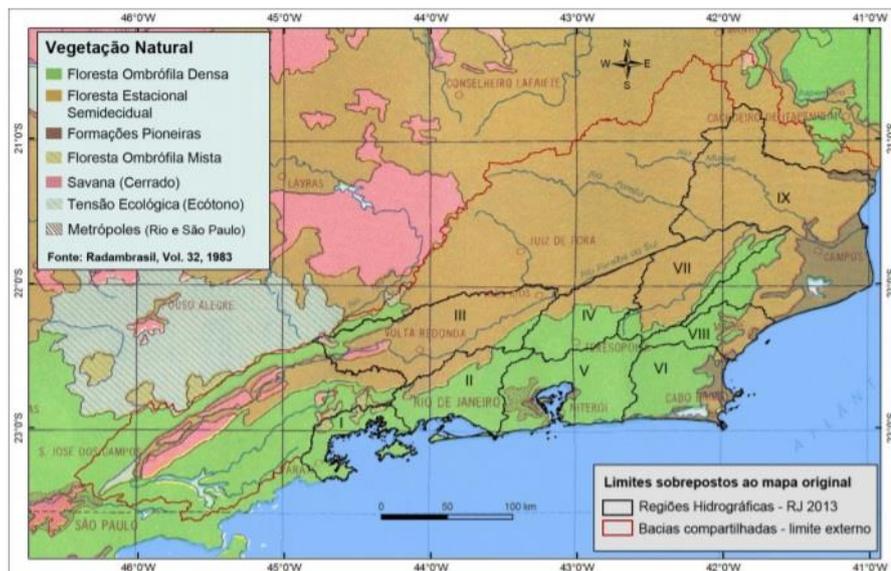


Figura 3.5: Vegetação natural nas regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro e bacias compartilhadas. Fonte: RADAMBRASIL, Vol. 32, (1983).

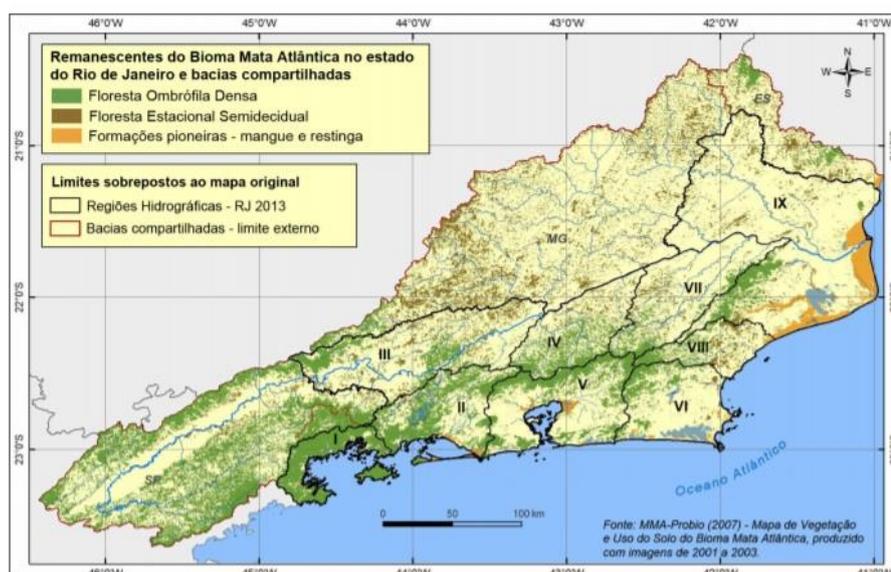


Figura 3.6: Remanescentes da vegetação natural nas regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro e bacias compartilhadas. Fonte: MMA/PROBIO(2007).

Na Tabela 3.1, estão listadas as unidades de conservação da bacia hidrográfica do rio Piabanha e sub-bacias dos rios Paquequer e Preto.

Tabela 3.1: Unidades de Conservação na bacia do rio Piabanha

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIABANHA			
NOME/ÓRGÃO GESTOR	LEGISLAÇÃO	ÁREA (ha)	MUNICÍPIO (RJ)
Áreas de Proteção Ambiental (APA)			
APA Floresta do Jacarandá	Decreto 8.280 de 23/07/85	2.700	Teresópolis
APA Rio dos Frades	Decreto 1.199 de 31/05/88	7.500	Teresópolis
APA de Petrópolis – (ICMBio)	Decreto 87.561 de 13/09/82	59.049	Duque de Caxias, Magé, Petrópolis
Parques Nacionais			
Parque Nacional da Serra dos Órgãos – PARNASO (ICMBio)	Decreto 1.822 de 10/11/39	20.024	Magé, Petrópolis e Teresópolis
Reservas Biológicas			
Reserva da Biosfera	UNESCO, 10/10/92	1,847 milhões	Todos os remanescentes de Mata Atlântica, especialmente o “corredor de florestas” da Serra do Mar.
Reserva Biológica de Araras (REBIO)	Resolução da SEAA nº 59, de 07/07/77	3.862	Petrópolis e Miguel Pereira
Reserva Biológica de Tinguá - (ICMBio)	Decreto nº 97.780 de 23/03/1989	26.000	Nova Iguaçu, Duque de Caxias, Petrópolis, Miguel Pereira e Engenheiro Paulo de Frontin.

Fonte: COPPE/UFRJ (2006); KLING (2005); (adaptado de RAMBALDI, 2003).

A bacia do Piabanha contém parte de todas essas UCs, sendo que a APA de Petrópolis, o PARNASO e a REBIO são as que têm maior presença na bacia representativa, até Pedro do Rio, conforme pode ser visto na Figura 3.7.

cidade no século XIX, que orientavam para o aproveitamento do espaço com preservação nas áreas urbanas (RABAÇO, 1985). GUERRA *et al.* (2007) mencionam que o crescimento da população acelera o desmatamento com a ocupação e o parcelamento sem critérios em rampas adjacentes às urbanizadas, resultantes de invasões com loteamentos irregulares desprovidos de saneamento básico, onde se estabelece a população de baixo poder aquisitivo.

Apesar dos, relativamente altos, percentuais de cobertura florestal, é possível observar, nas zonas urbanas e rurais, processos erosivos relevantes decorrentes dos diversos ciclos econômicos e da falta de preservação e conservação do solo, bem como a deficiência de sistema de esgotamento sanitário e de aterros sanitários adequados, que contribuem para a degradação ambiental e da qualidade da água da bacia. (CEIVAP/2006 - 2010).

De acordo com ANDRADE, (2016), o nível de ocupação e a intensidade de uso das terras e das águas da bacia do rio Piabanha representa alta prioridade para a realização de ações de proteção e recuperação de florestas, solos e águas. Segundo KLING (2005), a carência de serviços essenciais de saneamento em periferias, onde se concentra a população de baixo poder aquisitivo, contribui para a geração de poluição e problemas de drenagem, agravados pela inadequada deposição de lixo e deficiência de coleta, assoreando os corpos d'água e contribuindo para as inundações.

A bacia do Piabanha destaca-se também pela presença de empreendimentos industriais, tendo mais de 50 indústrias de alto potencial poluidor, e pelo uso agrícola, sendo este corresponsável pela erosão dos solos e degradação das águas, juntamente com o uso urbano. Predominam as culturas de ciclo curto (verduras e leguminosas) e pouco se verifica o uso de técnicas de conservação do solo, como terraceamento e plantio em curvas de nível, apesar das fortes declividades e do potencial de erosão hídrica na região. Nessas áreas, é intenso, embora não recomendável, o uso de agrotóxicos (VILLAS BOAS, 2011a).

3.2. Clima e hidrologia da região

O sudeste é a região brasileira de maior diversidade climática, considerando-se a temperatura. Tal diversidade se deve à sua localização geográfica na zona tropical, à proximidade oceânica, e à topografia bastante acidentada e diversificada, variando de cotas próximas de zero nas regiões litorâneas e baixadas, até pontos culminantes acima de 2700m na Serra da Mantiqueira e, 2200m na Serra do Mar. Somam-se a esses fatores

estáticos, os de ordem dinâmica que são os sistemas de circulação atmosférica (GOULART, 1999).

Segundo REBOITA *et al.* (2010), a região Sudeste do Brasil possui uma característica climática diversificada, devida à sua topografia, à sua posição geográfica e, principalmente, aos aspectos dinâmicos da atmosfera, que incluem os sistemas meteorológicos de escala local, mesoescala e sinótico. No estado do Rio de Janeiro, predominam os climas tropical (baixadas) e tropical de altitude (planalto). Nos pontos mais elevados da região serrana, o limite entre a *Baixada Fluminense* e a *Serra Fluminense*, observa-se o clima tropical de altitude, mas com verões um pouco quentes e chuvosos e invernos frios e secos, onde a temperatura média anual é de 16°C. Na maior parte da serra fluminense, o clima também é tropical de altitude, mas com verões variando entre quentes e amenos e, na maioria das vezes, chuvosos (SANTOS, 2009).

ARAÚJO *et al.*, (2007) cita os fatores dinâmicos e estáticos que determinam, para a bacia do Piabanha, o clima tropical de altitude úmido na região serrana, com altos índices pluviométricos e temperaturas de médias a baixas. Já a região mais baixa, tanto pelo efeito adiabático como pela continentalidade, está condicionada a amplitudes térmicas distintas de inverno e verão de um clima sub-úmido. Nas vertentes mais íngremes e elevadas, acima de 2000m, identificam-se formações rupestres e campos de altitude, como nas proximidades dos campos do Sino e do Açú, onde podem ocorrer temperaturas negativas e até geada.

3.2.1. Regime pluviométrico

A região apresenta altos índices pluviométricos. O posicionamento da bacia implica sua exposição ao fluxo meridional de ar frio, oriundo do Polo Sul sobre as águas quentes oceânicas, assegurando-lhe ainda maior frequência de invasão de frentes frias e de linhas de instabilidade tropical e uma combinação de fatores geográficos e topográficos dos quais resultam efeitos orográficos, com a ascensão da massa de ar úmido vinda do mar, condicionando uma pluviosidade média anual que ultrapassa os 2500mm, como em parte das cidades de Petrópolis e Teresópolis. Nas proximidades dos municípios de Areal e São José do Rio Preto, a média pluviométrica cai abruptamente para 1300mm, com períodos secos e défices hídricos bastante pronunciados (ARAÚJO *et al.*, 2007).

A precipitação na bacia do rio Piabanha é fortemente influenciada pela topografia, altitude e orientação do relevo da Serra do Mar.

As maiores redes pluviométricas automáticas são as do Alerta INEA/RJ e do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN, existentes desde 2012/2013. As estações do Instituto Nacional de Meteorologia – (INMET) são climatológicas, sendo que as redes do INEA/RJ e do Projeto EIBEX também dispõem desse tipo de estação. A quantidade de estações instaladas até 2014 está na Tabela 3.2, para a bacia do Piabanha e para a bacia representativa e por tipo de monitoramento, e sua distribuição espacial pode ser vista no mapa da Figura 3.9

Tabela 3.2: Redes contidas na bacia do Piabanha e na bacia representativa

Entidade	bacia do Piabanha					bacia representativa				
	P	Pr	PrT	CPr	CPrT	P	Pr	PrT	CPr	CPrT
ANA/CPRM	13	1				3	1			
INMET					2					1
EIBEX (COPPE-UFRJ/CPRM)		7		1			7		1	
INEA (alerta)			34		2			17		1
CEMADEN			77					14		
Total	13	8	111	1	4	3	8	31	1	2

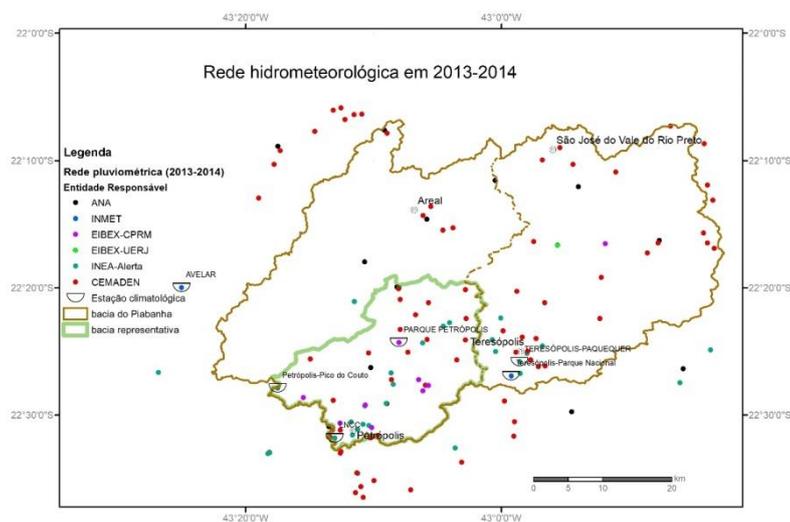


Figura 3.9: Rede pluviométrica e entidades operadoras na bacia do Piabanha.

Além dessas, há na bacia estações de outras entidades cujos dados estão disponíveis apenas sob demanda, como é o caso das redes das prestadoras de serviços de saneamento e das concessionárias de energia elétrica.

A rede da bacia do Piabanha é uma das mais densas no país, talvez só o Distrito Federal tenha mais estações pluviométricas por quilômetro quadrado.

3.3. População e atividades econômicas

Do ponto de vista da diversidade do território da bacia do Piabanha, verifica-se que alguns de seus municípios se estabelecem como centros metropolitanos ou como polos regionais. Ocorre em pequenas cidades um fomento à criação, expansão e modernização das micro e pequenas empresas, estimulando os setores comercial, industrial e agrícola, induzindo a amplificação do setor terciário e uma especialização produtiva. (AGEVAP, 2013).

Sendo parte do estado do Rio de Janeiro, que tem o segundo maior PIB do país, a bacia do rio Piabanha abarca um dos municípios mais importantes da região serrana, Petrópolis, que se destaca pelo alto índice de desenvolvimento humano (IDH) igual a 0,745 e pela densidade demográfica elevada, aproximadamente 371,8 hab.km² (IBGE, 2020).

Na Tabela 3.3 são apresentados dados relativos à população e ao PIB *per capita* do estado do Rio de Janeiro e dos municípios que se encontram, totalmente ou quase totalmente, inseridos na bacia do Piabanha.

Tabela 3.3: Alguns dados socioeconômicos da região. Fonte: IBGE (2020)

Local	População em 2019	PIB <i>per capita</i> (R\$) em 2017
Estado do Rio de Janeiro	17.264,943	51.776,18
Municípios mais importantes da bacia		
Petrópolis	306.191	24.442,12
Teresópolis	182.594	17.792,18
Areal	12.572	26.311,03
São José do Vale do Rio Preto	21.795	20.730,56

3.4. Histórico de desastres naturais na região do Piabanha

O glossário da Defesa Civil Nacional define os desastres como: “*resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais*”, onde, “*a intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento adverso e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor afetado*” (CASTRO, 1998).

Segundo SILVA *et al.* (2012), o histórico de desastres naturais na região serrana fluminense remonta ao período imperial. A ocorrência de desastres intensificou-se com

as alterações antrópicas sobre o espaço geográfico, fazendo com que vários estudos tenham sido desenvolvidos com esse foco na região.

A observação das condições de uso e ocupação do solo na bacia do rio Piabanha impõe a reflexão sobre a ocorrência de desastres naturais. Os desastres são crescentes com a ocupação urbana, por vezes desordenada.

Eventos de chuvas intensas têm grande potencial destrutivo, constituindo o principal mecanismo desencadeador dos desastres naturais. São deslizamentos, transbordamentos e enxurradas que ocorrem no mesmo período e até de forma simultânea (TORRES *et al.*, 2020).

Segundo NIMER (1989) e VILLAS BOAS (2018), alguns verões na região são caracterizados, não apenas por um elevado número de ocorrências diárias de chuvas intensas, mas também por constantes enxurradas, inundações e corridas de massa, em áreas suscetíveis, como as indicadas na Figura 3.10.

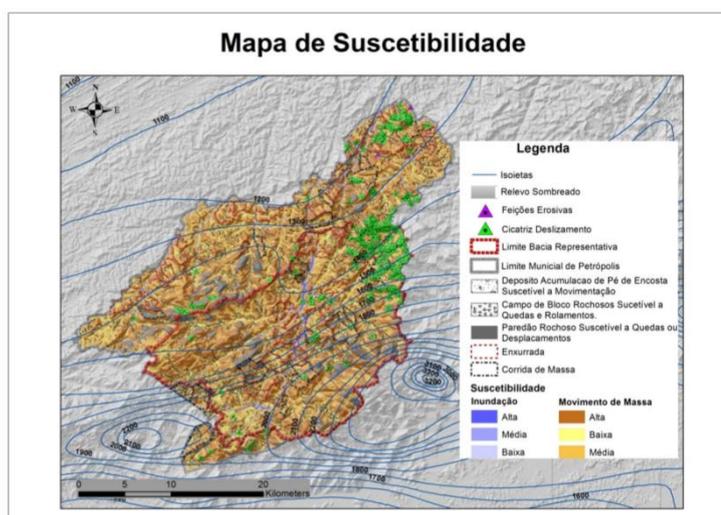


Figura 3.10: Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação do município para a bacia representativa associada às isoietas médias anuais. Fonte: VILLAS_BOAS (2018).

Em decorrência das alterações antrópicas sobre o espaço geográfico, anualmente, dezenas de pessoas morrem e milhares são afetadas por desastres naturais, principalmente, inundações e movimentos de massa, no estado do Rio de Janeiro DOURADO *et al.* (2012). O autor cita o megadesastre da RSRJ que ocorreu entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2011, quando fortes chuvas provocaram enchentes e deslizamentos, atingindo sete cidades da região, em especial, as cidades de Nova Friburgo, Teresópolis e Petrópolis, tendo sido considerado um dos maiores eventos de

movimento de massas generalizados do Brasil. Oficialmente, o evento causou 947 mortes, com 300 desaparecimentos, mais de 50.000 desabrigados e afetando quase 1.000.000 de pessoas. A Figura 3.11 mostra área de ocupação desordenada atingida por escorregamentos em 12/01/2011 em Teresópolis. A Figura 3.12 mostra áreas onde houve corrida de lama e detritos, e inundação, em Itaipava (Petrópolis), em Teresópolis e São José do Vale do Rio Preto, em 12/01/2011.



Figura 3.11: Uso e ocupação de encostas, áreas de risco de deslizamentos – ocorrências em Teresópolis em 12/01/2011. Fonte: Veja Brasil (2011); ERTHAL e LEMOS (2011).



Figura 3.12: Imagens da tragédia provocada pelas chuvas na RSRJ em janeiro/2011. Em cima à esquerda, Vale do Cuiabá - Petrópolis (Foto: B. Tabak/G1); à direita, região do Brejal - Petrópolis (Foto: M. Quintal/Prefeitura de Petrópolis); embaixo à esquerda, Campo Grande – Teresópolis (Foto: L. Bonadio/G1); e à direita, marca do nível atingido pelo rio Preto em São José do Vale do Rio Preto (Foto: G. Araújo/G1). Fonte G1-INTER TV (2021).

A região da bacia do rio Piabanha é propensa a desastres naturais como toda a RSRJ. A rede implantada a partir de 2006, pelo projeto EIBEX, registrou índices pluviométricos e/ou níveis de cursos d'água de 13 dos 18 desastres registrados até 2018 na Base S2ID (<https://s2id.mi.gov.br/>), em três dos municípios contidos na bacia. O megadesastre da região serrana em 12/01/2011 destruiu as estações EIBEX nos municípios de Teresópolis (Providência) e São José do Vale do Rio Preto (Vale Alpino). Somente as estações localizadas no município de Petrópolis permanecem em operação.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo contém, primeiramente, a síntese da abordagem metodológica proposta, com suas etapas, seguida de considerações sobre a seleção das bacias experimentais mais adequadas à análise da qualidade da água ao longo do tempo, e sobre os dados relevantes e disponíveis para a aplicação da metodologia proposta.

4.1. Síntese da abordagem metodológica e etapas do trabalho

A metodologia proposta neste trabalho abrange as etapas representadas no fluxograma da Figura 4.1.

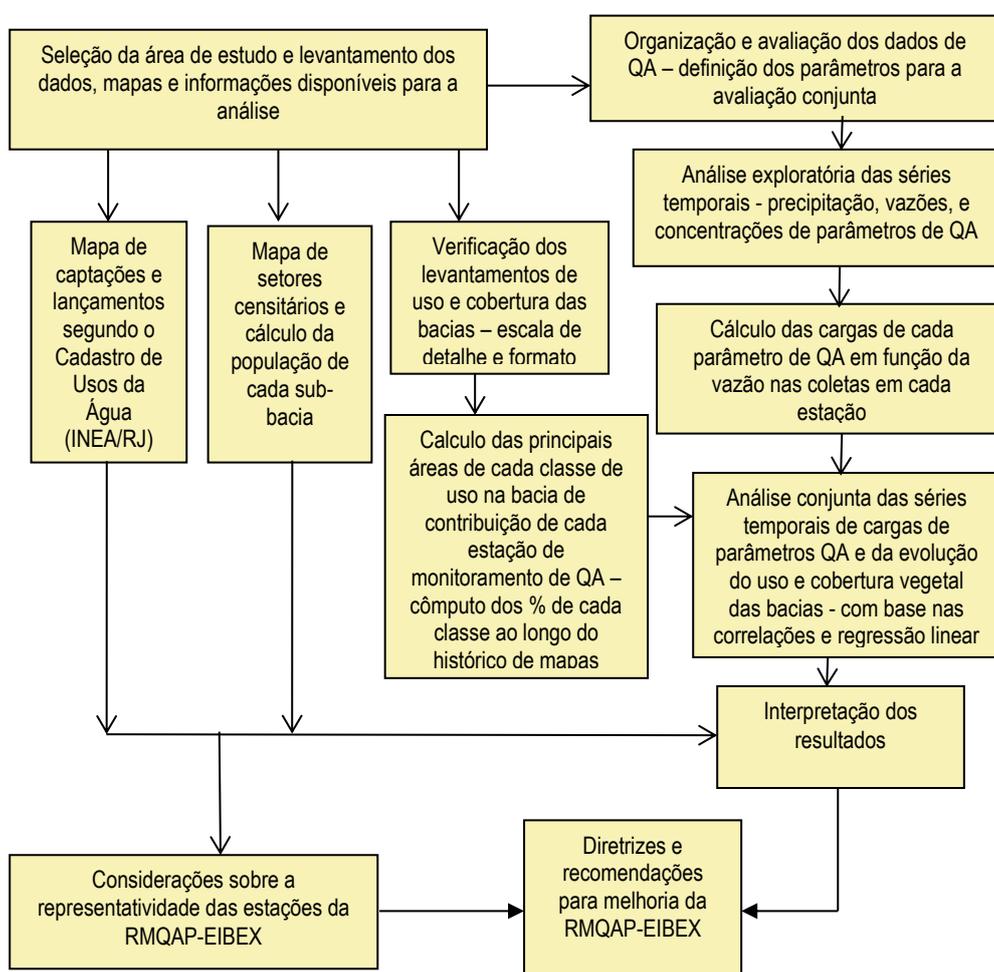


Figura 4.1: Síntese da metodologia - etapas do trabalho.

4.2. Seleção da área de estudo e levantamento de dados, mapas e informações disponíveis

A área de estudo desta pesquisa está contida na bacia representativa do rio Piabanha, que é a área de drenagem até a estação fluviométrica de Pedro do Rio

(código: 58405000). Instalada em 1930, a estação possui uma série longa de dados consistentes. Atualmente compõe a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Sua bacia reúne as principais características de uso do solo e vegetação da bacia do rio Piabanha, sendo definida como bacia representativa, de forma a possibilitar a extrapolação, para o restante da bacia, de resultados de estudos para ela realizados.

Dentro dessa área, foram definidas três bacias experimentais, onde predominam diferentes usos do solo como área de Mata Atlântica preservada, área relevante de uso agrícola e área de intensa ocupação urbana (VILLAS BOAS, 2018). A Figura 4.2 ilustra a localização das bacias experimentais e da bacia representativa, bem como os seus usos e cobertura vegetal.

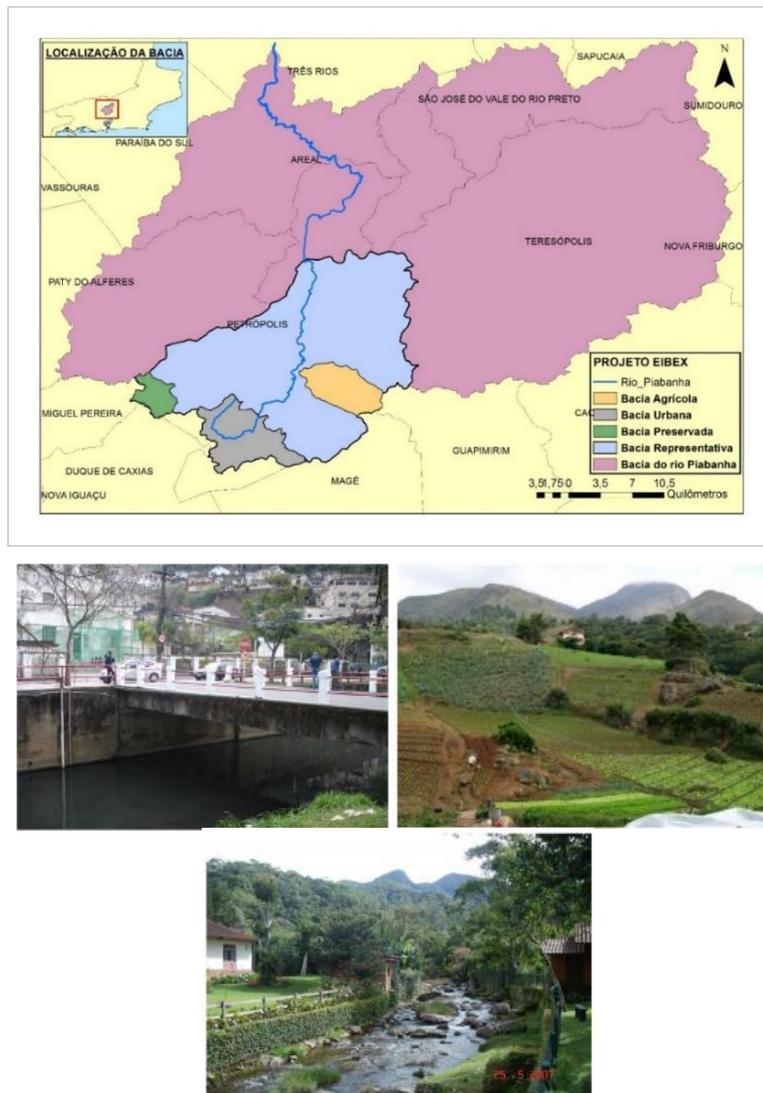


Figura 4.2: Localização da bacia representativa com destaque para as três experimentais e fotografias ilustrando os usos predominantes em cada uma delas.

Nas bacias experimentais foram instaladas estações de monitoramento controlando sub-bacias aninhadas em cada uma delas, todas, por sua vez, contidas na bacia representativa, onde predomina a cobertura de Mata Atlântica em 62% de sua área.

A rede hidrometeorológica quali-quantitativa do projeto EIBEX apoia a avaliação do comportamento hidrológico nas bacias sob os diferentes usos. Para a bacia representativa, foram desenvolvidos estudos hidrológicos, com ênfase em climatologia, geomorfologia, umidade do solo e qualidade da água, sendo elaborados mapas temáticos e também realizados testes de diferentes tecnologias de medição de dados (VILLAS BOAS, 2018).

A localização das estações em operação na bacia representativa pode ser observada na Figura 4.3.

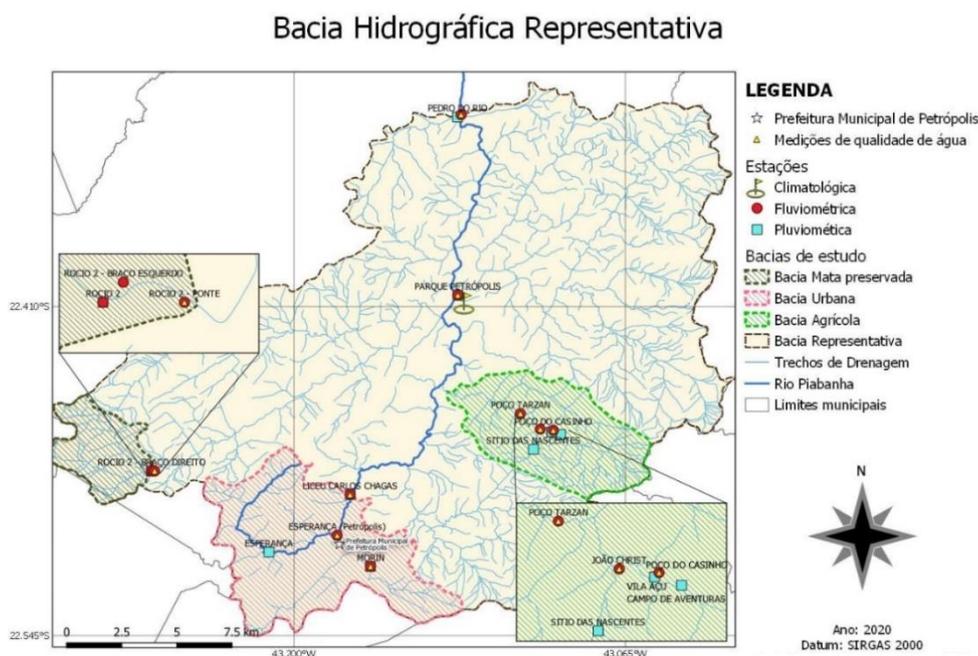


Figura 4.3: Mapa da bacia representativa com as três bacias experimentais (agrícola, preservada e urbana) monitoradas no projeto EIBEX

A rede EIBEX, atualmente, conta com 13 estações, sendo três na bacia urbana (Liceu, Morin e Esperança), cinco na bacia agrícola (Poço Tarzan, Poço Casinho, João Christ, Sítio das Nascentes e Vila Açú), três na bacia preservada (Rocio 2 – Ponte, Rocio 2 BD e Rocio 2 BE) e duas estações de controle (Parque Petrópolis e Pedro do Rio).

A rede abrange estações convencionais com pluviômetro (P) e réguas limnimétricas (F) e equipadas com equipamento automático (R). Há duas estações climatológicas na bacia (C) que fazem as seguintes medições: pressão atmosférica, umidade relativa do ar, temperatura do ponto de orvalho, velocidade e direção do vento, radiação solar incidente, radiação líquida, evaporação, potencial matricial, fluxo de calor e umidade do solo, temperatura do solo e precipitação. Cinco estações fluviométricas e pluviométricas (PR, PP, L, PT e RE) são telemétricas (T). Em todas as estações fluviométricas são realizadas medições de vazão (D) e medições *in situ* e coletas de amostra para qualidade de água (Q) com frequência variável, como pode ser visto na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Estações da rede EIBEX – localização e datas de início da operação

ESTAÇÃO	SIGLA	TIPO	Código FLU	Código PLU	BACIA EXPERIMENTAL	CURSO D'AGUA	LATITUDE	LONGITUDE	Data de início da operação - PLU/FLU	Data de início da operação - QA
Pedro do Rio	PR	PPRFDFrQT	58400250	2243286	-	Rio Piabanha	22° 24' 19"	43° 08' 00"	01/08/09	27/08/09
Pq.Petropolis	PP	CFDFrQT	58400010	2243287	-	Rio Piabanha	22° 30' 39"	43° 12' 37"	28/04/07	27/08/09
Esperança	E	PPRFDFrQ	58400050	2243289	URBANA	Rio Piabanha	22° 29' 14"	43° 10' 38"	24/04/07	27/08/09
Liceu	L	PPRFDFrQT	58400030	2243288	URBANA	Rio Palatinado	22° 31' 00"	43° 10' 08"	22/04/07	27/08/09
Morin	M	PPRFDFrQ	58400110	2243303	URBANA	Rio Bonfim	22° 27' 14"	43° 06' 28"	23/04/07	27/08/09
Poço Tarzan	PT	PPRFDFrQT	58400104	****	AGRÍCOLA	Rio Açu	22° 27' 39,6"	43° 05' 40,8"	31/10/07	27/08/09
Poço do Casinho	PC	FDfrQ	58400108	****	AGRÍCOLA	Rio Alcobaca	22° 27' 37,19"	43° 05' 59,76"	28/10/07	27/08/09
Joao Christ	JC	FDQ	58405000	2243012	AGRÍCOLA	Rio Piabanha	22° 19' 56"	43° 08' 01"	01/08/30	27/08/09
Vila Açu	VA	PPR	****	2243301	AGRÍCOLA	****	22° 27' 45,20"	43° 05' 29,30"	01/11/09	-
Sítio das Nascentes	SN	C	****	2243291	AGRÍCOLA	****	22° 28' 7,63"	43° 06' 9,21"	31/10/2007e 19/4/2016*	-
Rocio 2 - Ponte	R	FDQ	58400212	****	PRESERVADA	Rio da Cidade	22° 28' 38,70"	43° 15' 24,60"	28/04/10	27/08/09
Rocio 2 - D	RD	FDfr	58400210	2243302	PRESERVADA	Rio da Cidade	22° 28' 38,86"	43° 15' 28,95"	01/04/10	-
Rocio 2 - E	RE	PPRFDFrT	58400211	*****	PRESERVADA	Rio da Cidade	22° 28' 37,69"	43° 15' 27,66"	01/04/10	-

4.2.1. Seleção dos pontos de amostragem

Para a análise proposta, foram selecionadas cinco estações da rede EIBEX, consideradas pontos de monitoramento estratégico. A escolha das estações seguiu o critério de cobrir uma faixa ampla de valores de área de drenagem e caracterizar a influência dos diversos tipos de usos e ocupação do solo.

Na Figura 4.4, podem-se visualizar as estações selecionadas sob cada tipo de uso: Liceu (cod.: 58400050) na área urbana, com área de drenagem de 44,5km²; Poço Tarzan (cod.: 58400110) localizada em uma área predominantemente agrícola, com área de drenagem 17,2km²; Rocio-Ponte, referida como Rocio, (cod.: 58400212), localizada numa região de mata preservada, com área de drenagem 12,8km²; Parque Petrópolis (cod.: 58400250) com área de drenagem de 260km²; e Pedro do Rio (cod.: 58405000) com área de drenagem 427,9km². Ao longo de todo o texto, os resultados serão

apresentados nessa ordem, que segue o fluxo da água na rede hidrográfica e é a ordem adotada na codificação das estações.

Vale ressaltar que as estações Liceu, Rocio, Poço Tarzan e Pedro do Rio localizam-se no exutório das bacias experimentais de área urbana, mata preservada, de uso agrícola e da bacia representativa, respectivamente.

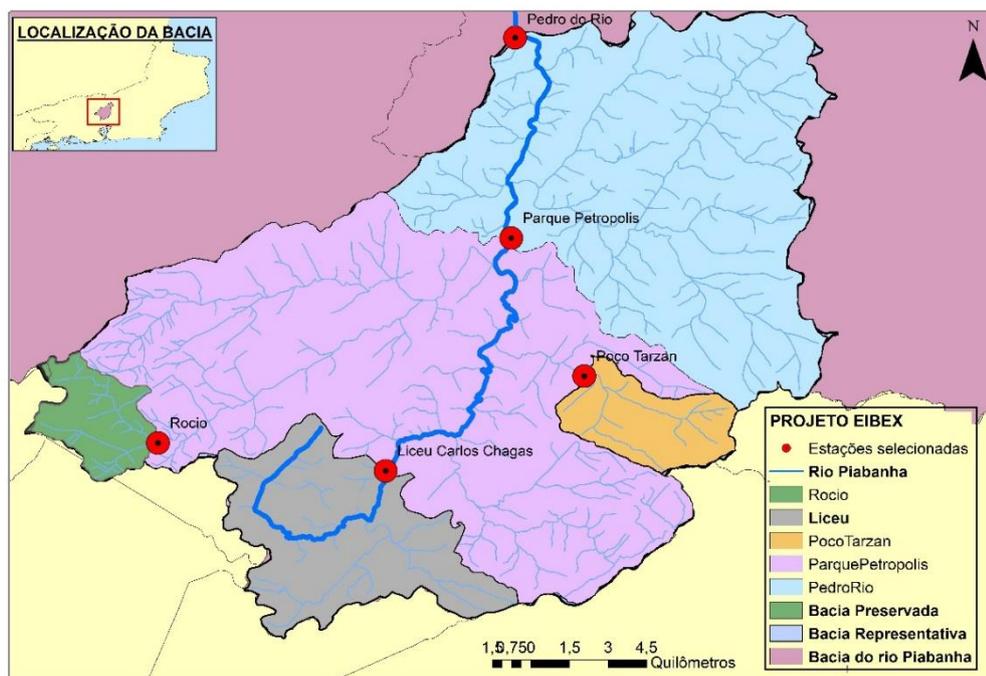


Figura 4.4: Bacias experimentais e estações do projeto EIBEX.

No Anexo II, encontram-se registros fotográficos ilustrando a operação das estações EIBEX.

4.3. Verificação dos levantamentos de cobertura vegetal, uso e ocupação das bacias

O sensoriamento remoto vem sendo utilizado nos últimos anos com apoio de ferramentas de geoprocessamento, trazendo avanços significativos para a pesquisa. Essa abordagem conjunta garante adequada precisão, confiabilidade e velocidade na geração de dados para avaliação ambiental, como impactos relativos a mudanças no uso e cobertura do solo.

4.3.1. Uso do solo e cobertura vegetal nas bacias de interesse

Considerando que a bacia do Piabanha contém parte significativa da mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro, ROSÁRIO (2013) mapeou o uso do solo com atenção especial às áreas de preservação permanente (APP's) na região, segundo o código florestal brasileiro em vigor na época. Empregando o sensor AVNIR, com resolução espacial de 10 metros, produziu o mapa de uso e cobertura do solo em escala 1:25.000. Para a área da bacia do Piabanha como um todo (2.059,3km²), ROSÁRIO (2013) identificou, dentre doze classes, 41,3% de floresta, 6,9% de afloramento rochoso e 4,8% de uso urbano intenso ou rarefeito, dentre outras classes. Para a bacia representativa, com base nesse mesmo mapa, ARAUJO (2016) contabilizou os percentuais de 51,5% atribuídos à classe floresta, 11,8% atribuídos a afloramento rochoso, seguidos de 11,0% de uso urbano intenso ou rarefeito.

A área agrícola é pouco expressiva quando comparada ao uso urbano, mas é influente, destacando-se a agricultura dedicada à produção de olerícolas (VILLAS BOAS, 2018).

Para acompanhar a evolução temporal de uso e ocupação do solo, foram elaborados mapas anuais recortados do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil, denominado MapBiomias.

O MapBiomias apresenta 35 anos (1985 a 2019) de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil, com resolução de 30m por pixel, com melhorias na acurácia de representação dos biomas e de novas classes de agricultura, utilizando o novo limite dos biomas em escala 1:250.000 do IBGE. Em SOUZA JR *et al.* (2020) encontram-se os detalhes do processo de concepção e elaboração do produto.

Os produtos, incluindo mapas e imagens ilustrativas da distribuição espacial do uso, análises e correções espaciais foram totalmente desenvolvidos com o uso do programa QGIS em sua versão 3.10 e Arc GIS 10.7.1. Como apoio ao reconhecimento espacial e à produção da imagem relativa às áreas dos aproveitamentos hidrelétricos, foram utilizadas os serviços do Google Earth e do Open Streets Maps.

Sempre que necessário, os sistemas de referência dos dados adquiridos anteriormente foram convertidos para SIRGAS 2000, padrão oficial brasileiro de uso para referencial geodésico. Como os dados relativos aos limites das bacias do projeto eram de 2006, foi realizada uma revisão com o auxílio de outros dados mais recentes, como o uso do Google Earth como base cartográfica e a camada de canais fluviais do

projeto em escala 1:25.000 feito pelo IBGE para o estado do Rio de Janeiro. Com esse procedimento, chegou-se ao novo produto que será utilizado futuramente no projeto EIBEX pela própria CPRM.

O mapa de uso e ocupação da bacia representativa relativo a 2019 (escala 1:25.000), apresentado na Figura 4.5, indica que a maior parte da área da bacia do Piabanha, até Pedro do Rio, é ainda ocupada por florestas, vegetação e áreas naturais com afloramentos rochosos.

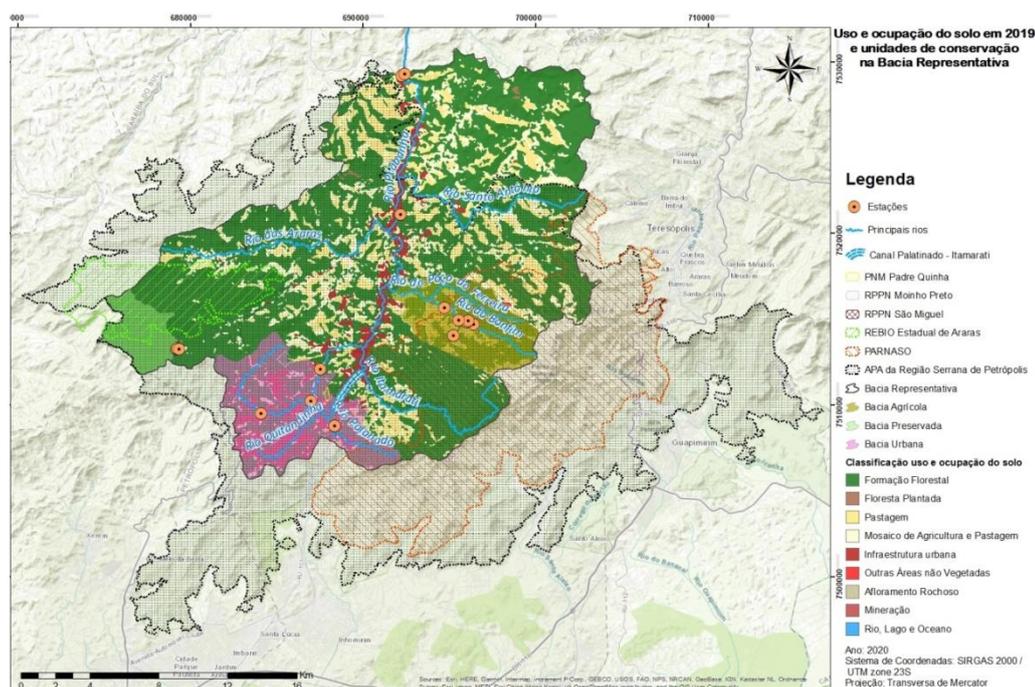


Figura 4.5: Mapa de uso e ocupação do solo em 2019. Fonte: adaptado de MapBiomas (2020).

4.3.2. Definição dos percentuais das classes de uso e ocupação do solo em cada bacia

A análise do uso e ocupação do solo na bacia representativa do Piabanha foi individualizada por sub-bacia, para a representativa e para cada uma das bacias experimentais, nomeadamente bacia agrícola, bacia urbana e bacia preservada. Foi adotado o período de 2009 a 2015 para avaliação conjunta com os dados de monitoramento da qualidade da água, que nesse período foi mais frequente e possibilitou maior disponibilidade de dados.

Considerando o levantamento relativo aos anos de 2009 a 2015 do uso e ocupação do solo para a área de estudo, segundo as diferentes classes estabelecidas pelo

MapBiomias, observa-se o predomínio das classes: formação florestal, mosaico de agricultura e pastagem, pastagem, e infraestrutura urbana.

Os mapas correspondentes a cada ano para a bacia representativa e suas sub-bacias são apresentados na Figura 4.6, Figura 4.7, Figura 4.8, Figura 4.9, Figura 4.10, Figura 4.11 e Figura 4.12.

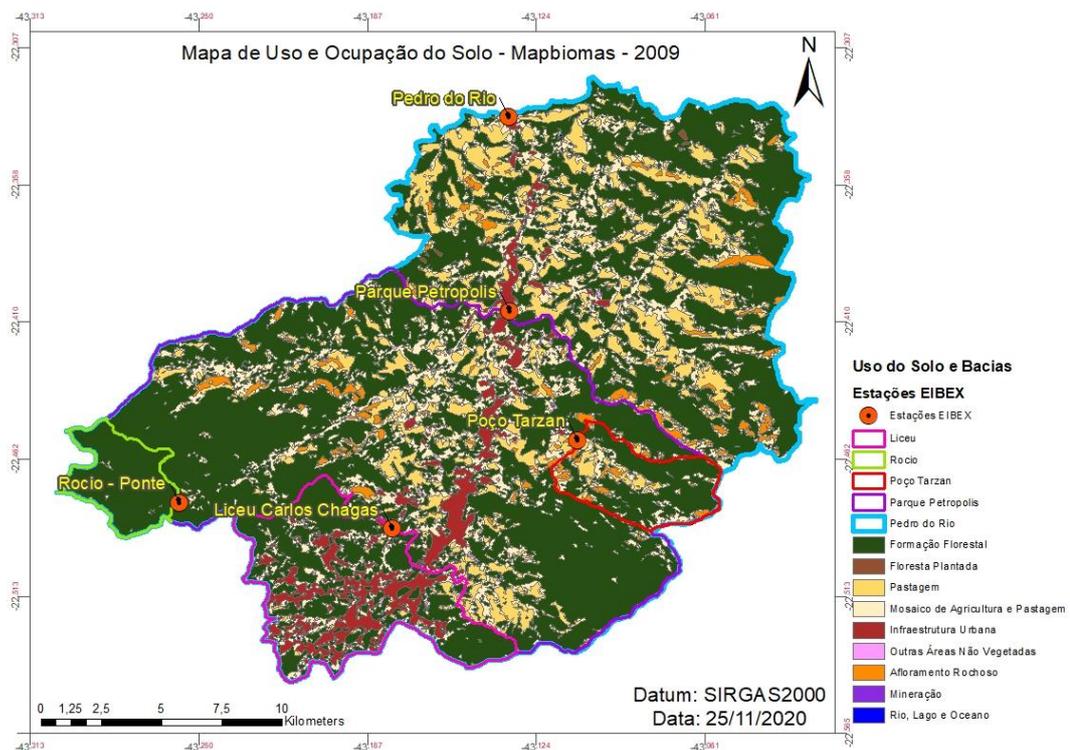


Figura 4.6: Mapa de uso e ocupação do solo em 2009. Fonte: adaptado de MapBiomias (2020).

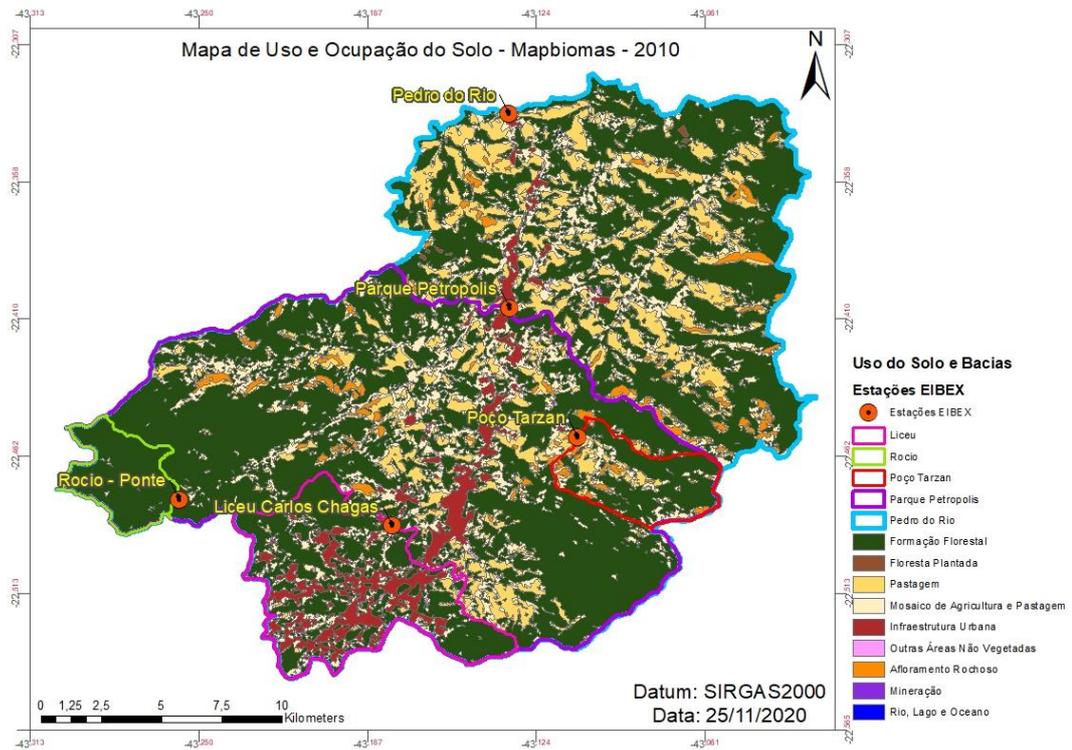


Figura 4.7: Mapa de uso e ocupação do solo em 2010. Fonte: adaptado de MapBiomas, (2020).

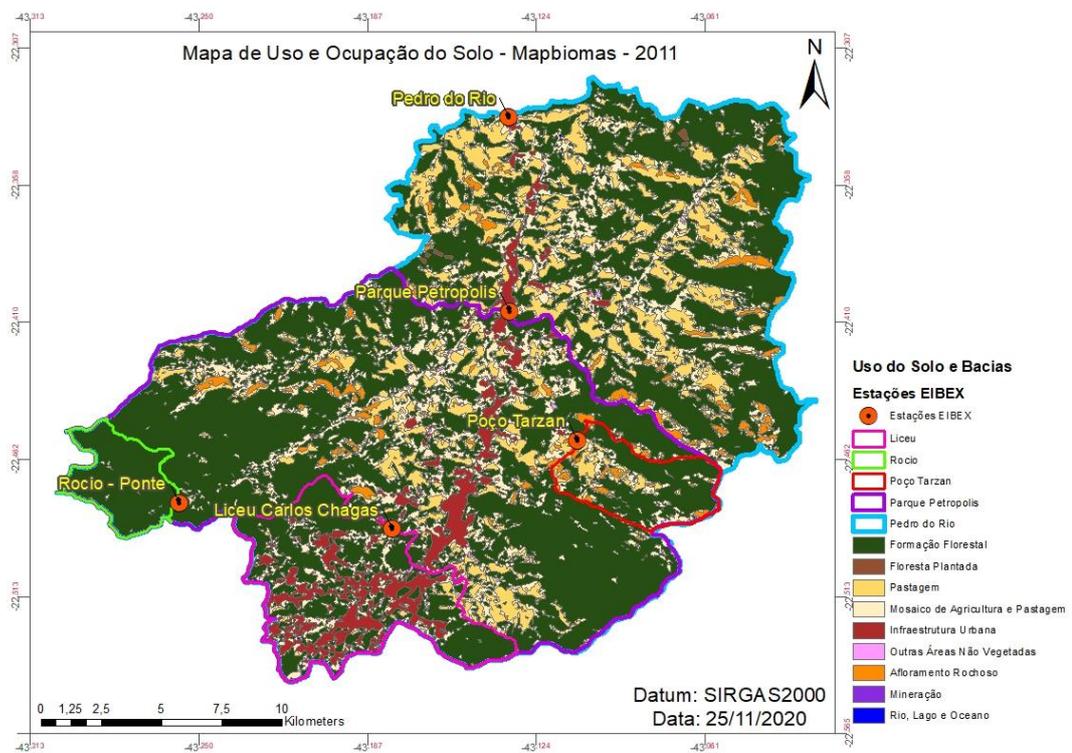


Figura 4.8: Mapa de uso e ocupação do solo em 2011. Fonte: adaptado de MapBiomas (2020).

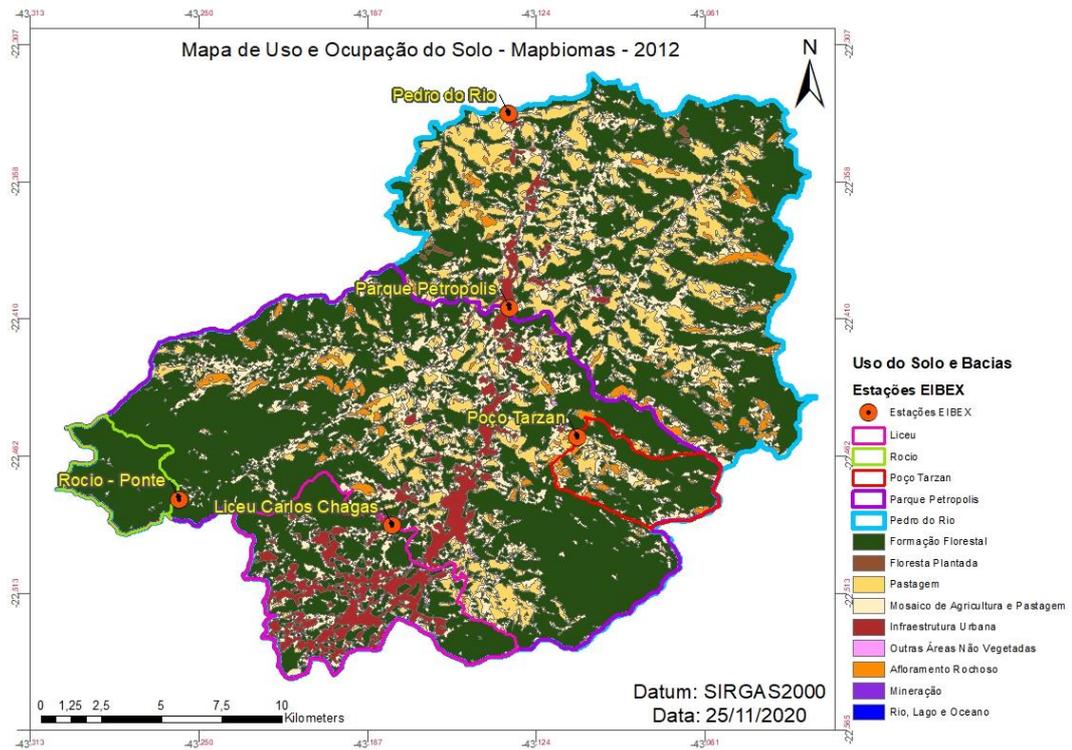


Figura 4.9: Mapa de uso e ocupação do solo em 2012. Fonte: adaptado de MapBiomas (2020).

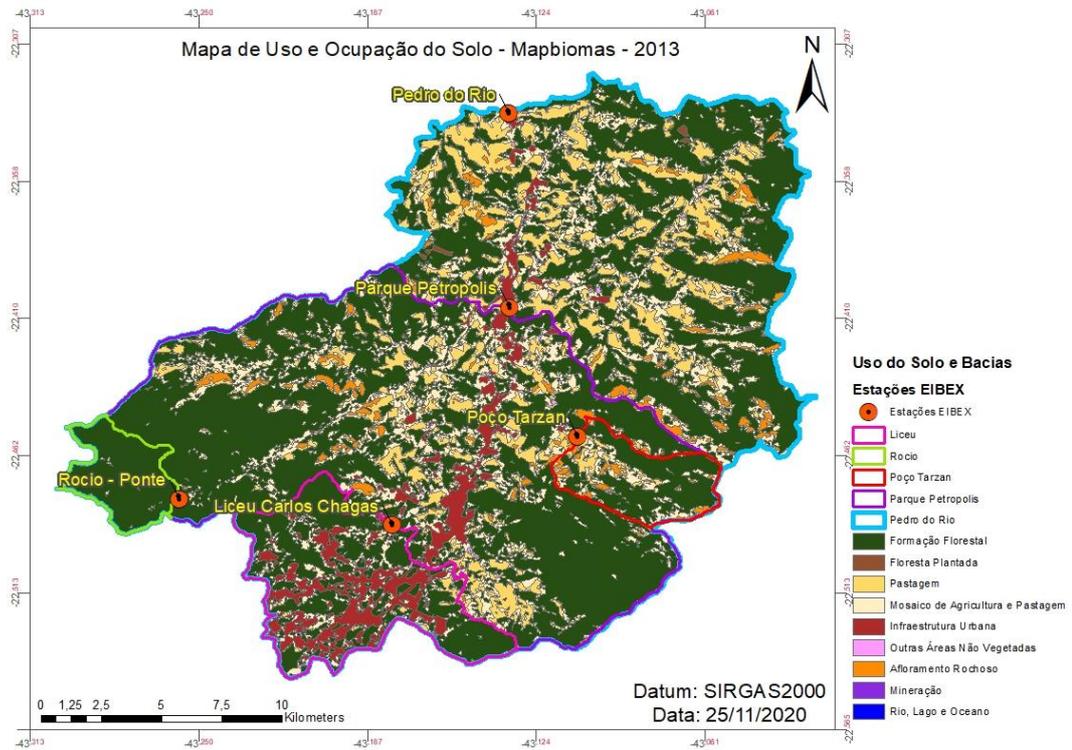


Figura 4.10: Mapa de uso e ocupação do solo em 2013. Fonte: adaptado de MapBiomas (2020).

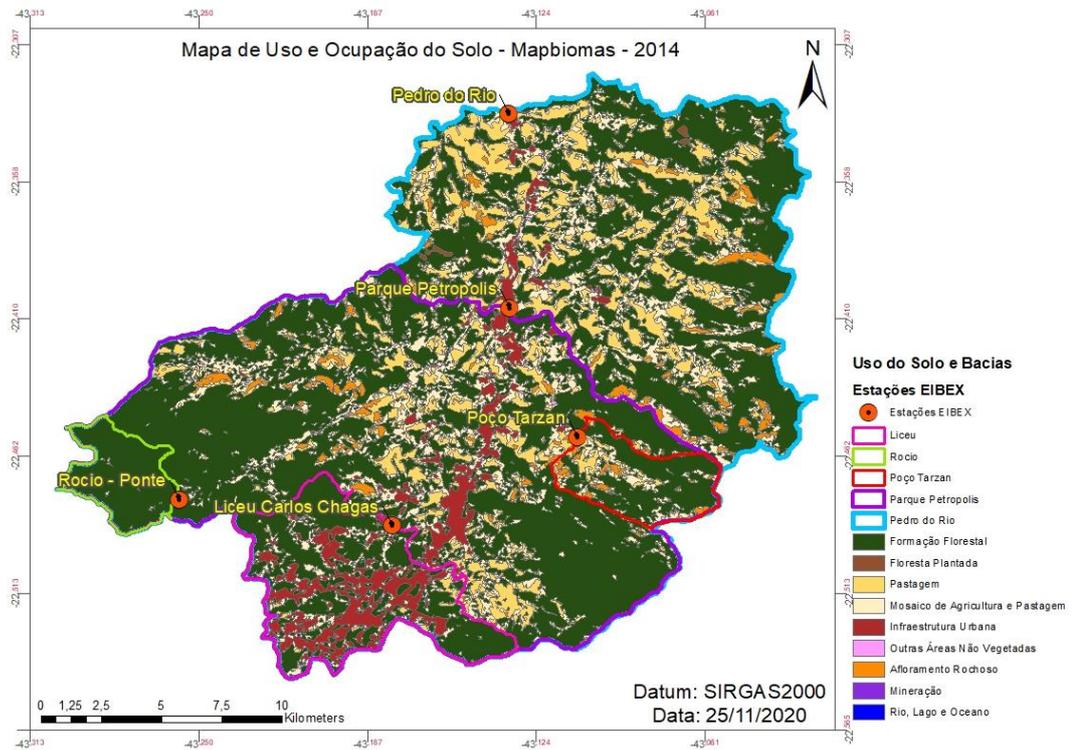


Figura 4.11: Mapa de uso e ocupação do solo em 2014. Fonte: adaptado de MapBiomas (2020).

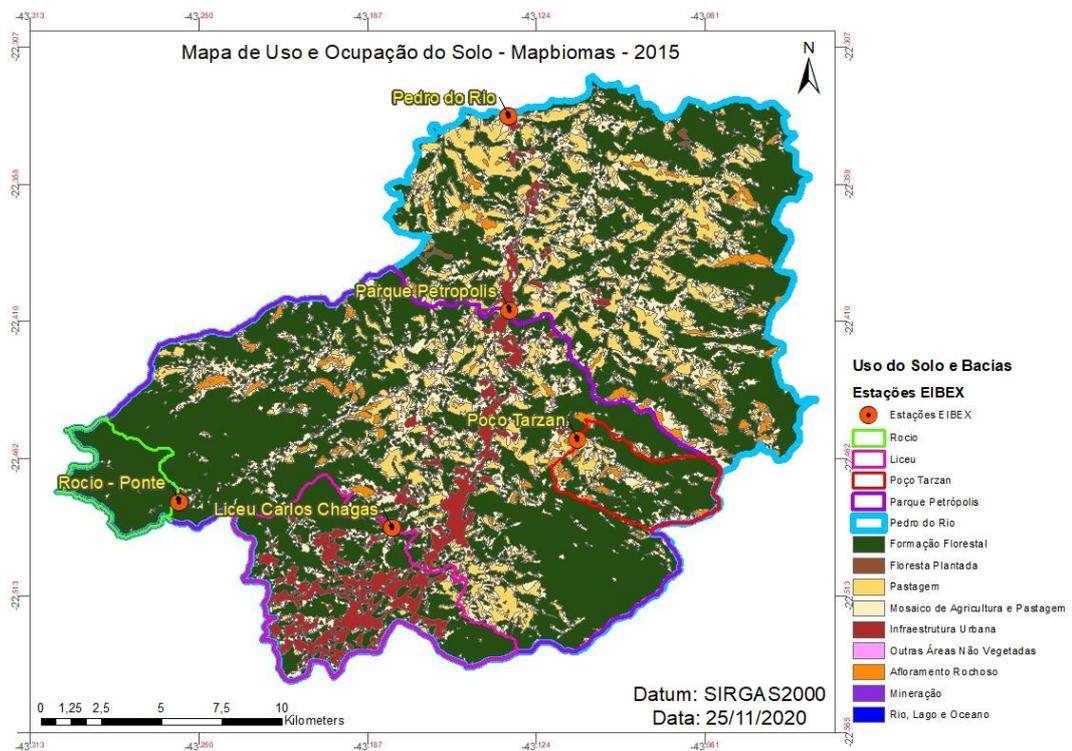


Figura 4.12: Mapa de uso e ocupação do solo em 2015. Fonte: adaptado de MapBiomas (2020).

As áreas de cada feição identificada sob cada classe de uso, dentro de cada bacia, foram calculadas e os percentuais determinados em relação à área total da bacia. Esse cálculo foi feito para cada bacia de contribuição aos pontos de monitoramento selecionados, para cada ano.

4.4. Densidade demográfica e usos da água nas bacias de interesse

Informações demográficas da bacia foram obtidas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2011). Os setores censitários relativos ao Censo Demográfico 2010 já respeitam os contornos das principais bacias hidrográficas. A informação disponível para cada feição do setor diz respeito ao total de residências ou ao total de domicílios. As planilhas de dados, que são tabelas de atributos no ambiente SIG, contêm diversos campos de dados socioeconômicos, inclusive sobre condições de saneamento. Neste trabalho foi utilizado somente o campo de população total residente.

Na Figura 4.13 podem ser vistos os setores censitários com legenda para concentração de população residente na bacia de contribuição a Pedro do Rio.

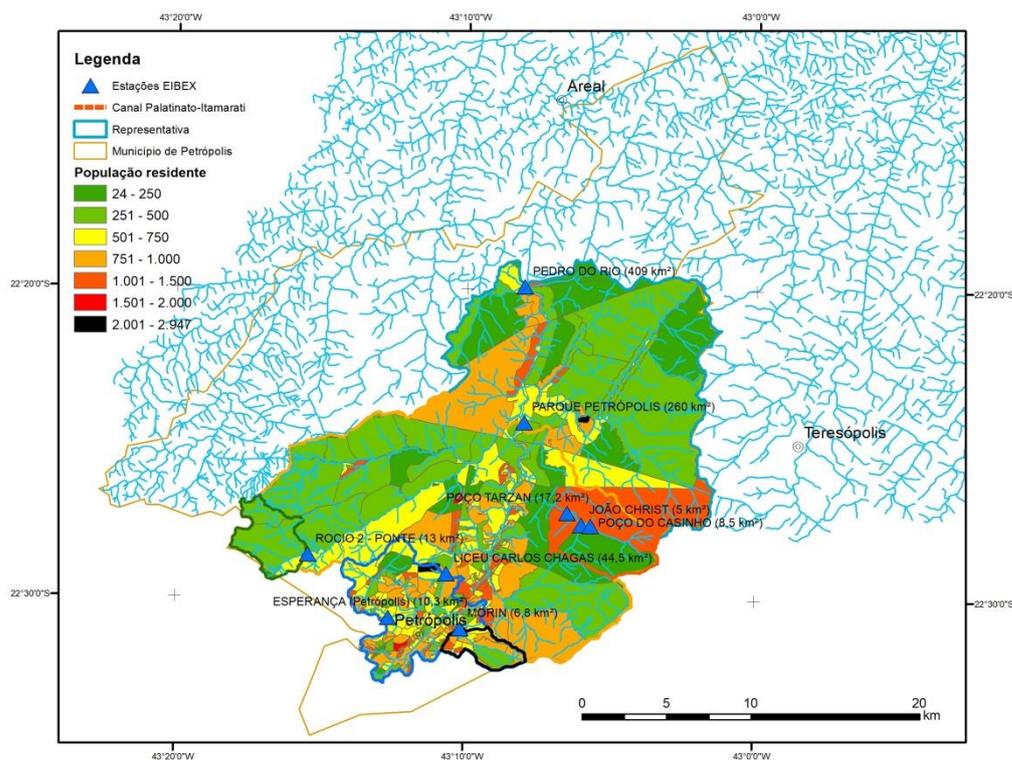


Figura 4.13: Setores censitários nas sub-bacias da bacia representativa.

Para ter-se ideia da poluição gerada na bacia por usuários da água e auxiliar as análises, junto ao INEA/RJ, foram obtidos os dados georreferenciados do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos - CNARH40 da Região Hidrográfica IV (INEA/RJ, 2020), que é a região de gestão de recursos hídricos que contém a bacia do rio Piabanha. Com os contornos das bacias foram selecionados, no ambiente SIG, os usuários de cada sub-bacia por tipologia de uso e captação ou lançamento. A localização de pontos de captação de água e de lançamento de efluentes, referentes a 17/11/2020, pode ser vista na Figura 4.14.

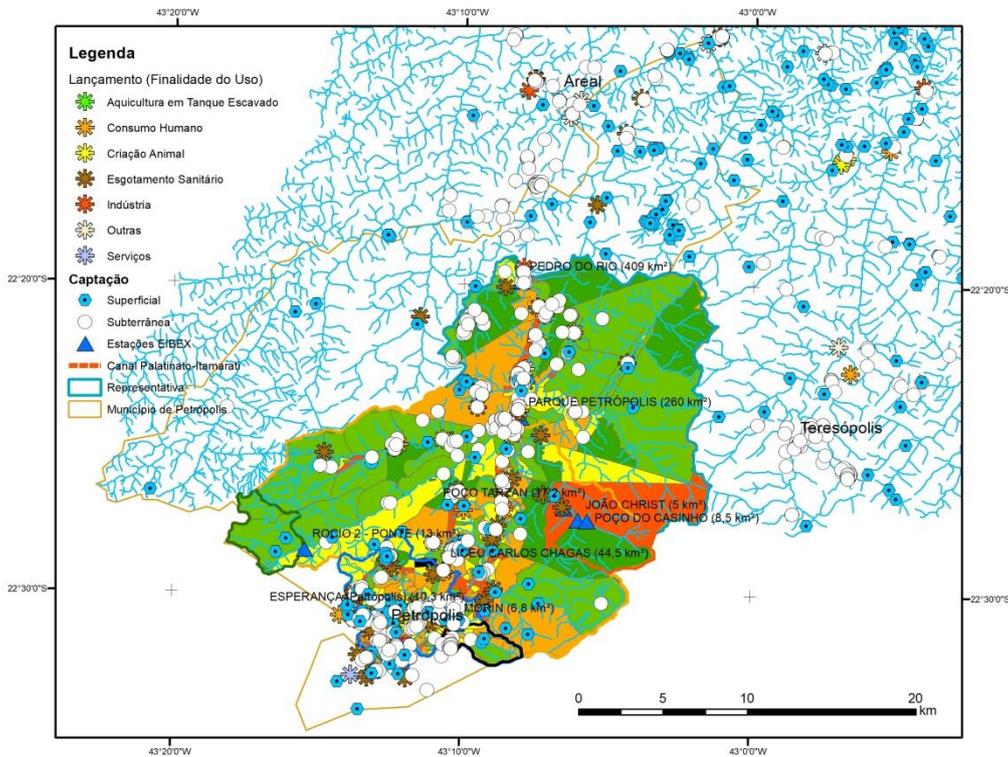


Figura 4.14: Pontos de captação de água e lançamento de efluentes.

4.5. Análise exploratória das séries temporais - concentração de parâmetros de qualidade de água, precipitação e vazão

É importante explorar os dados disponíveis para avaliar a viabilidade de aplicação dos procedimentos que compõem a metodologia e suas possíveis restrições. Esse tipo de avaliação deve ser feita com todos os dados fundamentais para apoiar as análises e a interpretação dos resultados. Essas análises permitem o conhecimento da variação espacial e temporal dos dados, como das concentrações dos parâmetros de qualidade da água, das precipitações na bacia, permitindo identificar o ano hidrológico e

períodos de mais chuva e de estiagem e ainda conhecer o comportamento das vazões nas estações onde é monitorada a qualidade da água.

4.5.1. Rede de Monitoramento da qualidade da água na bacia do rio Piabanha - RMQAP-EIBEX

Desde 2009, a RMQAP é operada na bacia representativa do rio Piabanha pelo SGB-CPRM, com medições *in situ* por sonda multiparamétrica e coletas de amostras nas estações fluviométricas do projeto EIBEX, com análise em laboratório. As amostras são analisadas para uma série de 37 parâmetros de qualidade da água, apresentados no Quadro 4.1. Essa série de parâmetros condiciona análises físico-químicas e biológicas em laboratório. A interpretação dos resultados da sonda e das análises laboratoriais, nesta dissertação, considera os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005).

Quadro 4.1: Parâmetros analisados no monitoramento da bacia representativa

Com sonda multiparamétrica <i>in situ</i>	Analisadas pelo LAMIN	Analisadas por outro Laboratório
pH	Alumínio (Al)	SVOC 1 (Pesticidas do grupo dos organoclorados)
CE	Arsênio (As)	SVOC 2 (Pesticidas do grupo dos carbamatos e organofosforados)
OD	Cádmio (Cd)	DBO
T (temperatura da água)	Chumbo (Pb)	DQO
	Cobalto (Co)	Coliformes fecais/E. Coli
	Cobre (Cu)	Coliformes Totais
	Cromo (Cr)	Fósforo Total (P)
	Antimônio (Sb)	
	Estanho (Sn)	
	Ferro (Fe)	
	Manganês (Mn)	
	Níquel (Ni)	
	Selênio (Se)	
	Zinco (Zn)	
	Prata (Ag)	
	Fluoreto (F ⁻)	
	Nitrato (NO ₃)	
	Fosfato (PO ₄)	
	Sulfato (SO ₄)	
	Cianeto (CN)	
	Bário (Ba)	
	Cloreto (Cl ⁻)	
	Merúrio (Hg)	
	pH	
	CE	
	Nitrogênio Amoniacal (NH ₄ ⁺)	
	Sólidos em Suspensão	
	Turbidez	

HOROWITZ (2013) chama a atenção para a importância de programar campanhas de coleta de amostras tendo em conta a hidrologia e não somente o calendário, para evitar a geração de dados tendenciosos, com concentrações e cargas em faixas de valores pouco precisos.

O monitoramento da QA na bacia aconteceu com o total de 50 campanhas de medição *in situ* e coletas de amostras para análise em laboratório, ao longo do período 2009-2015. Foram, pelo menos, quatro campanhas de amostragem por ano, conforme Quadro 4.2. A partir de 2013, essa frequência aumentou para 10 campanhas no mínimo, e o ano de 2014 teve 12 campanhas. Dessa forma, tanto o período chuvoso como o de estiagem estariam representados no monitoramento.

Quadro 4.2: Campanhas de monitoramento realizadas entre 2009 e 2015

CAMPANHA	Data	CAMPANHA	Data
1ª	Agosto de 2009	26ª	Outubro de 2013
2ª	Setembro de 2009	27ª	Novembro de 2013
3ª	Outubro de 2009	28ª	Dezembro de 2013
4ª	Novembro de 2009	29ª	Janeiro de 2014
5ª	Dezembro de 2009	30ª	Fevereiro de 2014
6ª	Março de 2010	31ª	Março de 2014
7ª	Junho de 2010	32ª	Abril de 2014
8ª	Outubro de 2010	33ª	Mai de 2014
9ª	Novembro de 2010	34ª	Junho de 2014
10ª	Fevereiro de 2011	35ª	Julho de 2014
11ª	Junho de 2011	36ª	Agosto de 2014
12ª	Agosto de 2011	37ª	Setembro de 2014
13ª	Novembro de 2011	38ª	Outubro de 2014
14ª	Abril de 2012	39ª	Novembro de 2014
15ª	Mai de 2012	40ª	Dezembro de 2014
16ª	Agosto de 2012	41ª	Janeiro de 2015
17ª	Outubro de 2012	42ª	Março de 2015
18ª	Dezembro de 2012	43ª	Abril de 2015
19ª	Fevereiro de 2013	44ª	Mai de 2015
20ª	Março de 2013	45ª	Junho de 2015
21ª	Abril de 2013	46ª	Julho de 2015
22ª	Junho de 2013	47ª	Agosto de 2015
23ª	Julho de 2013	48ª	Setembro de 2015
24ª	Agosto de 2013	49ª	Outubro de 2015
25ª	Setembro de 2013	50ª	Dezembro de 2015

Alguns desses parâmetros, ao longo das campanhas, apresentaram concentrações sempre abaixo do limite de detecção das técnicas adotadas, que é o limite estabelecido com incerteza máxima aceitável que o laboratório é capaz de garantir para cada parâmetro.

Os parâmetros não detectados em qualquer das estações, em qualquer das amostras coletadas, foram: SVOC1 e SVOC2, arsênio, cádmio, , cobalto, cobre, cromo, estanho, , níquel, selênio, prata, fluoreto, cianeto, mercúrio. Nas estações da área urbana (Esperança, Morin e Liceu), foram detectados antimônio, chumbo e manganês, no entanto, em algumas poucas vezes e com valores muito baixos, não justificando considerá-los em análises abrangentes.

Assim, para as avaliações previstas neste estudo foram selecionados parâmetros considerados de importância para o acompanhamento da qualidade da água na bacia do rio Piabanha, dadas as suas características de uso e ocupação e que apresentem resultados consistentes no maior número de campanhas de coletas em toda a bacia, ao longo do período 2009 a 2015.

A análise em diagramas de caixa, ou *box plot*, das séries de concentrações desses parâmetros pode revelar eventuais inconsistências, possibilitando alguma correção, por exemplo, de digitação, além de permitir avaliar sua coerência com tipos de fonte, pontuais ou difusas, origem antropogênica ou natural, ocupação da bacia, predomínio de indústrias, ausência de serviços de saneamento, com base no conhecimento da literatura.

4.5.2. Dados de precipitação para avaliação do regime pluviométrico

As estações pluviométricas Itamarati (Cod: 2243010), Rio da Cidade (Cod: 2243011) e Pedro do Rio (Cod: 2243012), da rede ANA/SGB-CPRM, possuem disponíveis dados com as séries históricas mais longas na bacia representativa. Outra estação dessa rede, Petrópolis, foi instalada na mesma época, porém foi descontinuada em 2005, porque construções próximas no centro já muito urbanizado prejudicavam seus dados, assim, foi instalada a estação Bingen para substituí-la. As séries de Bingen e Petrópolis completam-se no tempo e podem ser usadas como de uma só estação Petrópolis-Bingen.

Com as séries das quatro estações de 1939 a 2016, é possível caracterizar o regime de precipitações na bacia representativa em Pedro do Rio. Calculando-se os totais mensais médios observados em cada estação para construção de hietogramas conjuntos e utilizar suas séries completas em diagramas *box plot* para comparação das estatísticas de sua distribuição.

A rede INEA/RJ tem mais estações concentradas nas áreas mais vulneráveis a acidentes naturais de deslizamentos e enchentes, para servir ao alerta e apoiar a defesa civil do estado. Com base nos dados disponíveis, ao longo do período de dados comum

e sem falhas de 2012-2014, de 22 estações das redes do INEA/RJ e do projeto EIBEX, é possível verificar a distribuição espacial da precipitação na bacia de forma mais detalhada.

Com os totais diários de precipitação observada nas 22 estações, no período 2012-2014, são construídas as curvas de precipitação acumulada para identificação de padrões e observação de eventos extremos.

4.5.3. Dados de vazão para avaliação do regime fluviométrico

O regime fluviométrico foi avaliado por meio de curvas de permanência e determinação das vazões características de cada estação fluviométrica.

A estação fluviométrica de Pedro do Rio é a que tem histórico mais longo para representar o regime fluviométrico e permitir comparar seus dados com os dados em toda a bacia representativa.

Para a finalidade de comparar o regime de vazões nas cinco estações, podem ser definidas as suas curvas de permanência, pois sua análise permite identificar semelhanças e diferenças ao longo de períodos de vazões altas, permanência inferior a 10% (Q_{02}), vazões mais frequentes, entre 25% e 75% (Q_{50}), e vazões mínimas, como a que em 95% do tempo as vazões estão acima dela (Q_{95}).

As assinaturas das curvas de permanência normalizadas, segundo a metodologia descrita em Yilmaz *et al.* (2008), podem ser calculadas e apresentadas graficamente em conjunto para comparação.

As vazões das coletas são essenciais para a estimativa dos parâmetros. As vazões associadas às campanhas foram, em sua maioria, os valores de vazão média do dia da coleta. Para algumas campanhas foram associados os valores correspondentes à leitura de régua durante a coleta.

Essas vazões podem ser comparadas com as vazões diárias observadas ao longo do período para avaliar a representatividade desses valores frente ao que ocorre na bacia ao longo dos dias e do ano. Para essa avaliação pode ser feita a comparação da faixa de valores na ocasião das amostras com as características da série, em diagramas *box plot*, por exemplo.

A relação das vazões das coletas com as concentrações de cada parâmetro pode ser analisada, de forma simples, em gráficos de dispersão para avaliação de eventual correlação adicionando a linha de tendência com o coeficiente de determinação R^2 .

4.6. Estimativa da carga média anual dos parâmetros e sua distribuição na bacia

Segundo VON SPERLING (2005), como previamente mencionado, para a avaliação do impacto da poluição e da eficácia das medidas de controle, é necessária a quantificação das cargas poluidoras afluentes ao corpo d'água. Assim, a quantificação dos poluentes deve ser apresentada em termos de carga e não somente na forma de concentração.

A carga pontual de um parâmetro de qualidade pode ser estimada por meio da multiplicação da sua concentração pela vazão na seção de coleta da amostra conforme a expressão:

$$L_i = C_i \cdot Q_i \quad (4)$$

sendo i a estação de monitoramento selecionada, L_i a carga (g/s), C_i a concentração em mg/L e Q_i a vazão em m³/s.

O cálculo das cargas permite a avaliação do seu balanço no exutório da bacia em Pedro do Rio, comparando com as contribuições de cada sub-bacia.

Para melhor avaliar a contribuição de cada bacia experimental para a qualidade da água da bacia representativa, foi calculada a carga específica de cada parâmetro em cada bacia, para a média do período chuvoso e a média do período de estiagem e para a média anual, a cada ano.

As cargas médias específicas são obtidas dividindo-se as cargas médias pela área de contribuição de cada estação de acordo com a equação:

$$L_{Ai} = \frac{C_i \cdot Q_i}{A_i} \quad (5)$$

sendo L_{Ai} a carga específica em g.s⁻¹.km⁻², e A_i área de contribuição da estação i .

As cargas específicas representam a contribuição de cada bacia em termos de quantidade do parâmetro/poluente, tendo sua concentração associada à vazão específica da bacia. Essa abordagem facilita a avaliação espacial da distribuição da poluição e evidencia os locais de origem das maiores cargas relativas de cada parâmetro.

4.7. Análise das séries temporais de cargas de parâmetros de qualidade de água nas bacias

Após o cálculo das cargas médias anuais e das cargas médias específicas anuais e dos períodos chuvoso e de estiagem, os resultados referentes a cada um dos

parâmetros podem ser analisados e comparados, por bacia, ao longo dos anos, com a finalidade de avaliação das contribuições de cada bacia e de suas possíveis origens. Essa análise pode ser visual, em gráficos do tipo histograma com legenda de cores identificando os valores em cada estação, ao longo dos anos, para médias anuais e dos períodos chuvoso e de estiagem.

4.8. Correlação entre os percentuais de área de cada classe de uso do solo e cargas médias anuais dos parâmetros de qualidade de água

A análise conjunta da evolução do uso do solo e das cargas médias dos parâmetros, em cada bacia, pode ser feita por estudos de correlação entre os dados obtidos no monitoramento da qualidade da água, representados pelas cargas médias específicas anuais e dos períodos chuvoso e de estiagem na região, e os dados de áreas percentuais das classes de usos do solo mais expressivas nas bacias das cinco estações de monitoramento selecionadas, ao longo de 2009-2015. O estudo pode ser feito por meio de análises estatísticas, desenvolvidas em planilhas do *Excel (Microsoft)*. A avaliação das correlações seria feita com base no coeficiente de correlação de Pearson e nível de significância considerando um intervalo de confiança de 95%.

O objetivo deste estudo, como referido anteriormente, consiste em avaliar a relação entre as classes de usos do solo e as cargas estimadas ao longo do tempo com vistas à possibilidade de estabelecer equações de regressão e poder estimar então o aumento ou diminuição de cargas com a variação dos percentuais de área em cada sub-bacia e em locais da sub-bacia onde não há monitoramento da qualidade, incluindo seções a montante da estação.

Os resultados da regressão podem ser expressos pela equação ajustada, e analisados pelo coeficiente de determinação do ajuste, bem como pelos os resíduos calculados e parâmetro de inclinação, propiciados pela ferramenta de análise de regressão estatística do *Excel (Microsoft)*.

5. ANÁLISES DE QUANTIDADE E QUALIDADE DA AGUA NA BACIA

Os resultados das análises dos dados de qualidade de água são apresentados, neste capítulo, segundo as etapas da análise, em uma sequência que se inicia com a avaliação da evolução do uso e cobertura do solo e ocupação, avaliação sobre demografia e usos da água cadastrados nas sub-bacias, seguida da análise exploratória dos resultados de concentração de cada parâmetro, obtidos das amostras de todas as campanhas, da avaliação do regime hidrológico, pelas precipitações e vazões, verificação e estabelecimento do ano hidrológico e dos períodos chuvosos e de estiagem, do cálculo das cargas de cada parâmetro e sua distribuição por sub-bacia, sendo, ao final, apresentados os resultados do estudo de correlação das cargas dos parâmetros com a evolução do uso do solo. Os resultados são comentados ao longo dessa sequência e, em seu conjunto, são avaliados ao final do capítulo.

5.1. Análise da evolução temporal dos usos de solo para área de estudo

Com base nos mapas apresentados no item 4.3.2, foram calculadas as áreas de cada classe de uso do solo e seus percentuais nas áreas de contribuição das cinco estações de monitoramento selecionadas: Liceu, Poço Tarzan, Rocio, Parque Petrópolis e Pedro do Rio. Os valores calculados das áreas de cada feição e os percentuais das classes dentro de cada sub-bacia ao longo do tempo podem ser consultados em tabelas inseridas no Anexo III.

A evolução dos valores encontrados pode ser vista em gráficos elaborados para cada uma das cinco sub-bacias ao longo do período 2009 a 2015. É interessante ressaltar que a cobertura de formação florestal está presente em todas as sub-bacias, em não menos que 58% de suas áreas.

A bacia de Liceu tem uso urbano relevante com 24% de sua área em média. Sua infraestrutura urbana tem aumentado, possivelmente, sobre as classes: outra área não vegetada, e mosaico de agricultura e pastagem. A área de pastagem teve ligeiro aumento entre 2009-2010 e mantém-se estável. O percentual de formação florestal é estável, oscilando um pouco para mais ou para menos ao longo dos anos (Figura 5.1).

Em Poço Tarzan, o uso agrícola é relevante, 29% em média, considerando área de pastagem e mosaico de agricultura e pastagem. As áreas de afloramento rochoso (6%) e de formação florestal (65%, em ascensão) estão, em sua maior parte, dentro dos limites do PARNASO. Ao longo do período, o percentual de formação florestal foi

sempre crescente, com diminuição da área de pastagem compensando, inclusive, o aumento do percentual de mosaico de agricultura e pastagem entre 2009 e 2013. Desde 2013, a área de pastagem teve leve aumento e estabilizou, possivelmente, sobre o mosaico de agricultura e pastagem, e o percentual da formação florestal seguiu a tendência de crescimento. A classe infraestrutura urbana não é identificada nessa bacia. (Figura 5.2).

A bacia de Rocio tem 98,3% de cobertura por formação florestal e não tem infraestrutura urbana identificável na escala do levantamento. Os percentuais de mosaico de agricultura e pastagem, com média de 1,6%, têm diminuído em favor do crescimento de “outra área não vegetada” (0,1%) e, nos últimos anos, de percentual ínfimo de área de pastagem (Figura 5.3).

As bacias de Parque Petrópolis (Figura 5.4) e Pedro do Rio (Figura 5.5) têm distribuição de uso e cobertura vegetal muito semelhante, com formação florestal acima de 65% e 62%, respectivamente, apresentando tendência de diminuição, e maior percentual de infraestrutura urbana em Parque Petrópolis. Em Pedro do Rio surgem 0,1% de floresta plantada e são maiores os percentuais de pastagem e afloramento rochoso.

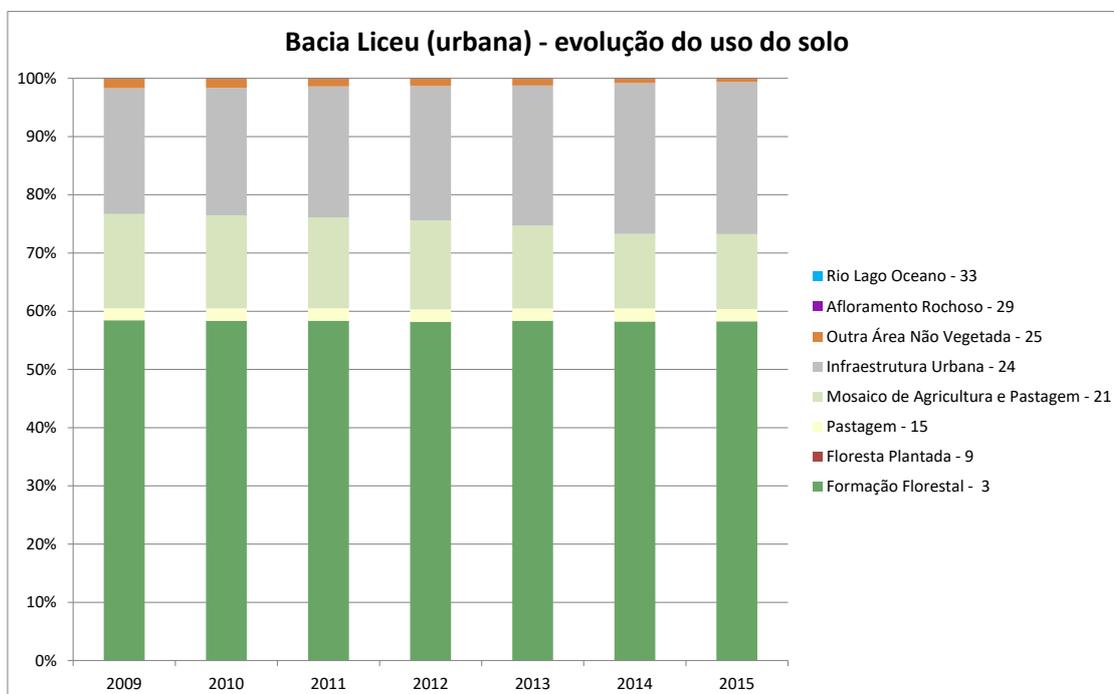


Figura 5.1 Evolução do uso do solo entre 2009-2015 na bacia de Liceu.

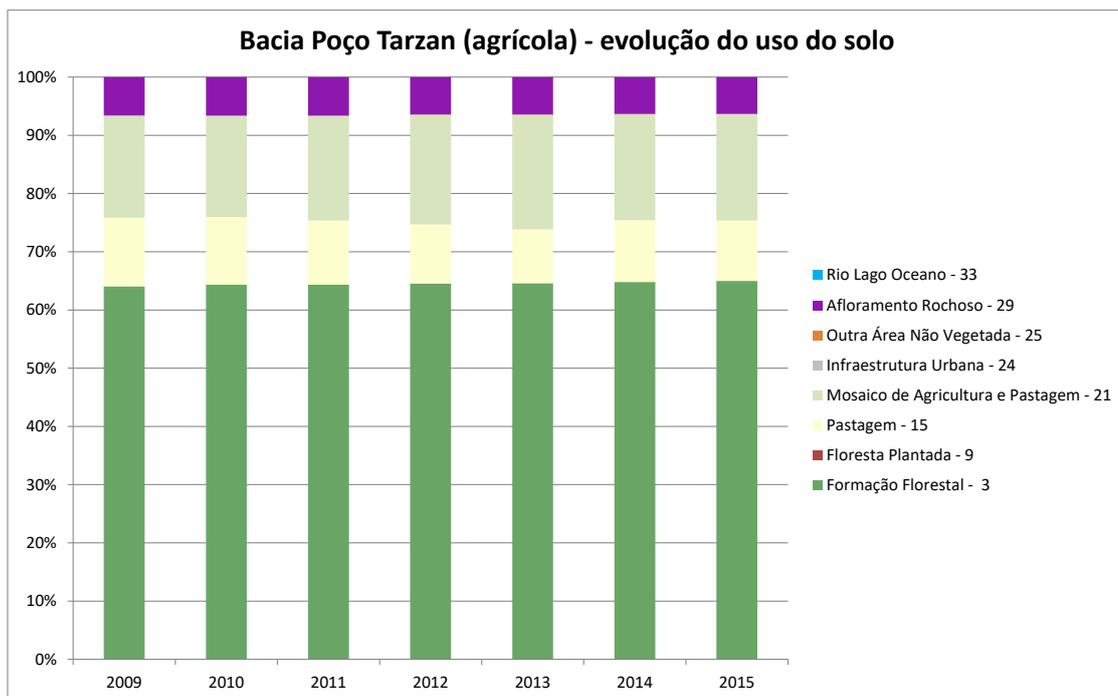


Figura 5.2 Evolução do uso do solo entre 2009-2015 na bacia de Poço Tarzan.

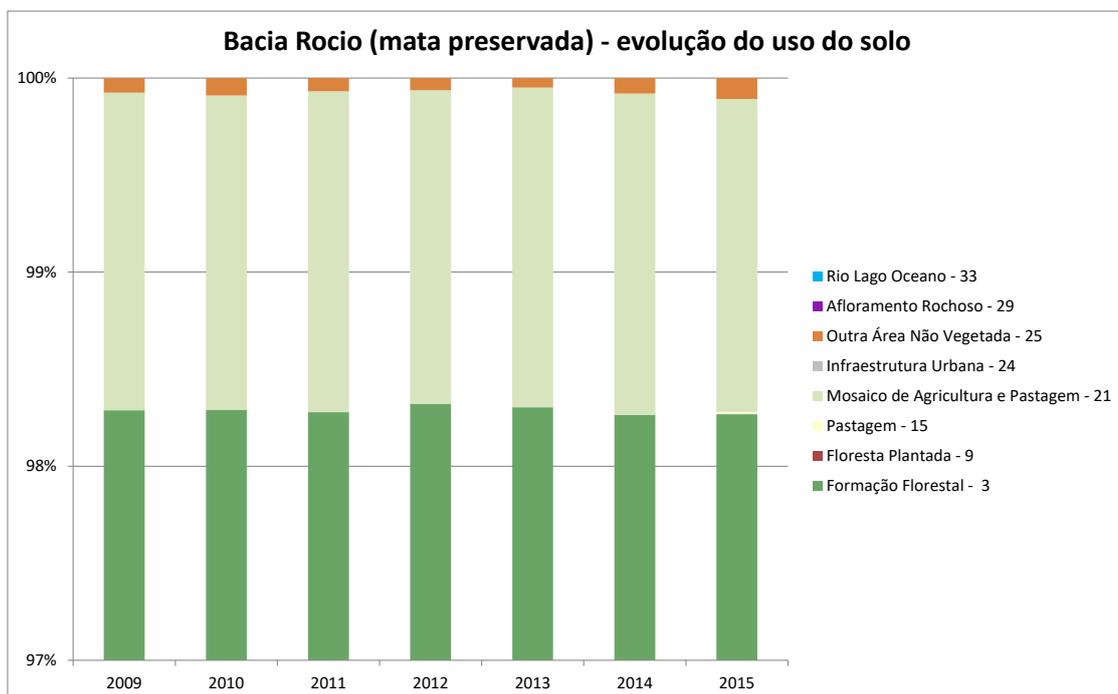


Figura 5.3 Evolução do uso do solo entre 2009-2015 de Rocio.

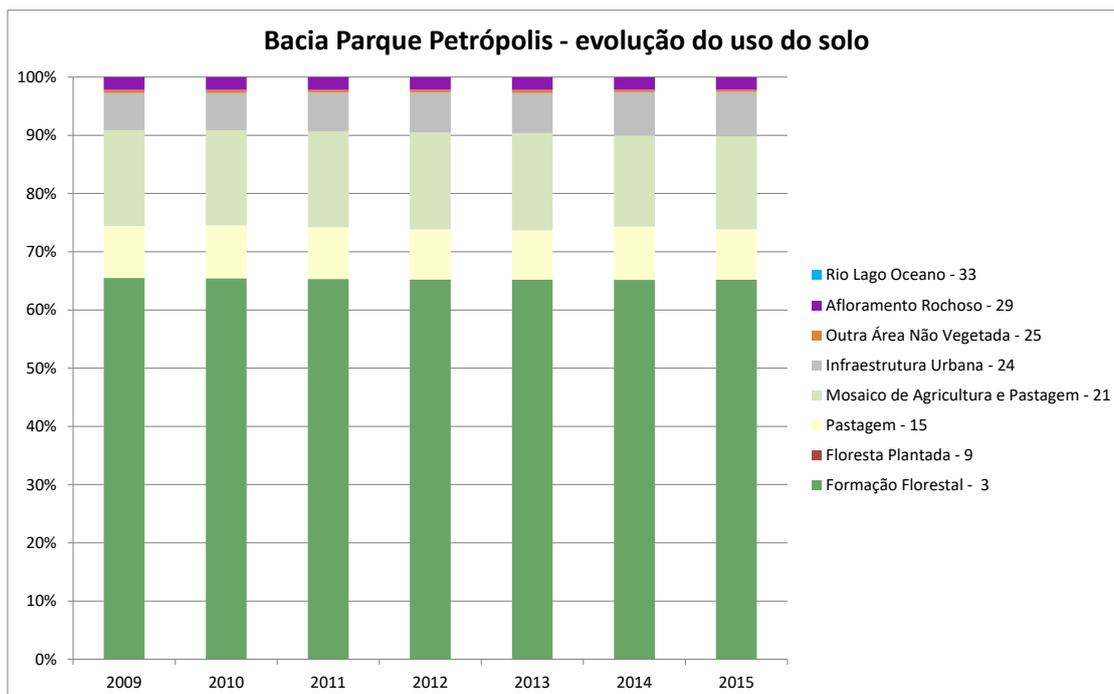


Figura 5.4 Evolução do uso do solo entre 2009-2015 na bacia de Parque Petrópolis.

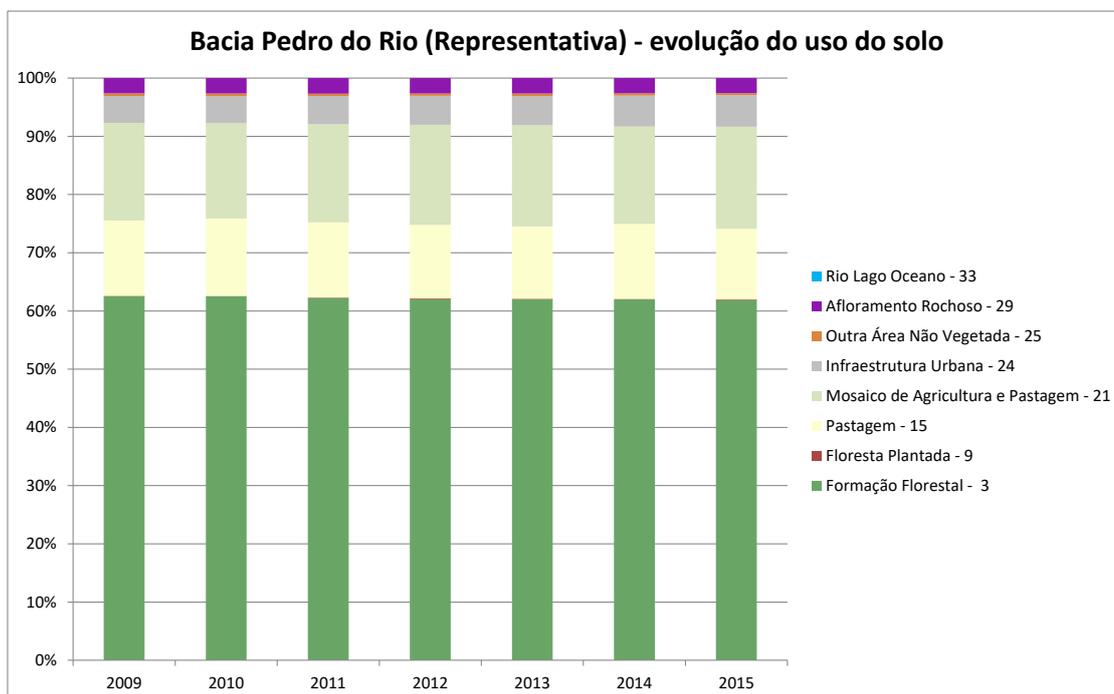


Figura 5.5 Evolução do uso do solo entre 2009-2015 na bacia de Pedro do Rio.

É possível observar a relevância de certas classes de uso associadas às bacias experimentais para sua caracterização. Dentre as cinco sub-bacias, a de Liceu apresenta

maior percentual de infraestrutura urbana e menor cobertura de formação florestal. Poço Tarzan apresenta o maior percentual de mosaico de agricultura e pastagem e pastagem, Rocio apresenta a maior cobertura de formação florestal, tendo aproximadamente toda sua área coberta por florestas. Parque Petrópolis e Pedro do Rio também apresentam alta percentagem de cobertura por formação florestal, e têm distribuição semelhante de outras classes, com maior infraestrutura urbana percentual em Parque Petrópolis.

5.2. Demografia e usos da água cadastrados nas sub-bacias

A forma de ocupação da população e a distribuição dos usos da água, possivelmente, influenciam a qualidade da água nos diversos pontos bacía. Para auxiliar no entendimento dessas implicações, foi estimada a densidade demográfica de cada sub-bacia monitorada, bem como foram levantados e contabilizados os principais usos cadastrados (CNDARH40), conforme apresentado no item 4.4.

5.2.1. Densidade demográfica das sub-bacias

A Tabela 5.1 apresenta a densidade demográfica das cinco sub-bacias monitoradas pela RMQAP-EIBEX selecionadas para estudo. Os dados foram obtidos considerando-se os setores censitários de IBGE (2010), representados na Figura 4.13, e os contornos das bacias. Nas bordas da bacía, os setores foram cortados e a população contida na feição resultante foi estimada de forma proporcional a área da nova feição, considerando a população uniformemente distribuída em cada setor, que é a menor unidade de levantamento e cálculo do Censo IBGE.

Tabela 5.1: Densidade demográfica da sub-bacia representativa

Sub-bacia	População	Área (km ²)	Densidade Demográfica (hab.km ⁻²)	% de hab do Município
Liceu	110.567	44,5	2.485	37%
Poço Tarzan	1.076	17,2	63	0,4%
Rocio 2	277	12,8	22	0,1%
Parque Petrópolis	207.514	260,0	798	70%
Pedro do Rio	234.330	427,9	548	79%

Para comparação, tem-se o município de Petrópolis com área de 780,8km² e população de 295.917 habitantes em 2010 (IBGE, 2011), resultando na densidade demográfica de 379 hab.km⁻² para 2010. A maior densidade demográfica estava na bacía de contribuição à estação Liceu, sendo quase oito vezes maior que a média do

município, até Parque Petrópolis era mais do que o dobro, enquanto até Pedro do Rio quase 1,5 o valor do município.

A Figura 5.6 ilustra a distribuição da densidade demográfica da bacia até Pedro do Rio.

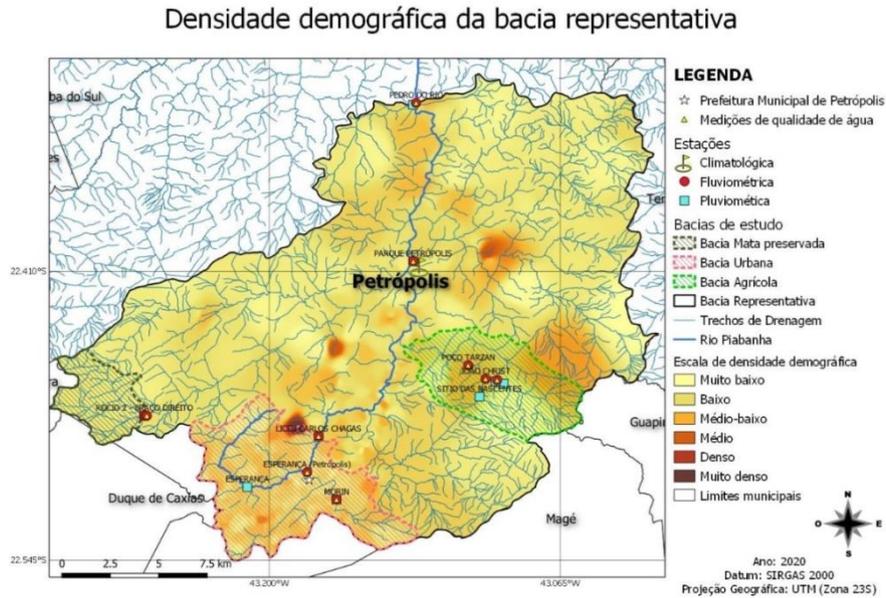


Figura 5.6: Densidade demográfica na bacia representativa em Pedro do Rio.

5.2.2. Usos da água cadastrados por sub-bacia

Há 68 pontos de lançamento na bacia de Pedro do Rio, sendo 34 de esgotamento sanitário. Desses, 23 figuram sem tratamento, sem preenchimento ou como “outros”. Há oito pontos de lançamento de indústrias e destes, quatro figuram sem tratamento, sem preenchimento ou como “outros”.

Na bacia de Liceu, relativamente à sua área, está a maior concentração dos pontos de lançamento de efluentes. Dos 23, 13 são de esgoto sanitário e destes, oito figuram sem tratamento, sem preenchimento ou como “outros”. Há quatro lançamentos de indústrias, sendo dois do tipo têxtil sem tratamento, sem preenchimento ou sem especificação.

Na parte mais alta da bacia de Liceu, junto ao divisor, e nas bacias de Rocio e Poço Tarzan, há captações de água superficial para abastecimento. Em toda a bacia, as captações de água subterrânea predominam sobre as de água superficial, na proporção de 3,5 para 1.

5.3. Parâmetros de qualidade de água selecionados para análise espaço-temporal

Conforme citado no item 4.5.1, do conjunto de parâmetros iniciais previstos para análise na RMQAP-EIBEX, alguns não figuraram em concentrações detectáveis ou não puderam ser analisados na maioria das campanhas em todas as estações.

Os 12 parâmetros selecionados são: oxigênio dissolvido (OD); demanda bioquímica de oxigênio (DBO); demanda química de oxigênio (DQO); alumínio (Al); ferro (Fe); zinco (Zn); nitrato (NO_3); nitrogênio amoniacal (NH_4^+); fosfato (PO_4); sulfato (SO_4); sólidos em suspensão; e turbidez.

Para análise exploratória comparativa da presença de cada parâmetro ao longo do tempo na bacia, representada pelas cinco estações selecionadas, os resultados das campanhas são apresentados em diagramas do tipo *box plot*, com informação das estatísticas: valor mínimo, 1º quartil (valor abaixo do qual estão 25% dos valores da série), média, mediana (ou 2º quartil - valor acima ou abaixo do qual se encontram 50% dos valores da série), 3º quartil (valor abaixo do qual estão 75% dos valores da série), e valor máximo. Os gráficos para cada parâmetro são apresentados sempre para o conjunto das cinco estações e, também, em separado para as duas estações não urbanas, nos casos em que uma só escala do eixo dos valores do parâmetro não foi a mais adequada para a visualização do conjunto.

5.3.1. Oxigênio dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido teve média de concentração inferior a 3mg/L em Liceu, onde 75% das campanhas tiveram medição inferior 4 mg/L e em 25% delas foram medidos valores abaixo de 2mg/L, com duas ocorrências de valor nulo. Em Poço Tarzan, os valores medidos tiveram média acima de 6 mg/L, com 50% das campanhas medindo acima desse valor, 25% delas medindo abaixo de 5mg/L e outros 25% medindo acima de 7 mg/L. Em Rocio, o OD esteve na média e em mais de 50% das campanhas ligeiramente abaixo de 6mg/L, tendo 25% delas apresentado valores abaixo de 5mg/L e outros 25% das campanhas mediram acima de 6,8 mg/L. Parque Petrópolis teve média inferior a 4mg/L, e, em 50% das campanhas também abaixo desse valor, sendo 25% abaixo de 3mg/L. Percebe-se que há uma recuperação da concentração de OD em Pedro do Rio, tendo a média sido superior a 6mg/L, sendo que, em 50% das campanhas os valores foram bem próximos, e, em somente 25% das campanhas os valores foram inferiores. À exceção de Poço Tarzan, todas as estações apresentaram

valores bem próximos de concentração nula de OD em algumas campanhas (Figura 5.7).

As piores condições encontradas em Liceu e em Parque Petrópolis são coerentes com os percentuais maiores de infraestrutura urbana nas duas bacias e maior densidade demográfica (Tabela 5.1).

Em relação aos padrões para classificação dos corpos d'água segundo seu uso, estabelecidos na Resolução Conama 357/2005 (BRASIL, 2005), para o parâmetro OD, a classe 1 exige que os valores encontrados, em qualquer das amostras, estejam acima de 6mg/L, enquanto a classe 2 tem limite inferior 5mg/L. Em nenhuma das estações esses padrões seriam atendidos no período analisado.

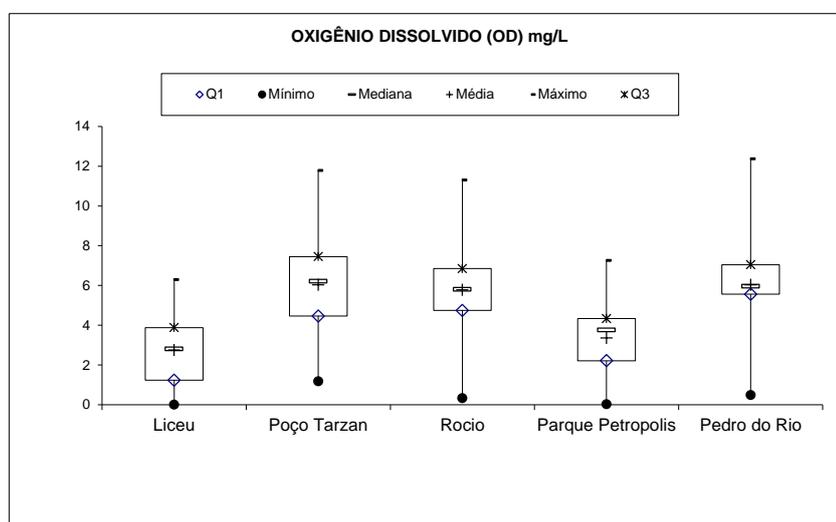


Figura 5.7: Concentração de oxigênio dissolvido (OD) em mg/L.

5.3.2. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A DBO tem valores de concentração máxima exigidos para as classes de uso: classe 1 - até 3mg/L; classe 2 - até 5 mg/L, e classe 3 - até 10 mg/L. Liceu apresenta a maior dispersão dos valores e a maior média de concentração, acima de 4,5mg/L, com 50% das campanhas tendo valor até 2,25mg/L, sendo que 25% das campanhas apresentaram concentração superior a 8mg/L. As menores médias e variações ocorrem em Poço Tarzan e Rocio, abaixo de 2mg/L, com raras ocorrências acima desse valor. Parque Petrópolis apresenta média de 3,5mg/L e Pedro do Rio 4,5mg/L sendo que apenas 25% das campanhas dos dois lugares apresentaram valor acima de 5mg/L. Por

este parâmetro, Liceu, Parque Petrópolis e Pedro do Rio apresentam padrão de classe 2 e Poço Tarzan e Rocio de classe 1, conforme mostra a Figura 5.8

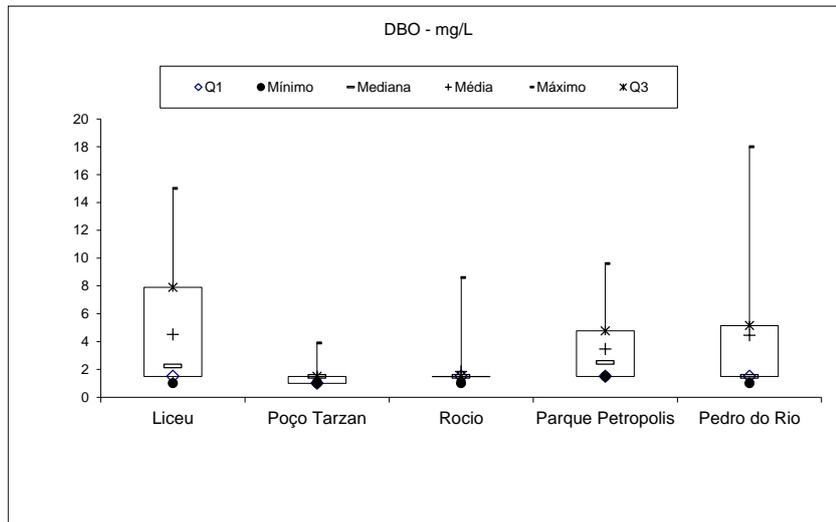


Figura 5.8: Concentração de DBO em mg/L.

5.3.3. Demanda química de oxigênio (DQO)

A DQO (Figura 5.9) apresenta dispersão semelhante ao verificado e comentado para a DBO. No entanto, Poço Tarzan e Rocio apresentam dispersão maior de concentrações se comparada à dispersão de valores de DBO.

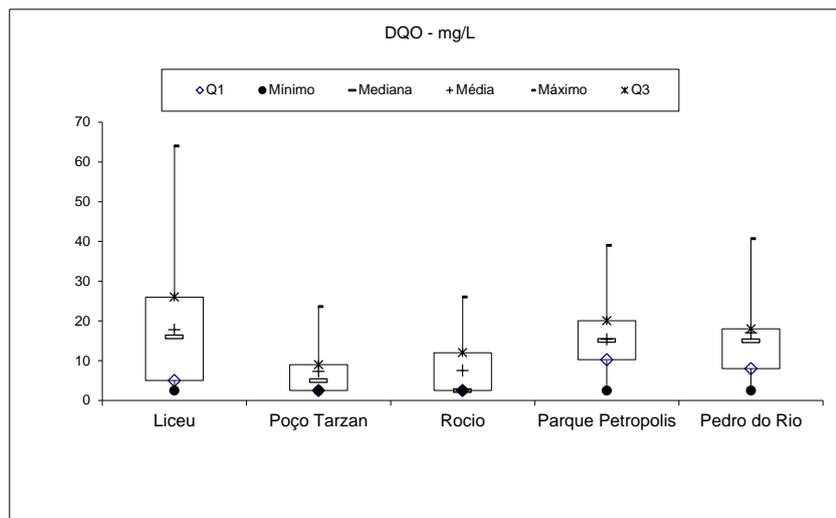


Figura 5.9: Concentração de DQO em mg/L.

5.3.4. Alumínio (Al)

As concentrações de alumínio têm médias maiores em Poço Tarzan e Rocio, sendo que a de Poço Tarzan é o dobro da de Rocio, como pode ser visto painel inferior da Figura 5.10. Em todos os pontos e em 75% das campanhas, os valores estiveram abaixo de 0,1mg/L, limite estabelecido pela Resolução Conama 357/2005 para águas doces em geral. Foram observadas raras ocorrências acima desse limite, 6 vezes em Poço Tarzan, 1 em Rocio, 2 em Parque Petrópolis e 5 em Pedro do Rio.

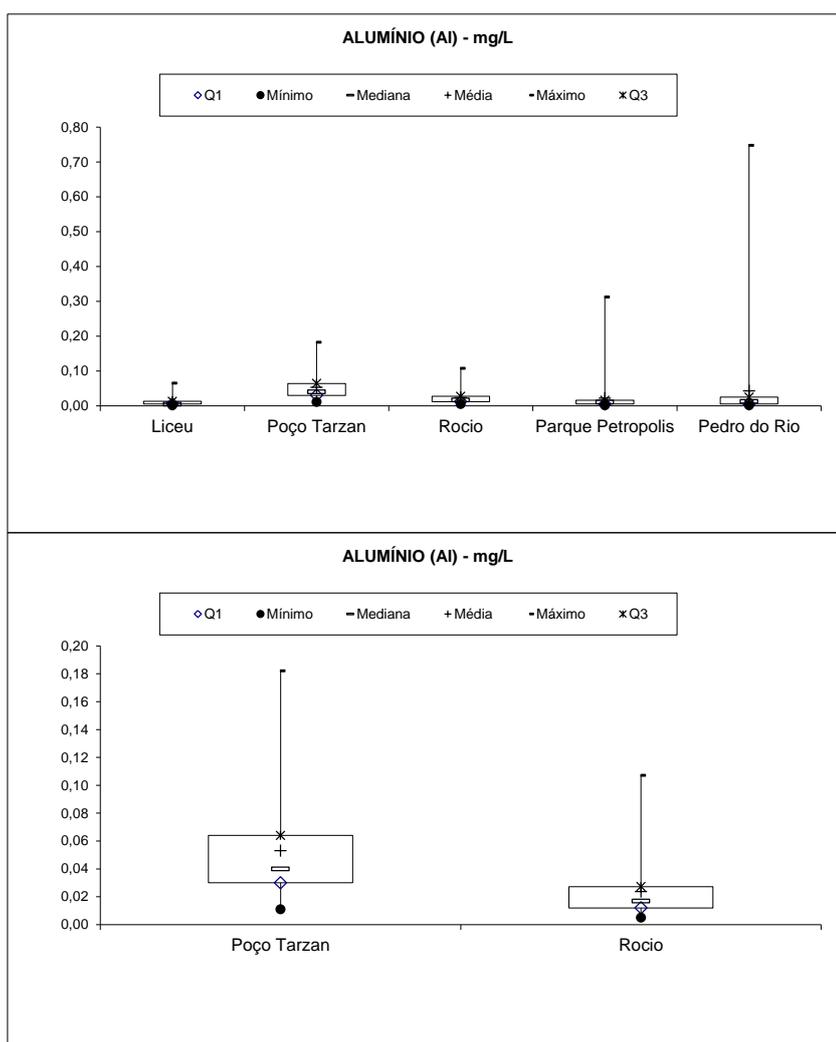


Figura 5.10: Concentração de alumínio (Al) em mg/L.

5.3.5. Ferro (Fe)

As concentrações de ferro são menores nas áreas não urbanas. A bacia mais urbanizada, Liceu, apresenta valores inferiores aos de Parque Petrópolis e Pedro do Rio,

talvez o teor aumente com área de drenagem (Figura 5.11). Apenas a última campanha em Pedro do Rio teve valor superior ao limite de 0,3 mg/L estabelecido pela Resolução Conama 357/2005 (BRASIL, 2005) para águas doces em geral.

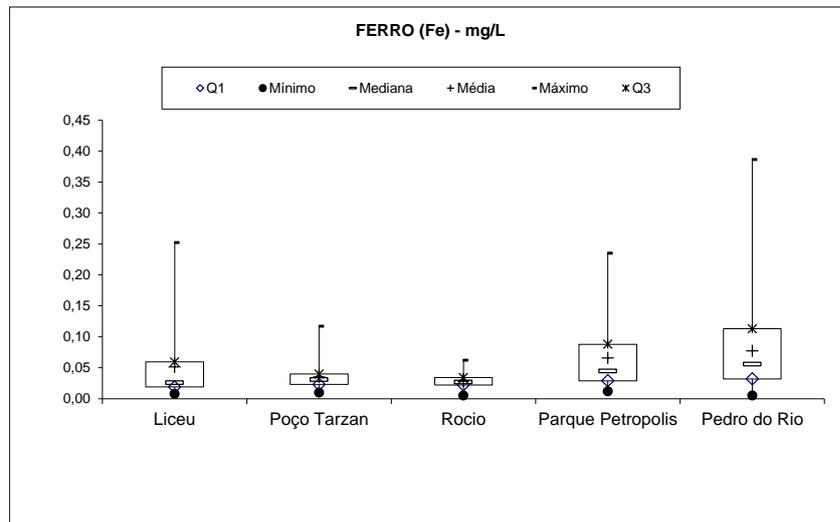


Figura 5.11: Concentração de ferro (Fe) em mg/L.

5.3.6. Zinco (Zn)

As concentrações de zinco são menores nas áreas não urbanas (Figura 5.12). Todas as campanhas em todos os pontos apresentaram faixas de valores bastante inferiores ao limite de 0,18 mg/L estabelecido pela Resolução Conama 357/2005 (BRASIL, 2005) para águas doces em geral.

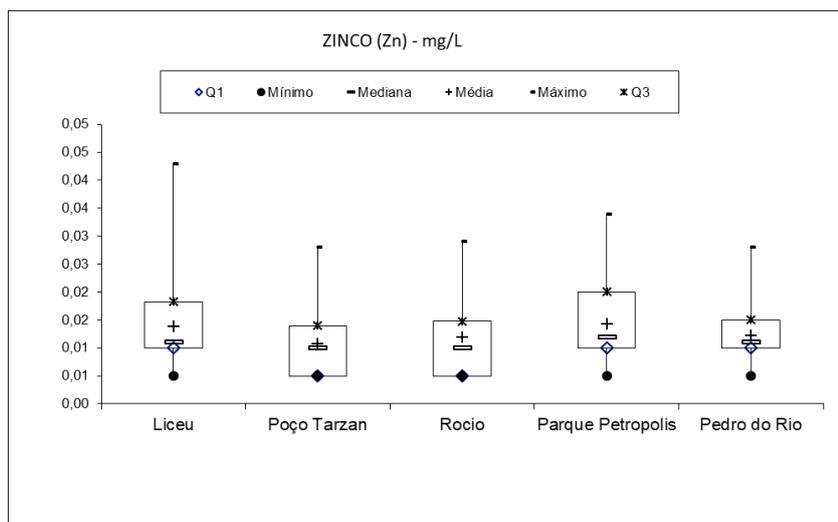


Figura 5.12: Concentração de zinco (Zn) em mg/L.

5.3.7. Nitrato (NO₃)

O limite de concentração de NO₃, estabelecido pela Resolução Conama 357/2005 (BRASIL, 2005) para águas doces em geral, é 10mg/L. Na Figura 5.13, vê-se que esse valor foi superado em 25% das amostras de Parque Petrópolis e Pedro do Rio. Foi superado também em oito amostras de Liceu e uma de Poço Tarzan. Todas as amostras de Rocio apresentaram valores, pelo menos, 100 vezes menores. A agricultura na bacia de Poço Tarzan talvez explique as concentrações superiores às de Rocio, conforme se vê no painel inferior da Figura 5.13.

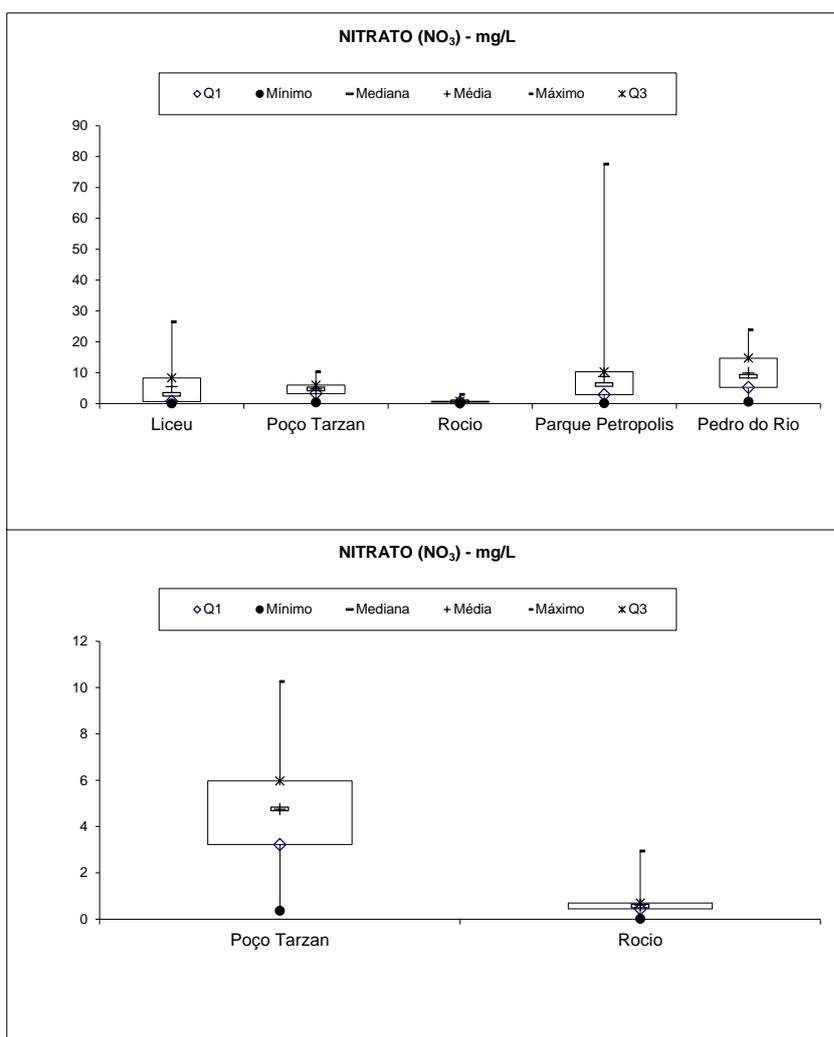


Figura 5.13: Concentração de nitrato (NO₃) em mg/L.

5.3.8. Nitrogênio amoniacal (NH₄⁺)

A bacia de Liceu apresenta valores superiores de NH₄⁺ e com maior dispersão que todas as outras. Parque Petrópolis também apresenta valor médio superior aos

demais locais. Poço Tarzan e Rocio apresentam valores semelhantes de concentração, sendo a média em Rocio inferior. O valor médio em Liceu é mais de 100 vezes maior que a média em Rocio e mesmo mais de 30 vezes maior que a média de Pedro do Rio (Figura 5.14). Essa concentração parece variar com o percentual de infraestrutura urbana.

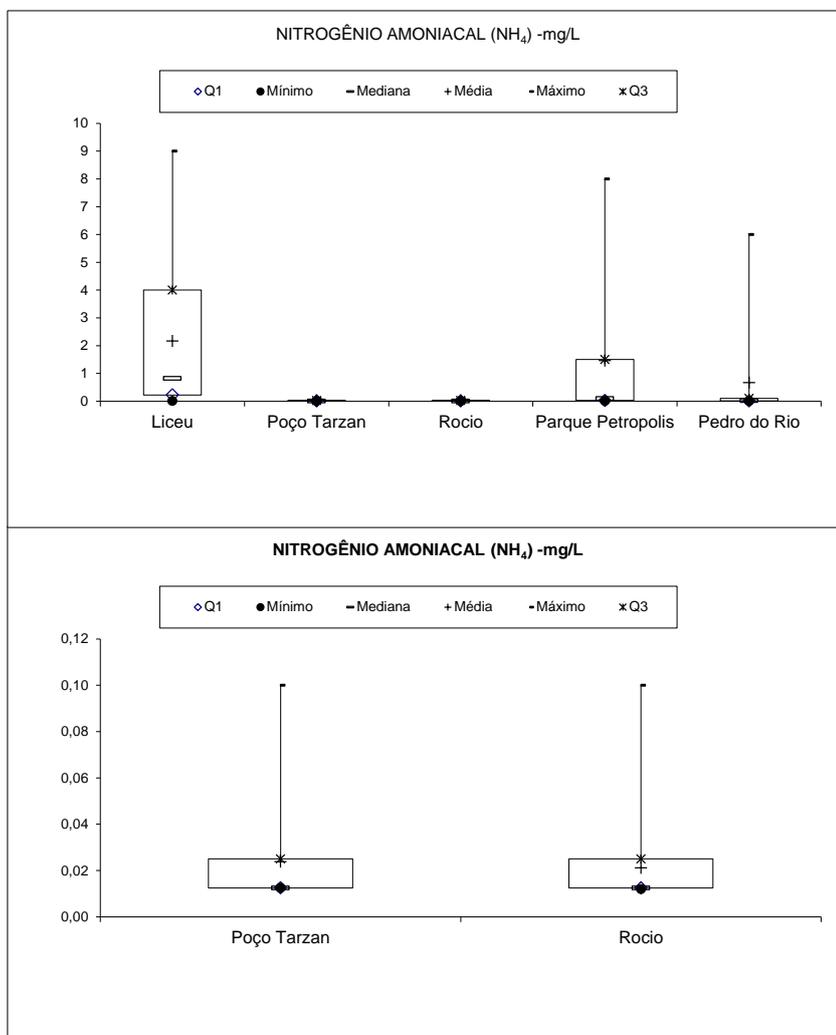


Figura 5.14: Concentração de nitrogênio amoniacal (NH₄⁺) em mg/L.

5.3.9. Fosfato (PO₄)

Liceu e Parque Petrópolis apresentam as maiores médias e a maior dispersão dos valores de concentração. A urbanização e a densidade demográfica parecem influenciar as concentrações do parâmetro. Os valores de Poço Tarzan e Rocio variam em outra ordem de grandeza. Rocio e Poço Tarzan têm distribuição de valores praticamente igual, como pode ser visto no painel inferior da Figura 5.15.

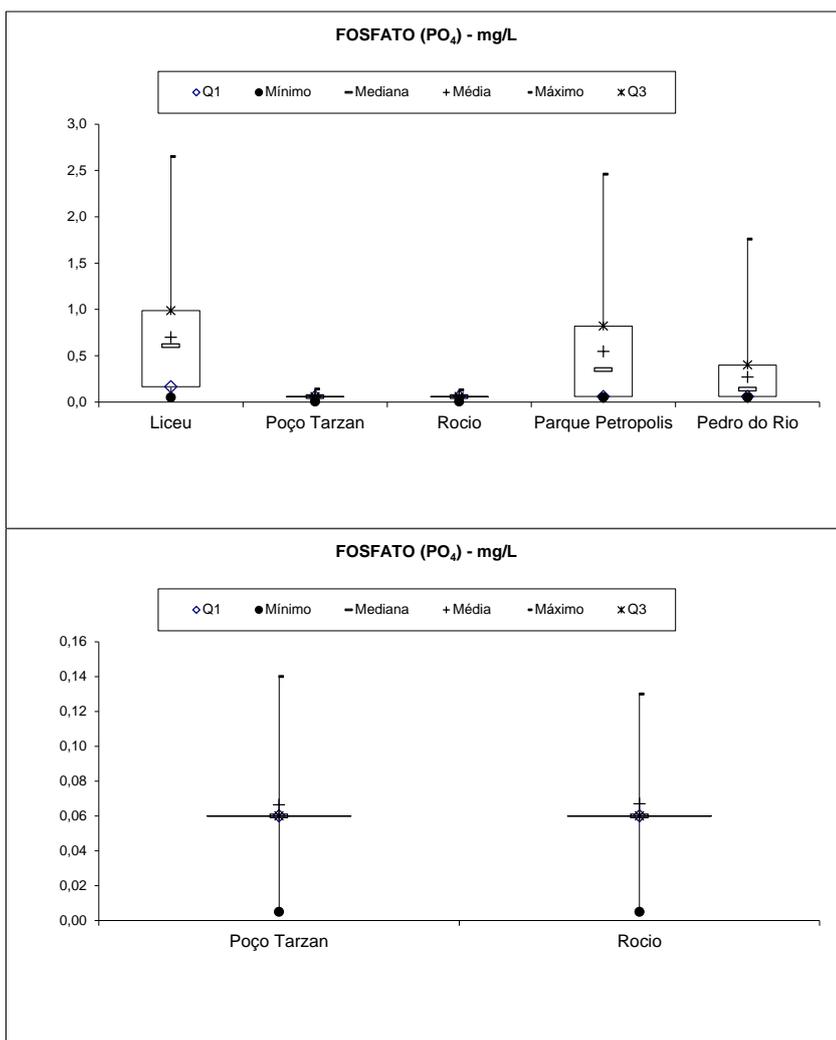


Figura 5.15: Concentração de fosfato (PO₄) em mg/L.

5.3.10. Sulfato (SO₄)

Liceu apresenta média de concentração de SO₄ superior aos demais locais, porém da mesma ordem de Parque Petrópolis e Pedro do Rio. Poço Tarzan e Rocio apresentam dispersão semelhante entre si, com médias inferiores a Liceu em 10 vezes em Rocio e cinco vezes em Poço da Tarzan (Figura 5.16). A concentração do parâmetro parece variar com o percentual de infraestrutura urbana.

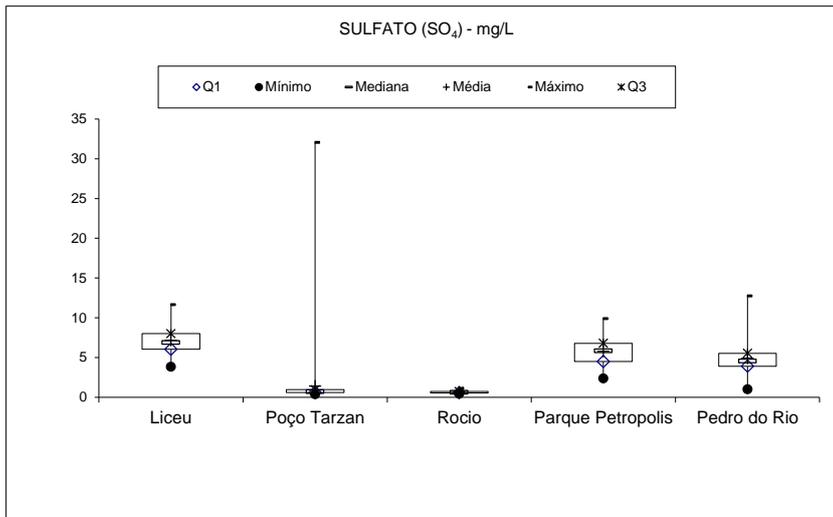


Figura 5.16: Concentração de sulfato (SO₄) em mg/L.

5.3.11. Sólidos em suspensão

A concentração de sólidos em suspensão tem média e dispersão de valores semelhantes em Poço Tarzan, Rocio e Parque Petrópolis. De Liceu até Parque Petrópolis os valores mínimos, do 1º quartil e da mediana são os mesmos. A média em Liceu é o dobro da média em Pedro do Rio (Figura 5.17). A concentração do parâmetro parece variar inversamente com a vazão.

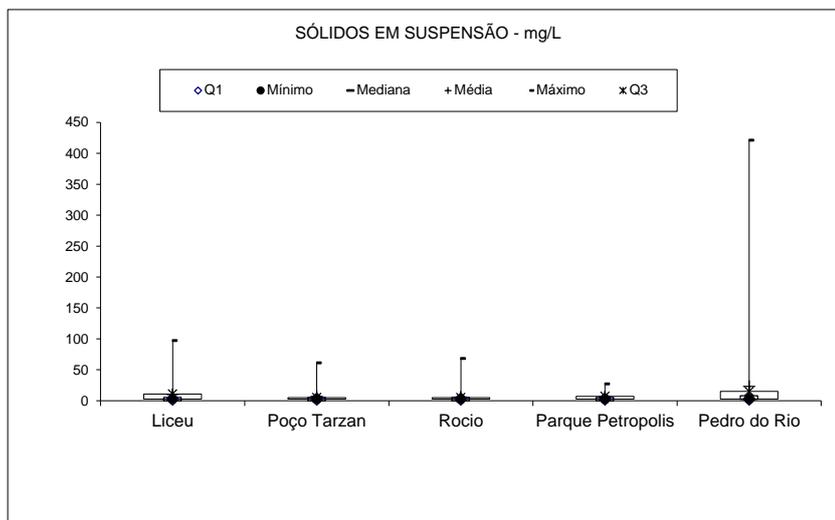


Figura 5.17: Concentração de sólidos em suspensão em mg/L.

5.3.12. Turbidez

Pedro do Rio apresenta média de turbidez duas vezes maior que Liceu que, por sua vez, tem média maior que Poço Tarzan em duas vezes e meia, mais de sete vezes maior que a de Rocio e quase o dobro da de Parque Petrópolis. A média em Poço Tarzan é três vezes maior que em Rocio (Figura 5.18). A Turbidez parece não acompanhar o comportamento de sólidos em suspensão ao longo da bacia.

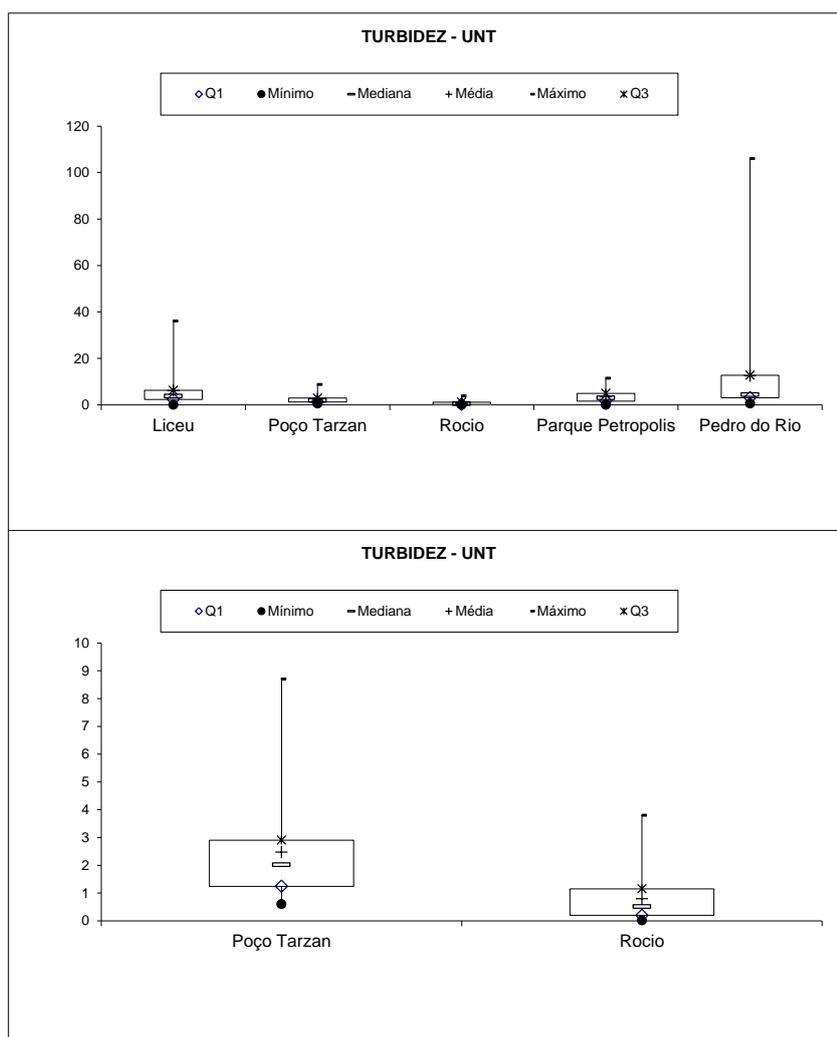


Figura 5.18: Turbidez em UNT.

No perfil longitudinal do rio Piabanha até a estação Pedro do Rio, Figura 5.19, é possível observar a alta declividade ao longo de toda a extensão do rio, em especial em seus primeiros 5km, com poucas zonas efetivamente planas (ARAUJO, 2016). Ao

longo do perfil são indicados os locais das seções fluviométricas e da confluência com os principais afluentes do trecho.

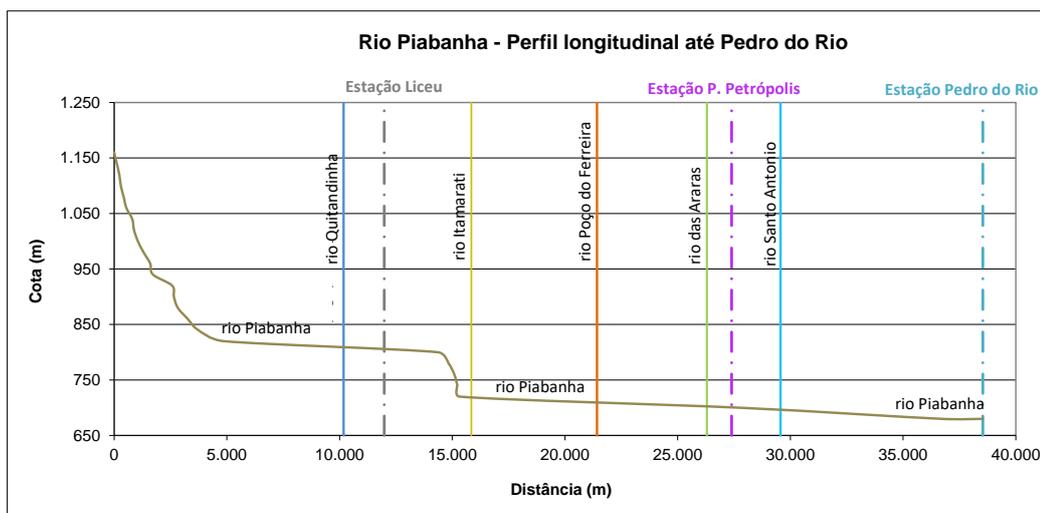


Figura 5.19: Perfil do rio Piabanha que é o caminho mais longo até Pedro do Rio Fonte: Adaptado de ARAUJO(2016).

A recuperação da qualidade da água do rio Piabanha entre Liceu e Pedro do Rio Petrópolis, como o aumento da concentração de OD, deve ocorrer, não só pelo aumento da vazão com a contribuição dos afluentes provenientes de bacias menos urbanizadas, mas também por aeração ao longo do trecho de maior declividade a partir dos 14km.

5.4. Regime hidrológico das sub-bacias

O regime hidrológico da bacia tem reflexo na distribuição das concentrações e cargas dos parâmetros, sendo fundamental o seu conhecimento para interpretação dos resultados da qualidade da água. O regime de chuvas e de vazões foi avaliado por sub-bacia monitorada. Os resultados das análises em gráficos e tabelas evidenciam as diferenças e semelhanças.

5.4.1. Regime pluviométrico na bacia representativa

Essa caracterização foi feita conforme descrito em 4.5.2, com base nos dados das estações pluviométricas de histórico mais longo na bacia, Petrópolis – Bingen; Itamarati, Rio da Cidade e Pedro do Rio.

Na Figura 5.20, as estações estão representadas em ordem decrescente de altitude, sendo possível ver a redução da pluviosidade com a diminuição da altitude. A visualização da precipitação total mensal média das quatro estações pode indicar o ano

hidrológico como tendo início em setembro de um ano, com o início do período chuvoso, e durando até agosto do ano seguinte (setembro-agosto).

O trimestre mais chuvoso seria novembro-dezembro-janeiro, na parte mais alta, e dezembro-janeiro-fevereiro no restante da bacia, variando assim entre esses quatro meses. O trimestre mais seco é junho-julho-agosto, quando chove, em média, menos de 100mm por mês. . Em toda a bacia, o mês mais úmido é janeiro e o mais seco é junho.

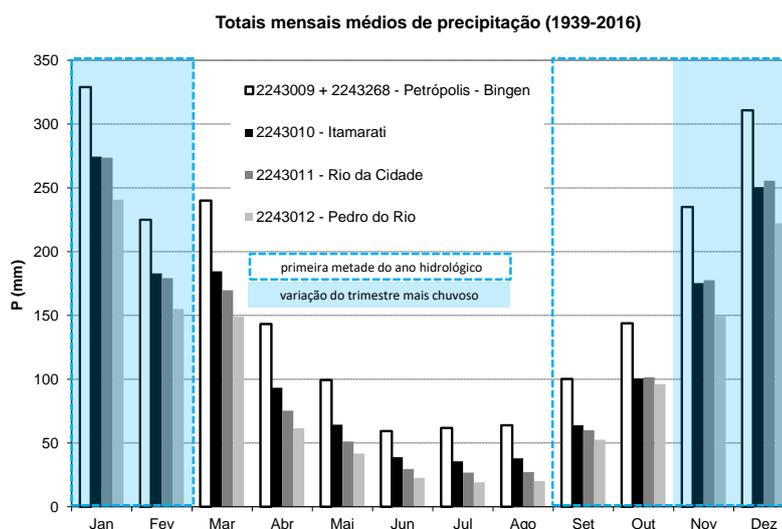


Figura 5.20: Regime de precipitações na bacia representativa do rio Piabanha. Fonte: adaptado de ARAUJO (2016).

A distribuição das séries das três estações permite comparar a variação da precipitação ao longo da bacia em termos de seus valores médios, medianos, máximos e mínimos já ocorridos ao longo dos anos hidrológicos do período 1939-2015 (Figura 5.21). Percebe-se uma diferença grande de pluviosidade entre as estações Petrópolis-Bingen e Pedro do Rio, não só em termos de valores médios e medianos, de 780mm, mas principalmente em relação aos valores máximos de precipitação, com diferença de 1200mm.

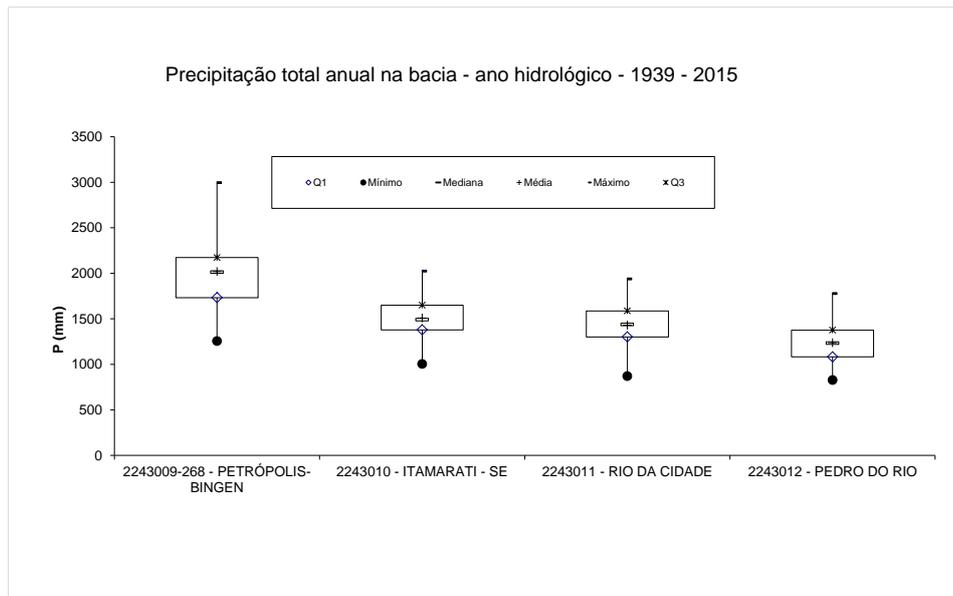


Figura 5.21: Distribuição das séries de precipitação do ano hidrológico entre 1939-2015.

Com a rede EIBEX e o apoio dos dados da rede INEA/RJ, foram construídas curvas de precipitação diária acumulada de 22 estações com dados no período comum 2012-2014 (Figura 5.22). Identificam-se, pelo menos, três conjuntos de estações que apresentam pluviosidade em índices bem distintos.

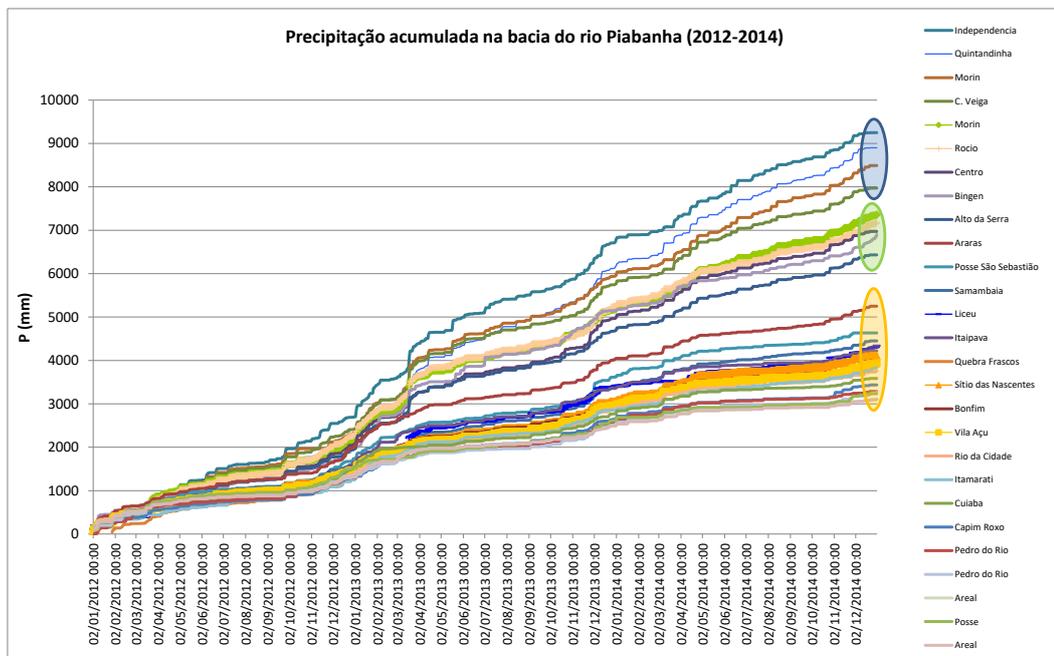


Figura 5.22: Precipitação diária acumulada (2012-2014) em 22 estações INEA/RJ e EIBEX. Fonte: adaptado de ARAUJO (2016).

Nas partes mais altas, acima dos 950m, junto aos divisores situados na Serra do Mar, que pode ser representada pela estação Quitandinha (INEA/RJ), a precipitação total anual média excede os 2500mm. Um segundo grupo apresenta precipitação anual média igual a 2000mm, representado pela estação Bingen. O terceiro grupo poderia ser subdividido em, pelo menos, outros três: o de maior pluviosidade, representado pela estação Araras; um de pluviosidade intermediária, representado por Itamarati/Rio da Cidade/Vila Açú; e outro representado por Pedro do Rio.

É possível identificar a magnitude do evento chuvoso de março de 2013 nos dois conjuntos de estações de maior pluviosidade (Figura 5.22). Esse evento foi muito localizado e catastrófico para a região urbana do município de Petrópolis, como descrito em ARAUJO *et al.* (2013), SILVA (2019) e SILVA *et al.* (2020), não atingindo o restante da bacia.

5.4.2. Séries de vazões observadas nas estações das sub-bacias

Como pode ser visto também no histograma de vazões mensais médias de longo período, em Pedro do Rio (Figura 5.23), o ano hidrológico na bacia compreende o período de setembro a agosto. As vazões ocorrem acima da média de dezembro a abril e abaixo da média de maio a novembro. O mês que apresenta as menores vazões, em média, é agosto. O regime de vazões segue a mesma distribuição anual da precipitação, com época de cheia começando em novembro e período de estiagem começando em abril.

São também mostradas a vazão média de cheia (Q_{MC}), que corresponde à vazão média máxima com período de retorno equivalente a 2 anos. Com valor calculado de 36,6 m³/s, ela é o triplo da vazão média de longo termo (Q_{MLT}), calculada em 12,0 m³/s. Quanto a vazões mínimas de referência, têm-se a vazão de 95% de permanência (Q_{95}), estimada em 3,44m³/s, que equivale a menos de 30% da Q_{MLT} , e a vazão mínima de duração de 7 dias com tempo de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$), por sua vez, estimada em 2,34 m³/s, que equivale a menos de 20% da Q_{MLT} .

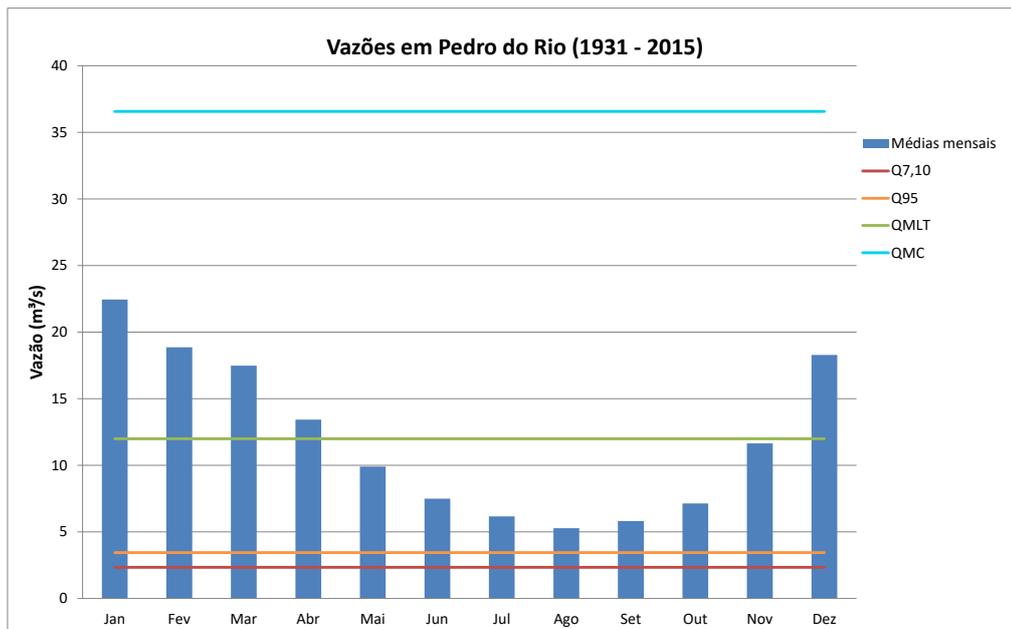


Figura 5.23: Histograma de vazões médias mensais do rio Piabanha em Pedro do Rio.

A comparação do regime de vazões nas cinco estações é feita por meio suas curvas de permanência, colocadas num só gráfico (Figura 5.24) e com os valores de suas vazões características apresentadas na Tabela 5.2

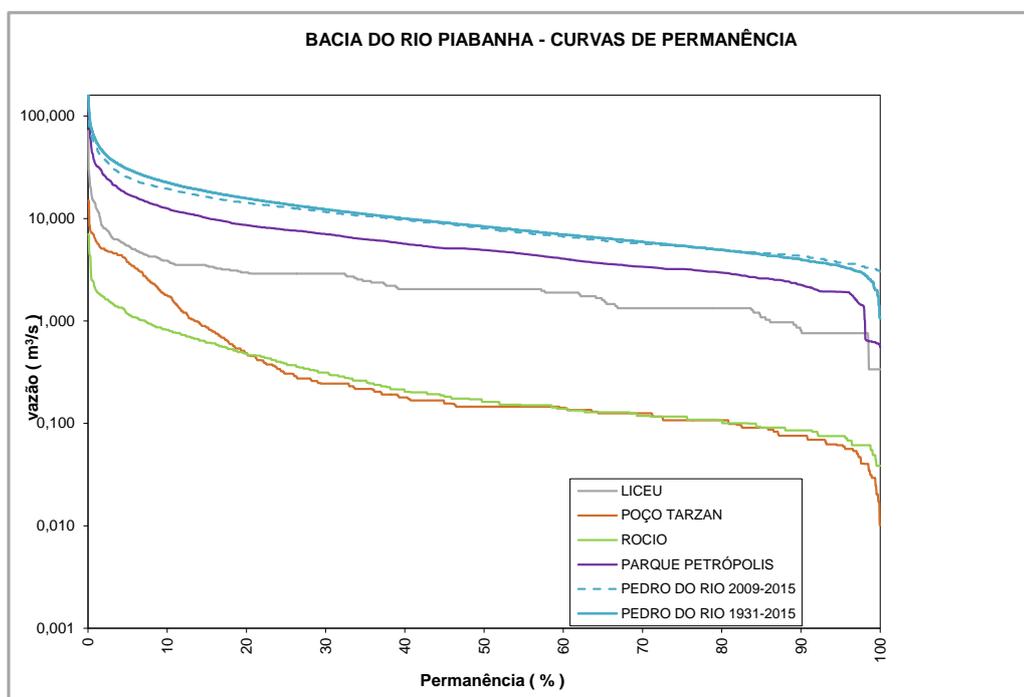


Figura 5.24: Curvas de permanência de vazões em estações da bacia representativa – 2009-2015.

As séries de vazão apresentam falhas de leitura em diversas estações no período 2009-2015. A estação Pedro do Rio é a que apresenta a série mais completa e também a mais longa. A Figura 5.24 mostra a sua curva de permanência para o período total 1939-2015 e também a do período 2009-2015. A maior diferença entre as duas está na região de vazões mínimas, com permanência acima de 75%. Nos demais trechos elas são semelhantes, inclusive no de vazões mais altas e menos frequentes, pois no período de estudo ocorreram diversos eventos de cheia na bacia até 2012-2013.

Percebe-se uma semelhança de forma nas curvas de Pedro do Rio, Parque Petrópolis e Liceu, esta em faixa de vazões em ordem de grandeza diferente das outras duas. Poço Tarzan e Rocio são semelhantes, das vazões medianas às mais baixas, já no trecho de vazões altas percebe-se que em Poço Tarzan acontecem vazões maiores com maior frequência, como pode ser visto na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Vazões características da curva de permanência (m³/s)- 2009-2015

Vazão	Liceu	Poço Tarzan	Rocio	P. Petrópolis	Pedro do Rio	P. do Rio toda
Q ₀₂	8,06	5,09	1,71	26,6	38,2	44,1
Q ₁₀	3,88	1,76	0,818	12,5	19,6	22,5
Q ₂₅	2,90	0,306	0,385	7,73	12,9	13,8
Q ₅₀	2,05	0,146	0,162	4,93	8,00	8,34
Q ₇₅	1,33	0,107	0,116	3,21	5,39	5,4
Q ₉₅	0,759	0,061	0,075	1,93	3,71	3,44

As assinaturas das curvas de permanência normalizadas, segundo a metodologia descrita em Yilmaz *et al.* (2008), foram calculadas e são apresentadas no conjunto de gráficos da

Figura 5.25. É possível perceber que as falhas prejudicam as comparações. No entanto, Liceu e Pedro do Rio, que têm menos falhas, confirmam a semelhança de regime em faixas diferentes de vazão e evidenciam o período de estiagem severa na região (2013-2015), quando foram mais baixas as vazões, tanto no período normalmente chuvoso como no normalmente de estiagem.

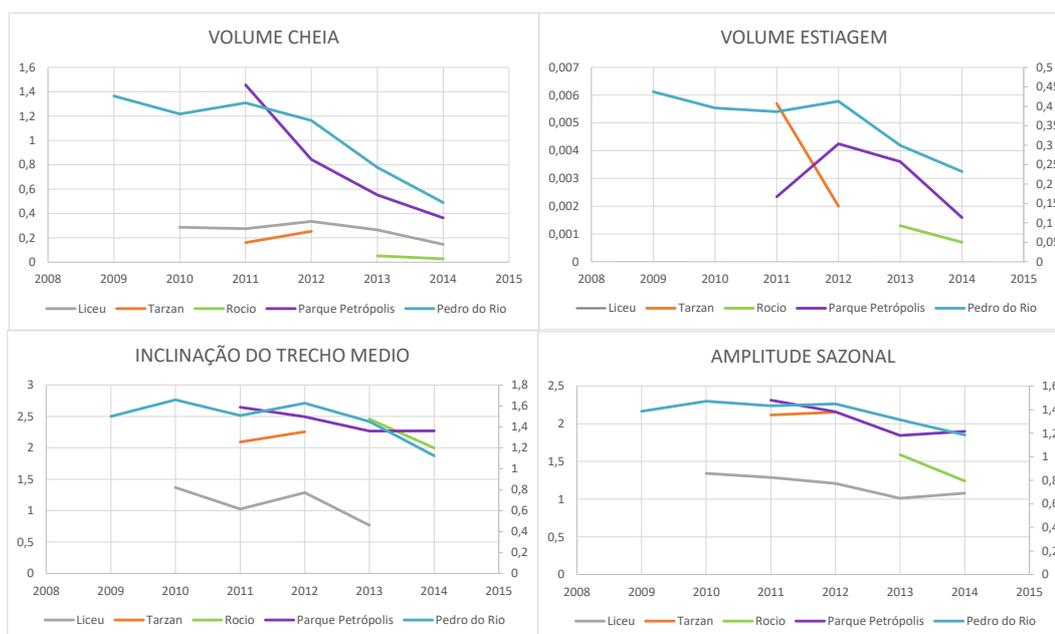


Figura 5.25: Assinaturas das curvas de permanência de vazões na bacia do rio Piabanha

5.4.3. Vazões nas estações durante as coletas de amostras e medições *in situ*

HOROWITZ (2013) pondera que, para abranger a faixa de variação da qualidade da água em um ponto e capturar os efeitos de vazões altas, as amostragens devem cobrir de 80 a 85% da faixa de variação da vazão anual no ponto e quantos eventos de vazão alta quanto possível.

As campanhas na bacia aconteceram em faixas de vazão não muito amplas, no entanto, a média dessas vazões, em cada estação, teve valor muito próximo da média da série de vazões diárias observadas na estação durante todo o período 2009-2015, como pode ser visto na Tabela 5.3 e na Figura 5.26

É interessante notar que os valores da vazão máxima diária observada em cada estação são muito superiores aos valores máximos das vazões do conjunto de coletas. Valores próximos dos picos de vazão nessas seções duram somente algumas horas por ano nessa bacia, além disso, por questões de segurança não são feitas coletas manuais durante eventos de cheia na bacia.

Tabela 5.3: Distribuição das vazões diárias (m^3/s) na série observada e dos dias das coletas

Estatísticas	Liceu		Poço Tarzan		Rocio		Parque Petrópolis		Pedro do Rio	
	série	coletas	série	coletas	série	coletas	série	coletas	série	coletas
Q₁	1,33	1,33	0,107	0,126	0,116	0,091	3,21	3,21	5,39	4,92
Mínimo	0,337	0,862	0,010	0,029	0,039	0,004	0,557	0,566	3,021	3,12
Mediana	2,05	2,05	0,146	0,204	0,162	0,128	4,93	4,51	8,00	7,52
Média	2,48	2,16	0,617	0,516	0,344	0,222	6,76	6,20	10,71	8,47
Máximo	71,6	5,51	15,0	4,56	7,04	0,864	182	36,4	179	24,2
Q₃	2,90	2,72	0,306	0,419	0,385	0,314	7,73	7,23	12,85	10,2

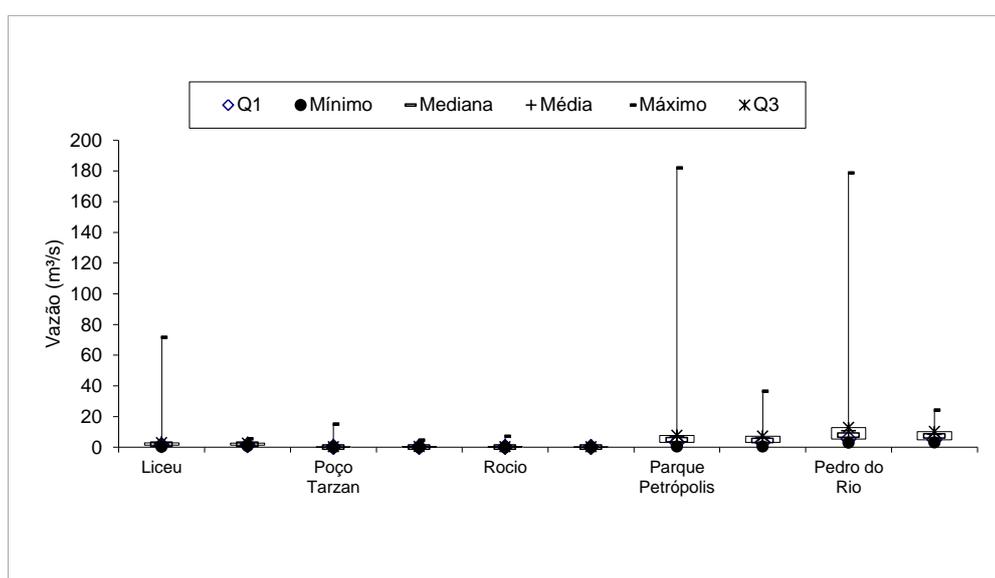


Figura 5.26: Distribuição das vazões diárias - média diárias - e dos dias das coletas.

As vazões específicas médias nas sub-bacias, considerando as séries diárias observadas em todo o período 2009-2015 e os dias das coletas em todo o período, são apresentadas na Figura 5.27. Pode-se ver que as médias dos dias de coletas são valores inferiores aos das médias diárias de todo o período, porque em geral não foram feitas em dias de cotas mais altas, mas acompanham as médias das respectivas séries. A vazão específica média em Liceu é a mais alta, coerente com o fato de ser a bacia de maior pluviosidade, seguida por Poço Tarzan, Rocio, Parque Petrópolis e Pedro do Rio, nesta ordem.

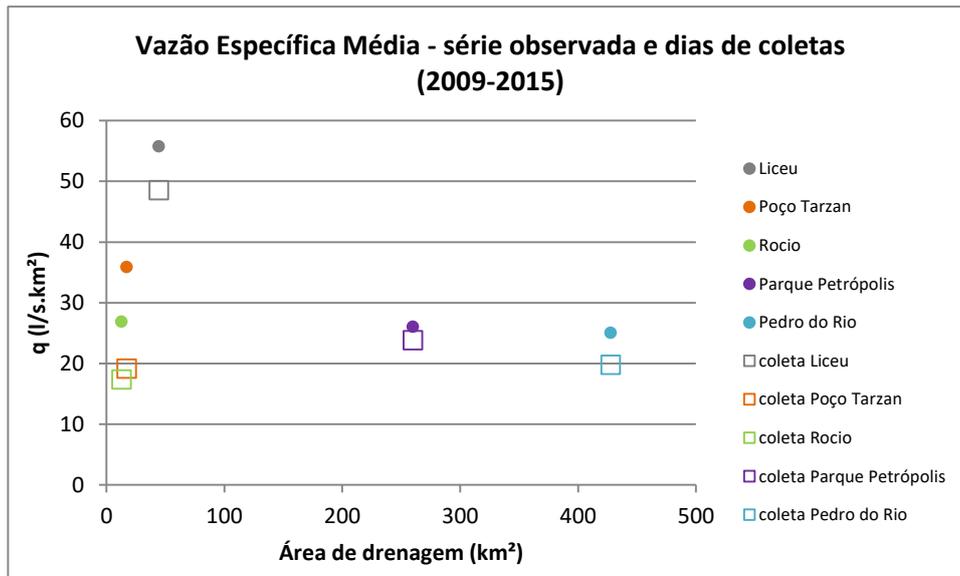


Figura 5.27: Vazões específicas médias ao longo da área de estudo – bacia representativa.

5.5. Análise conjunta das vazões nas coletas e das concentrações dos parâmetros

A comparação das faixas de vazão das coletas com as séries diárias observadas no período 2009-2010 é apresentada no item 5.4.3 em especial com a Figura 5.26.

As concentrações dos parâmetros em cada sub-bacias foram avaliadas em conjunto com as vazões das coletas em gráficos de dispersão, eixo das vazões em escala logarítmica para melhor visualização, com linha de tendência adicionada e o coeficiente de determinação R^2 associado.

Com o aumento da vazão: a concentração de OD aumenta em Liceu, mas não para o restante das estações (Figura 5.28); a concentração de Al aumenta em Rocío, Parque Petrópolis e Pedro do Rio (Figura 5.29); a concentração de Zn aumenta em Liceu e Rocío (Figura 5.30); a concentração de PO₄ diminui em todas as seções (Figura 5.31); a concentração de SO₄ diminui em Liceu, Parque Petrópolis e Pedro do Rio (Figura 5.32); a turbidez aumenta em todas as seções (Figura 5.33).

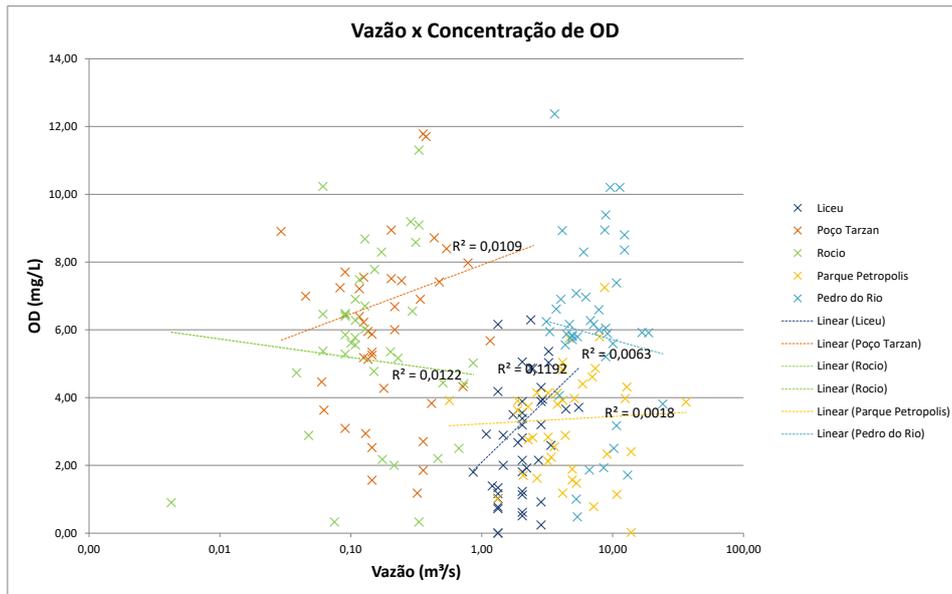


Figura 5.28: Dispersão entre valores de vazão nas coletas e concentração de OD.

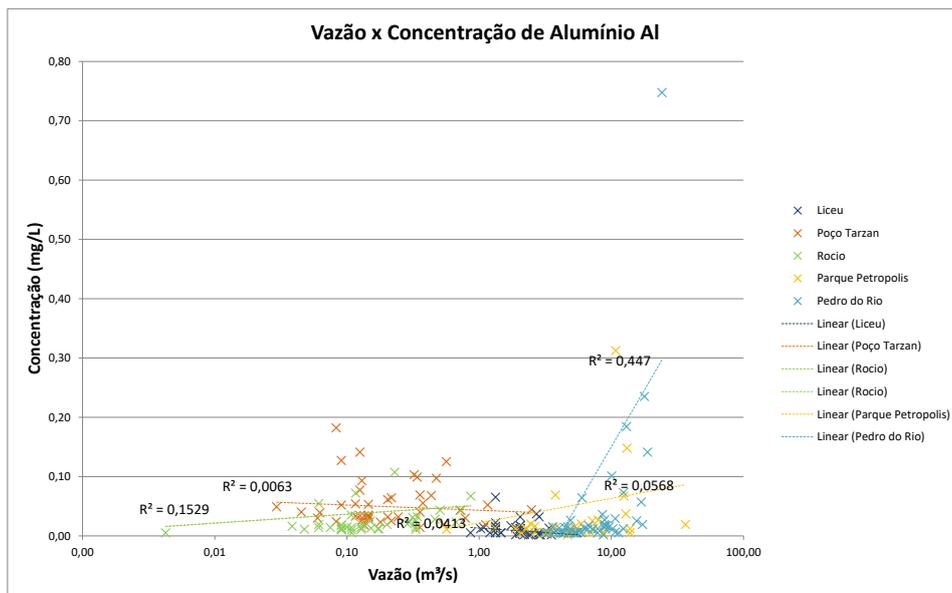


Figura 5.29: Dispersão entre valores de vazão nas coletas e concentração de Al.

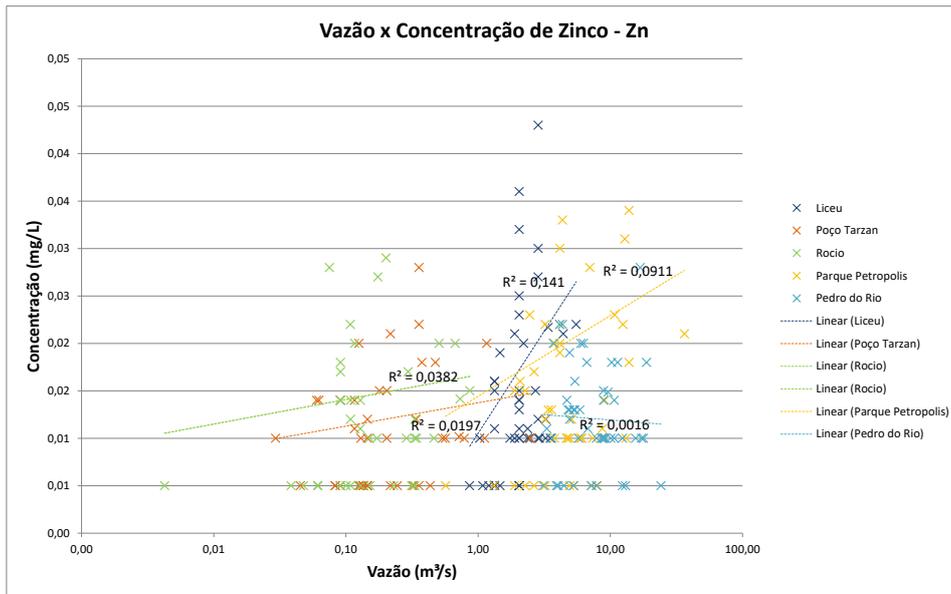


Figura 5.30: Dispersão entre valores de vazão nas coletas e concentração de Zn.

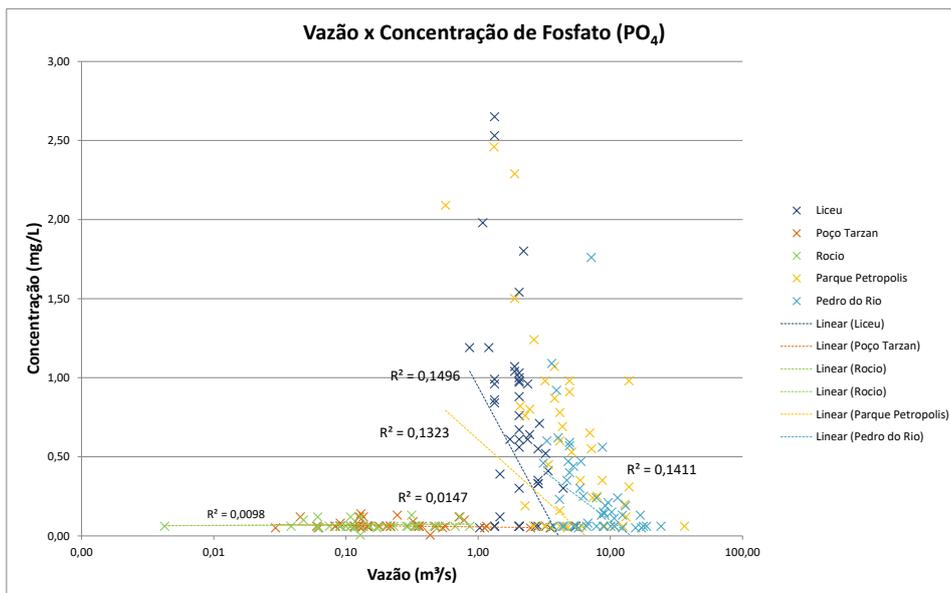


Figura 5.31: Dispersão entre valores de vazão nas coletas e concentração de PO₄.

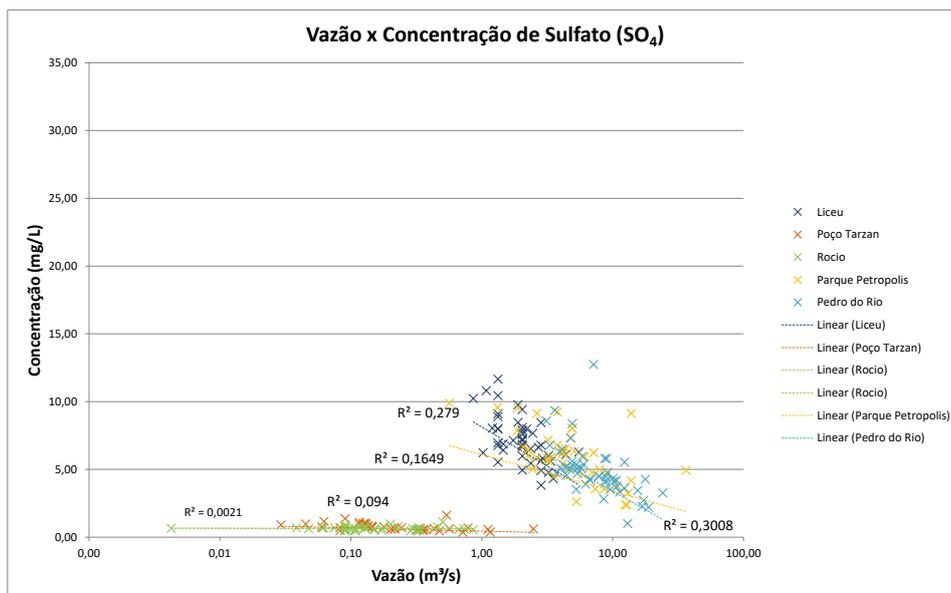


Figura 5.32: Dispersão entre valores de vazão nas coletas e concentração de SO_4 .

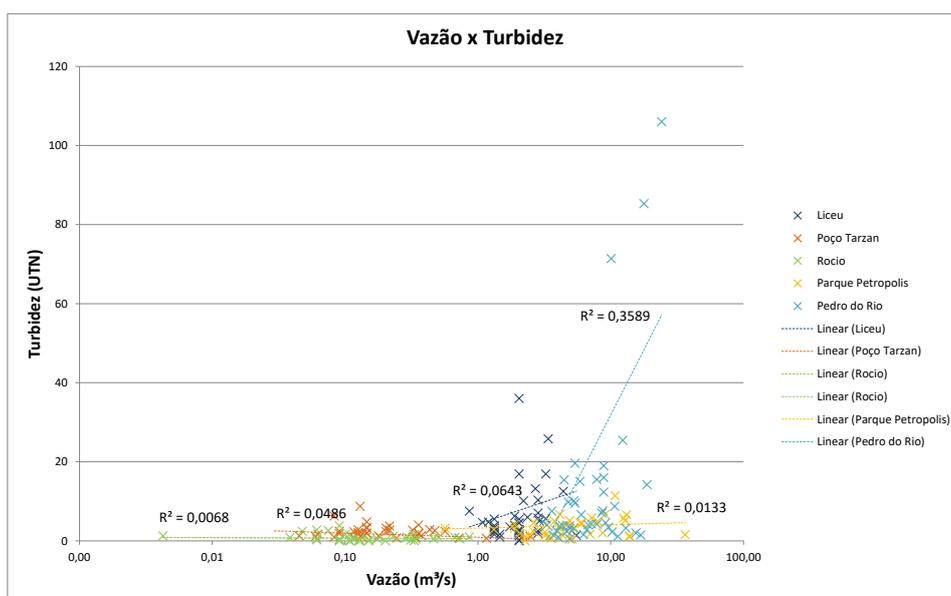


Figura 5.33: Dispersão entre valores de vazão nas coletas e a turbidez.

Foi observado também, porém sem apresentar os gráficos, que com o aumento da vazão: a concentração de DBO aumenta, mais expressivamente, em Parque Petrópolis; a concentração de DQO diminui em Liceu, Poço Tarzan e Rocío e aumenta em Parque Petrópolis e Pedro do Rio, mas com baixíssima correlação; a concentração de Fe diminui em Liceu e aumenta em Rocío, Parque Petrópolis e Pedro do Rio; a concentração de NO_3 diminui em Pedro do Rio; a concentração de NH_4^+ diminui, mas

com baixíssima correlação; a concentração de sólidos em suspensão aumenta em Liceu e diminui nas demais, mas com baixíssima correlação.

Em sua maioria, essas observações relativas à variação das concentrações com as vazões são coerentes com o que se espera de parâmetros de fontes pontuais e de parâmetros de fontes não pontuais ou difusas. Uma vez que, a concentração aumenta com o aumento da vazão, é provável que venha de fonte difusa, pois, quando chove na bacia, mais do parâmetro é carregado para o rio, embora com o aumento da vazão a concentração não aumente como esperado. Se a concentração do parâmetro diminui com o aumento da vazão, é provável que tenha origem pontual, pois a liberação acontece independente da chuva e, com o aumento da vazão, há diluição do parâmetro.

5.6. Estimativa das cargas

Foram estimadas as cargas e as cargas específicas relativas a onze dos doze parâmetros apresentados no item 5.3, para cada uma das cinco estações selecionadas. Os parâmetros considerados foram: oxigênio dissolvido (OD); demanda bioquímica de oxigênio (DBO); demanda química de oxigênio (DQO); alumínio (Al); ferro (Fe); zinco (Zn); nitrato (NO_3); nitrogênio amoniacal (NH_4^+); fosfato (PO_4); sulfato (SO_4); e sólidos em suspensão.

HOROWITZ (2013), sintetizando o mencionado por outros autores, afirma que, em condições de baixa vazão fluvial, há o predomínio das fontes pontuais e da contribuição do escoamento subterrâneo sobre a própria vazão e a qualidade de água, ao passo que, em condições de vazão fluvial alta, tanto a vazão quanto a qualidade de água são dominadas pelas fontes não pontuais de parâmetros.

As cargas dos parâmetros foram estimadas quanto à sua média anual e às médias do período chuvoso e do período de estiagem, assim considerados: período chuvoso – campanhas dos seis primeiros meses do ano hidrológico, isto é, apenas aquelas dos meses de setembro a fevereiro, e para o de estiagem, considerando apenas as campanhas dos meses de março a agosto, a cada ano. Foram então calculadas as cargas médias de cada período, chuvoso e de estiagem, em todos os anos. A distribuição das 50 campanhas de coletas pelos respectivos períodos é apresentada na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Distribuição do número de campanhas realizadas entre 2009-2015

Ano	Set-Fev	Mar-Ago	Total
2009	4	1	5
2010	2	2	4
2011	1	3	4
2012	2	3	5
2013	5	5	10
2014	6	6	12
2015	4	6	10
Total	24	26	50

Os resultados das cargas e cargas específicas são apresentados na forma de gráficos de barras com legenda de cores representando os valores em cada estação, e ao longo dos anos. Os gráficos são apresentados e comentados, por parâmetro, em conjunto de quatro painéis: A - carga média anual; B - carga média anual específica; C - carga média do período chuvoso específica; e D - carga média do período de estiagem específica. Para interpretação dos resultados, vale ressaltar que o período de 2013 a 2015 foi de estiagem severa na região. É preciso ter em conta que para alguns anos ou período, chuvoso ou de estiagem, as cargas não puderam ser obtidas em algumas estações, seja por falta de determinação da concentração ou da vazão. Algumas amostras de algumas estações não tiveram todos os parâmetros do conjunto analisados. Poço Tarzan esteve sem régua linimétrica ao longo de 2010 e Liceu não teve leitura de régua no período de estiagem de 2010. Portanto faltaram os valores de vazão para o cálculo das cargas nessas estações nesses períodos.

5.6.1. Oxigênio dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido é o oxigênio molecular (O_2) dissolvido na água. Sua concentração nos cursos d'água depende da temperatura, da pressão atmosférica, da salinidade, das atividades biológicas, de características hidráulicas (existência de corredeiras ou cachoeiras) e, de forma direta, de interferências antrópicas, como lançamento de efluentes nos cursos d'água (CPRM, 2007). Do painel A da Figura 5.34, percebe-se que a carga média anual de OD diminuiu de 2012 a 2015, acompanhando a queda das vazões do período de estiagem severa da região (2013-2015) mencionado no item 5.4.2. As cargas específicas de OD mostram que as estações de Rocio e Poço Tarzan possuem valores expressivos do parâmetro, coerente com os trechos encachoeirados do rio Bonfim e do Rio da Cidade, respectivamente. Percebe-se a

recuperação do OD entre Parque Petrópolis e Pedro do Rio. De um modo geral, as estações apresentam valores mais altos no período de estiagem. Esse fato pode ser justificado pelo fato da massa de matéria orgânica nos rios, responsável pelo consumo de OD, receber grande contribuição da poluição difusa carregada pela lavagem da superfície da bacia durante os eventos chuvosos, inclusive para a bacia experimental de mata preservada. Já na estiagem tem-se uma representatividade significativa das outras estações, levando-se em conta que a estação da área urbana apresenta uma concentração de cargas elevada. Por outro lado, sabe-se que as maiores vazões do período chuvoso facilitam a oxigenação dos cursos d'água, pois há um aumento do turbilhonamento das águas gerando aeração, o que explicaria os valores mais altos das cargas em algumas estações, para alguns anos, no período chuvoso.

A adequada provisão de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e em estações de tratamento de esgotos. Os níveis de OD indicam a capacidade de um corpo d'água em manter a vida aquática.

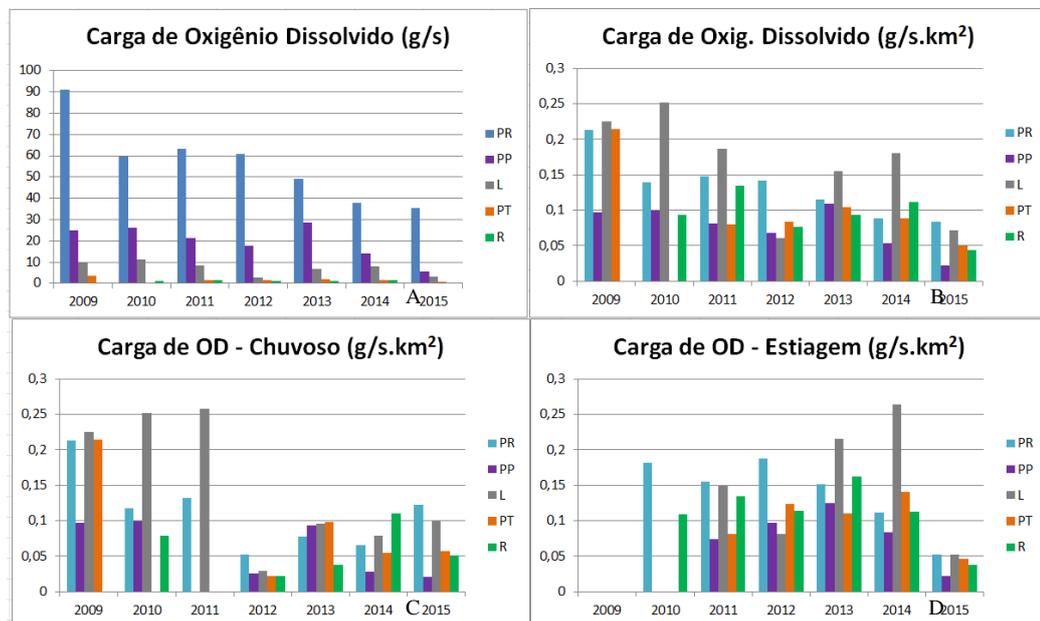


Figura 5.34: Carga média de OD anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.

5.6.2. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A DBO está diretamente ligada à matéria orgânica presente no meio hídrico, provocando o desaparecimento e morte de espécies e desequilíbrio do sistema (MARTINS, 2015). Conforme CETESB (2020b), a DBO é a quantidade de oxigênio consumido durante determinado período de tempo à temperatura de incubação específica para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia. PIVELI e KATO (2005) mencionam que a DBO é o parâmetro fundamental a ser medido para o controle da poluição das águas por matéria orgânica. Os resultados de cargas médias de DBO (Figura 5.35) mostram que esse parâmetro é mais alto nas áreas urbanas e agrícolas, onde há maior presença de compostos orgânicos gerados por poluições pontuais e difusas. Como já esperado, as maiores cargas ocorrem na estação Liceu, representante da bacia urbana, com diminuição a partir de 2012.

As cargas no período chuvoso e de estiagem apresentam comportamento similar, provavelmente, porque as cargas de esgotos são lançadas no corpo hídrico de maneira contínua ao longo do ano, com valores um pouco mais elevados no período de estiagem, em que há menor diluição. No período chuvoso, com os níveis mais altos, há uma aceleração da degradação da matéria orgânica. Vale ressaltar, que a presença de carga alta de DBO na estação Rocio (2011) não era esperada por ser tratar de uma área de mata preservada. Entretanto, é possível observar a presença da classe de uso “mosaico de agricultura e pastagem” (com percentuais em torno de 1%) na região que pode ser responsável por essa situação. Por outro lado, recomenda-se verificar se houve algum problema com lançamento de esgotos de alguma residência a montante do ponto de coleta ou algum problema de mau-funcionamento de fossas para o descarte doméstico.

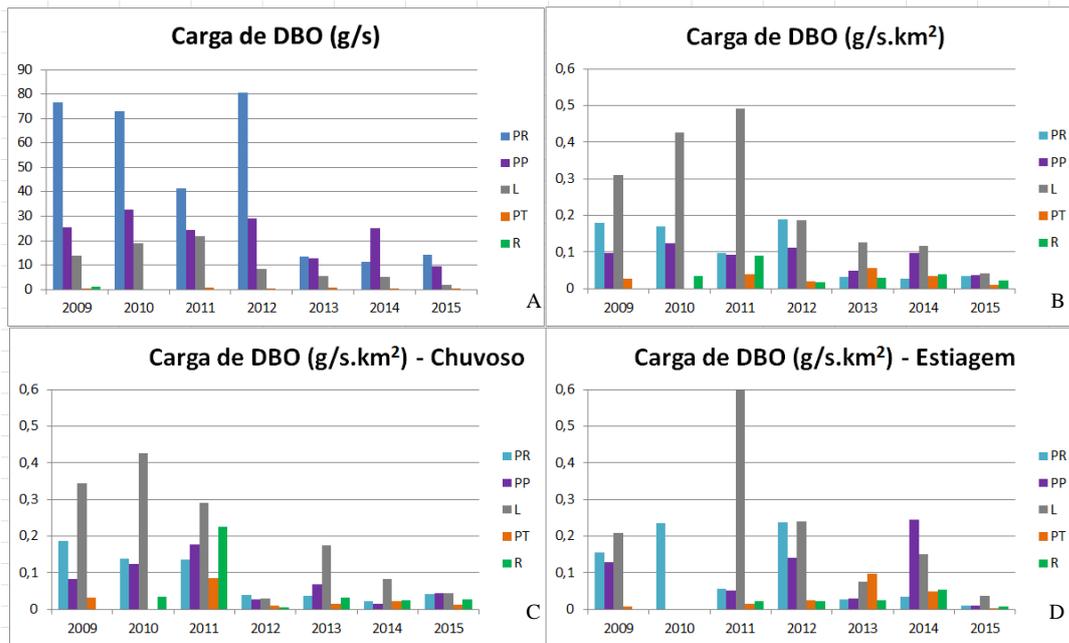


Figura 5.35: Carga média de DBO anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.

5.6.3. Demanda química de oxigênio (DQO)

A DQO é definida como quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um processo de oxidação química em que se emprega o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) nesse processo, o carbono orgânico de um carboidrato é convertido em gás carbônico e água. A elevação da concentração de DQO num corpo d'água é ocasionada, na maioria das vezes, por despejos de origem industrial. A DQO é um parâmetro indispensável nos estudos de caracterização de efluentes sanitários e de efluentes industriais. A DQO é muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO para observar a biodegradabilidade de despejos. Sabe-se que o poder de oxidação do dicromato de potássio é maior do que o que resulta da ação de microrganismos, exceto em raríssimos casos como os de hidrocarbonetos aromáticos e piridina. Em geral, para efluentes com relação DQO/DBO de até 3/1, pode-se recomendar tratamento biológico, pois tem fração biodegradável alta (CETESB, 2020b).

Os resultados apresentados nas concentrações de cargas de DQO podem ser observados na Figura 5.36. Novamente, a estação Liceu apresenta os maiores valores de carga específica ao longo do ano. É possível observar comportamentos bem parecidos entre os parâmetros DBO e DQO para todas as situações demonstrando que os valores

de DQO são bem elevados, em relação aos de DBO, mais do que o triplo, significando que os efluentes não são de origem exclusivamente doméstica.

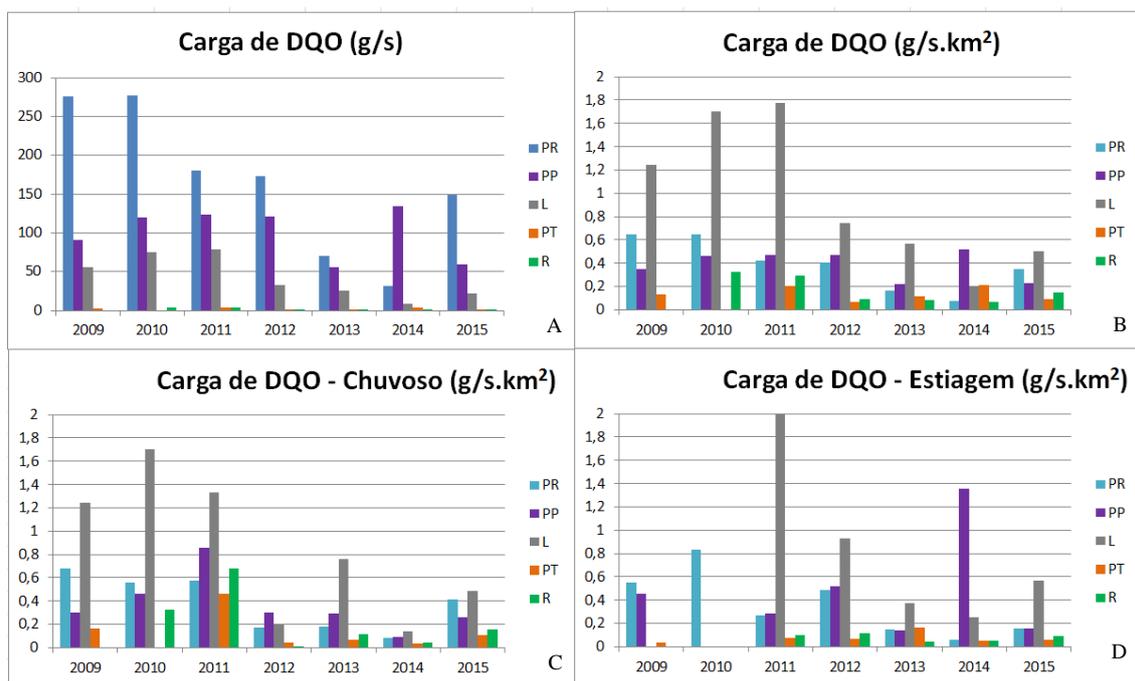


Figura 5.36: Carga média de DQO anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.

5.6.4. Alumínio (Al)

O Alumínio é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, embora raramente seja encontrável solúvel na água naturalmente em concentrações acima de alguns décimos ou centésimos de mg/L (HEM, 1985). Considerado o principal constituinte de um grande número de componentes atmosféricos, o alumínio está presente nas rochas minerais, no solo, no ar, na água podendo ser de origem natural ou antrópica. Ele pode atingir a atmosfera como material particulado por meio da suspensão de poeiras dos solos e também da combustão do carvão (CETESB, 2020b). Segundo GONÇALVES (2009) e CETESB (2020b), na água, o alumínio é complexado e influenciado por pH, temperatura, presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes.

Nas análises das cargas de Al (Figura 5.37 A), observam-se valores maiores de carga média anual em Pedro do Rio, seguidos pelos de Parque Petrópolis. Na Figura 5.37 B, vê-se que a carga anual específica em Parque Petrópolis é superior às das demais bacias, na maior parte dos anos. A Figura 5.37 C mostra que a carga de Al é

influenciada pelas chuvas, pois no período chuvoso os valores são superiores por toda a bacia, em especial, em Poço Tarzan, e conseqüentemente em Parque Petrópolis e Pedro do Rio. Na Figura 5.37 D, percebe-se que no período de estiagem as cargas de Al variam em faixa três vezes menor que a do período chuvoso, e que a carga em Liceu é mais expressiva.

Os resultados demonstram que o alumínio é encontrado em todas as estações, mas com uma representatividade destacada na estação Poço Tarzan, localizada na área agrícola da bacia. Áreas agrícolas costumam realizar a correção do solo para reduzir o alumínio que é tóxico. De acordo com VILLAS BOAS (2011), a bacia agrícola apresenta níveis mais altos, provavelmente, pelo solo da região ser muito rico desse metal, solo originário de granito (rocha ígnea, com teor substancial de Al - HEM, 1985) e pelo fato, de ficar mais exposto, sendo carregado para o rio, principalmente por meio das chuvas. Os anos de 2013 e 2014 tiveram valores de cargas menores em toda a bacia, possivelmente, pelos menores índices pluviométricos. É um parâmetro típico de fonte não pontual e deve aumentar sua carga no início das chuvas.

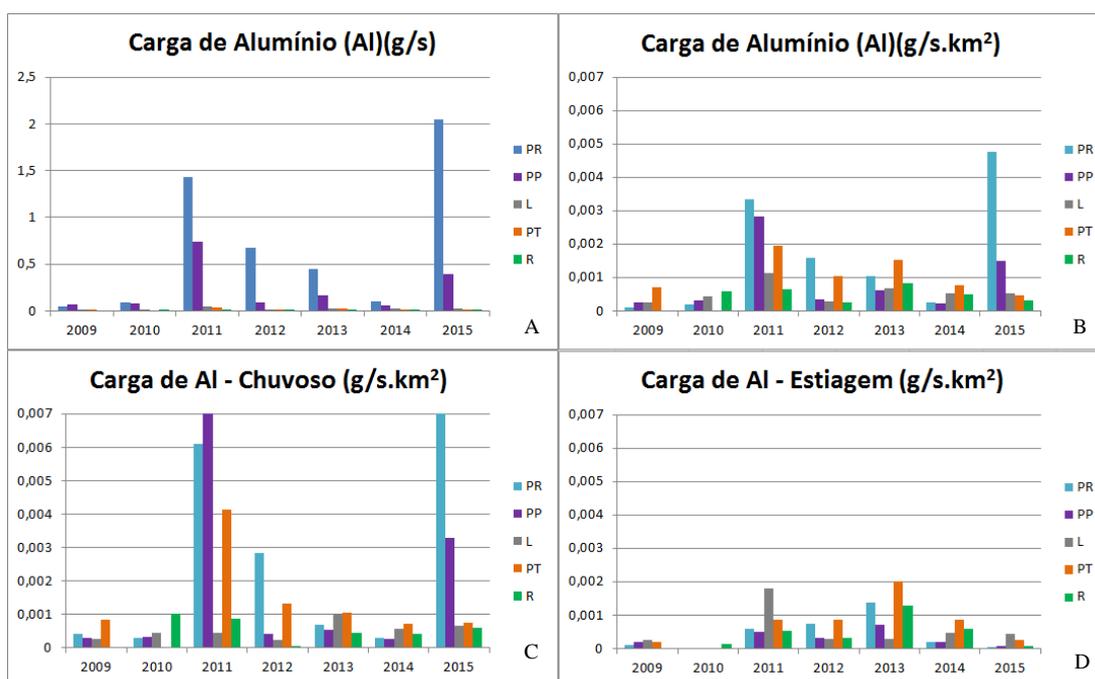


Figura 5.37: Carga média de Alumínio (Al) anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.

5.6.5. Ferro (Fe)

O Fe é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, mas sua presença na água natural é pequena. É relativamente alta sua presença em minerais de rochas ígneas (HEM, 1985). A função do ferro é essencial na fotossíntese, e é um nutriente de crescimento para fitoplânctons. LEE (1999) destaca como as mais importantes funções do Fe nos organismos vivos: transporte de oxigênio nos mamíferos, transporte de elétrons em plantas e animais, armazenamento de oxigênio e como componente de enzimas fixadoras de nitrogênio das bactérias. Embora não represente danos aos organismos seu excesso na água pode manchar roupas na lavagem e criar incrustações nas tubulações de abastecimento (CETESB, 2020b). As fontes de Ferro podem ser a lixiviação do solo ou as águas residuais industriais/domésticas (SIMEONOVA *et al.*, 2003, SELLE *et al.*, 2013)

A Figura 5.38 apresenta os resultados de carga do parâmetro Ferro. É possível perceber que sua presença é mais expressiva na área urbana e nas estações de controle, e tem alguma representatividade na área preservada. A maior carga relativa de Fe em Rocio poderia estar associada à geologia da bacia onde, diferentemente do restante da região, há a presença de Granodiorito (rocha também ígnea), conforme o mapa geológico da bacia originário de RADAM BRASIL (1983), apresentado em ARAUJO (2016). As maiores cargas do ferro são encontradas durante o período chuvoso para Parque Petrópolis e Pedro do Rio, enquanto para as estações Liceu, Rocio e Poço Tarzan observa-se menor variação de comportamento entre os dois períodos.

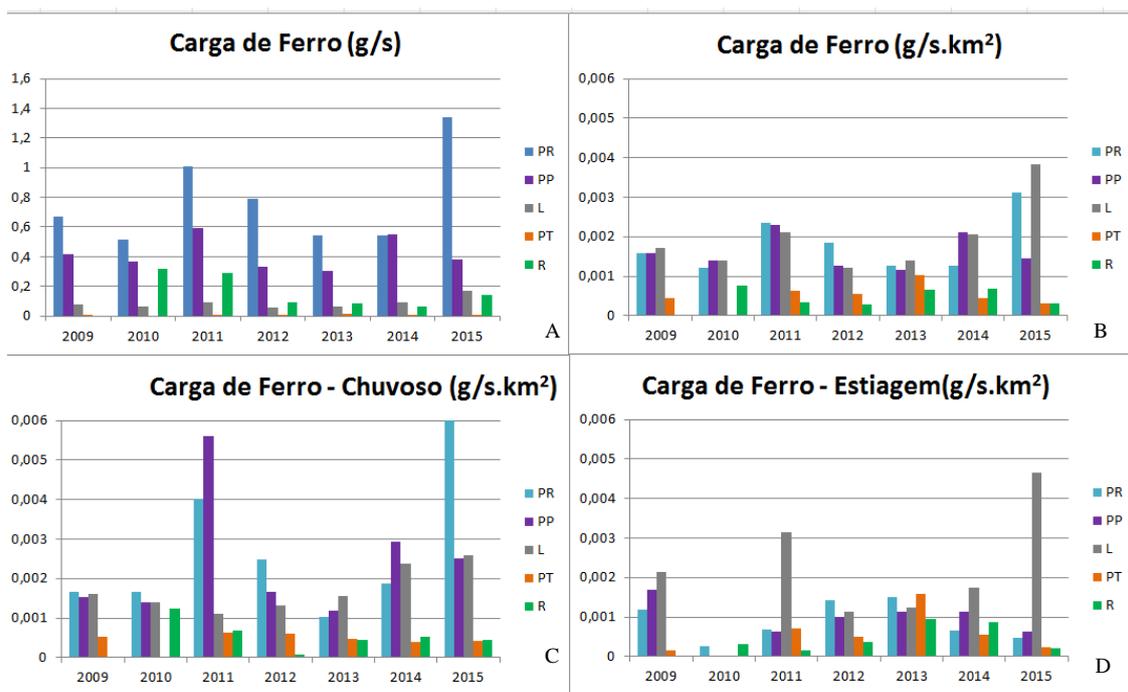


Figura 5.38: Carga média de ferro (Fe) anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.

5.6.6. Zinco (Zn)

O zinco é essencial ao corpo humano para a atividade da insulina e para outros compostos enzimáticos, em pequenas quantidades. Sua presença é comum nas águas superficiais e está associada a fontes antropogênicas, em especial: efluentes domésticos, eliminação e incineração de resíduos, fertilizantes e agrotóxicos contendo zinco (CETESB, 2014). É usado na fabricação de ligas, como latão, galvanização do aço, na borracha como pigmento branco, suplemento vitamínico, protetor solar, desodorante, xampus (CETESB, 2020b). O uso diversificado e a fácil dissolução determinam a sua disseminação, que tem aumentando com a industrialização (HEM, 1985). É encontrado na natureza principalmente sobre a forma de sulfetos, associado ao chumbo, prata e ferro (SANTOS J. F., 2009).

As cargas de zinco podem ser vistas na Figura 5.39A. Os valores anuais são maiores em Parque Petrópolis e Pedro do Rio. Já os de carga específica são mais expressivos na área urbana, em razão da vazão específica de Liceu ser mais alta, uma vez que as concentrações são semelhantes por toda a bacia, como pode ser visto na Figura 5.12. No período chuvoso, as cargas são maiores do que no período de estiagem, com exceção da estação Liceu onde continuam altos. Os lançamentos de efluente estão

mais presentes nessa parte da bacia, fontes pontuais do parâmetro que não se alteram com as chuvas. Em Poço Tarzan os valores são maiores no período chuvoso, pois lá sua fonte, provavelmente, é difusa com o uso de agrotóxicos na lavoura.

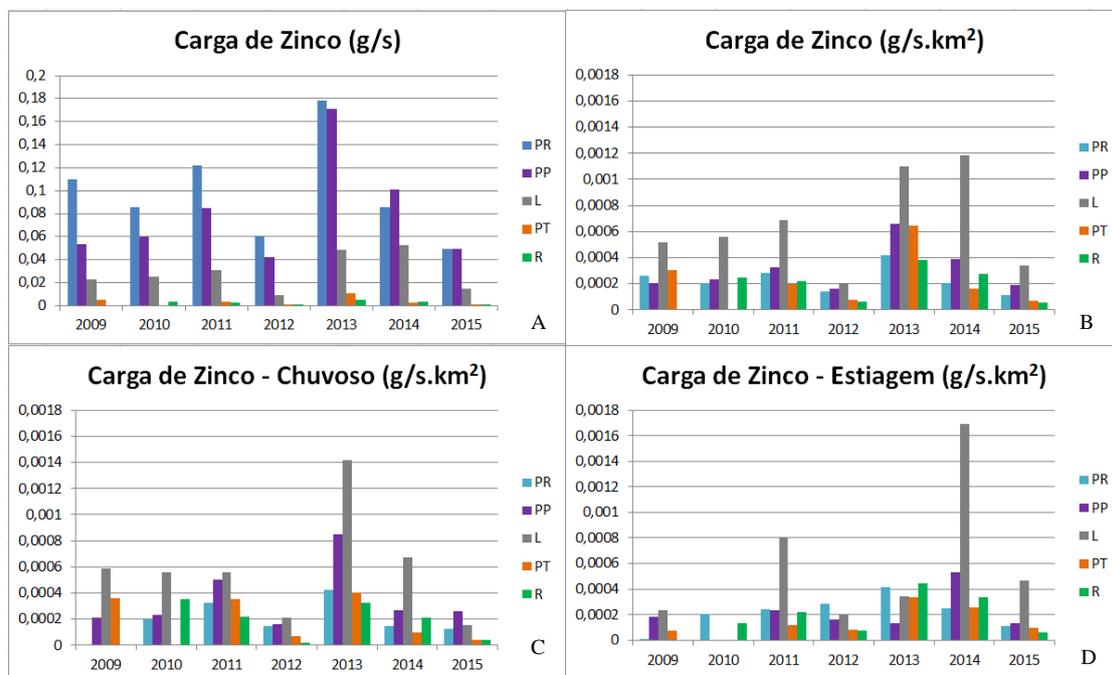


Figura 5.39: Carga média de zinco (Zn) anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.

5.6.7. Nitrato (NO₃)

O nitrogênio (N) pode ser encontrado na água, basicamente, sob as formas de: nitrogênio orgânico; nitrogênio amoniacal, que já sofreu decomposição por microrganismos heterotróficos; nitrito, forma intermediária, de curta duração, após a oxidação da amônia por bactérias; e nitrato, a forma oxidada a partir dos nitritos pelas bactérias (VON SPERLING, 2005). O NO₃ é a principal forma de N associada à contaminação da água pelas atividades agropecuárias (RESENDE, 2002). Embora de grande importância para a formação da biomassa vegetal e animal, podem tornar-se contaminantes químicos veiculados por vegetais e pelas águas superficiais ou subterrâneas, comprometendo sua qualidade para consumo humano (MONTEIRO, 2014). Os esgotos domésticos são, em geral, a principal fonte de nitrogênio orgânico proveniente das proteínas e de nitrogênio amoniacal pela hidrólise da ureia (CETESB, 2020b). Os resultados das cargas de NO₃ podem ser vistos na Figura 5.40. As médias

não variaram ao longo dos anos em Pedro do Rio. Provavelmente, as cargas específicas são altas em Poço Tarzan, pela agricultura, e em Liceu, por esgotos domésticos. Em Parque Petrópolis e Pedro do Rio são altas, possivelmente, por receberem a contribuição da área urbana e da área agrícola. No período chuvoso são maiores em Poço Tarzan, onde podem ser associados com a lavoura como fonte difusa. Em 2014, ano de pouca chuva em toda a bacia, a carga específica em Liceu permaneceu alta, em especial, no período de estiagem quando há menos diluição do poluente, que nessa bacia provém principalmente de fontes pontuais associadas a esgotos.

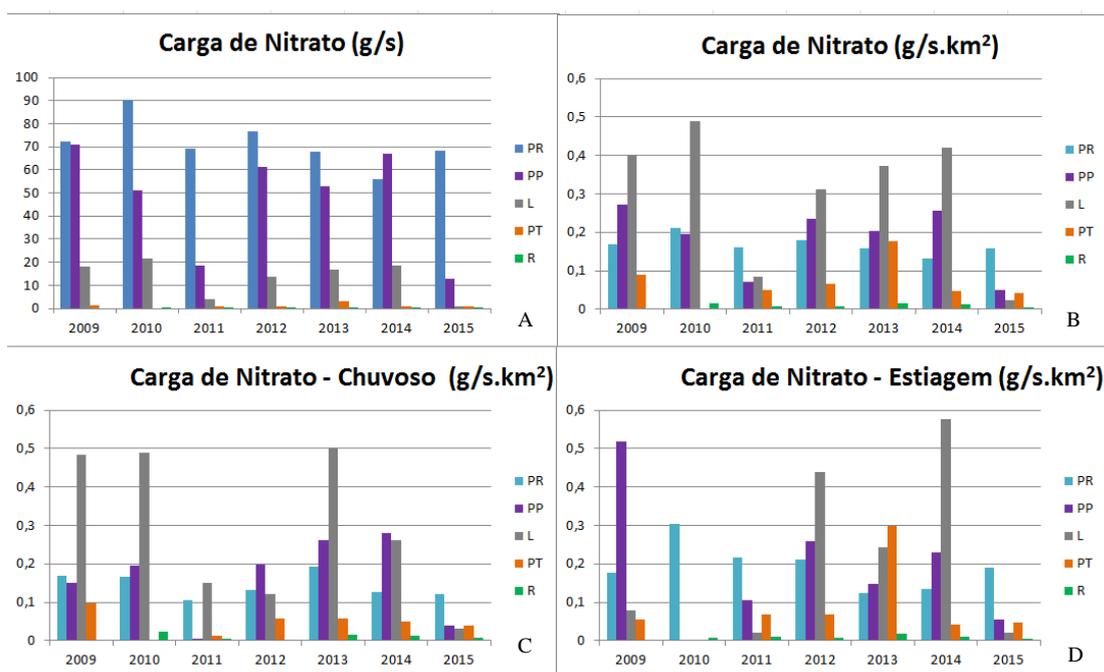


Figura 5.40: Carga média de nitrato (NO_3) anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.

5.6.8. Nitrogênio amoniacal (NH_4^+)

O NH_4^+ pode atuar como fator limitante da produção primária dos ecossistemas aquáticos e, em determinadas condições, torna-se tóxico para organismos aquáticos (PEREIRA e MERCANTE, 2005). Sua ocorrência se dá como produto da degradação de compostos orgânicos e inorgânicos do solo e da água, resultado da excreção da biota, redução do nitrogênio gasoso da água por micro-organismos ou por trocas gasosas com a atmosfera (FONSECA, 2017).

As cargas calculadas de NH_4^+ podem ser vistas na Figura 5.41. No caso desse parâmetro, é possível afirmar que a sua origem é eminentemente urbana, já que as

estações localizadas nas bacias experimentais de área preservada e agrícola, Rocio e Poço Tarzan, respectivamente, apresentam cargas médias anuais insignificantes. Conforme REIS e MENDONÇA (2009) mencionam, a amônia é, também, constituinte comum no esgoto sanitário, resultado direto de descargas de efluentes domésticos e industriais, da hidrólise da ureia e da degradação biológica de aminoácidos e outros compostos nitrogenados. As cargas entre o período chuvoso e o período de estiagem apresentam comportamento, de um modo geral, similar reforçando o aspecto pontual desse tipo de poluição que ocorre sem muita correlação com a precipitação.

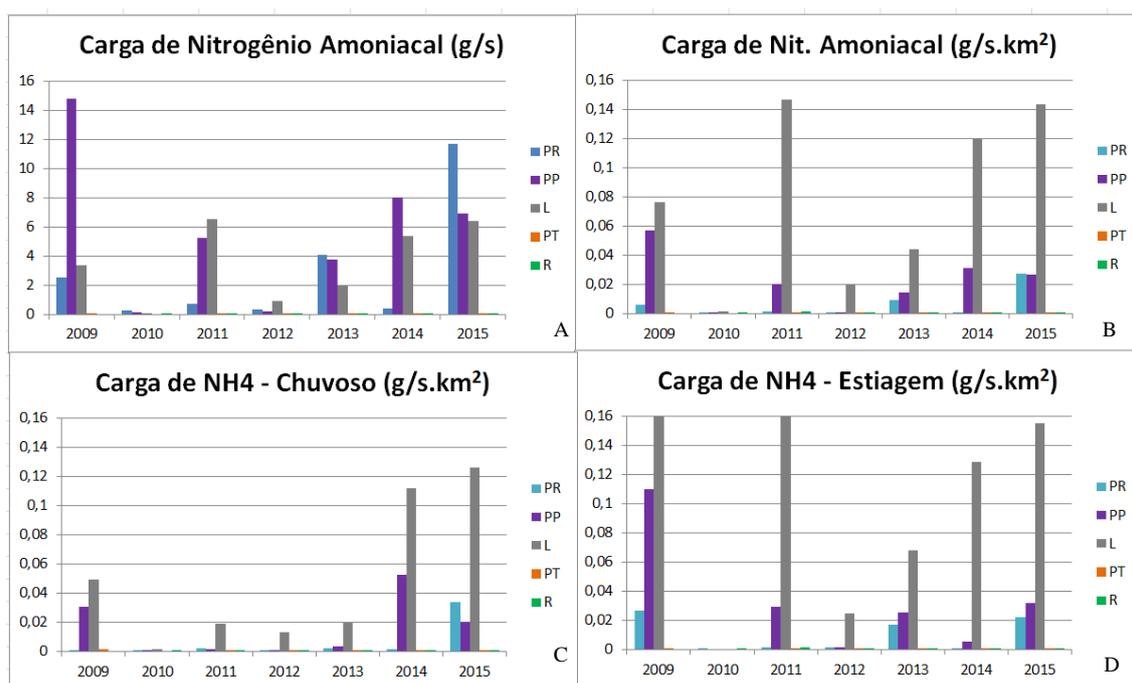


Figura 5.41: Carga média de nitrogênio amoniacal (NH_4^+) anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.

5.6.9. Fosfato (PO_4)

Segundo VASCONCELOS (2012), os fosfatos ocorrem em águas naturais onde há despejos domésticos. EMÍDIO (2012) cita que o PO_4 resulta da decomposição da matéria biológica e de minerais (rochas fosfatadas), sendo de origem antropogênica em terras agrícolas fertilizadas e por falhas no tratamento de águas residuais. A maior presença do parâmetro é na área urbana, como resultado da estabilização dos compostos orgânicos biodegradáveis. EMÍDIO (2012) cita que seu efeito na eutrofização das massas hídricas superficiais constitui um dos mais significativos problemas de planejamento e gestão dos recursos hídricos. SOUZA e FONSECA (2009) ressaltam

que o fosfato e seus compostos são muito ativos, mesmo a baixas temperaturas e que, por essas características, não é encontrado livre na natureza, e que o fósforo apresenta variadas aplicações, mas é na agricultura, sob a forma de fertilizante, a sua principal utilização. O fósforo surge em águas naturais, principalmente, proveniente de esgotos sanitários, pois a matéria fecal e os detergentes em pó de uso doméstico frequente constituem sua principal fonte (CETESB, 2020b). Por suas características difusas com origem agrícola, e também pontuais pela ausência de tratamento apropriado por parte de algumas estações de tratamento de água residuais. É um poluente de fontes pontuais e difusas.

Os resultados das cargas de fosfato podem ser observados na Figura 5.42. Há valores maiores desse parâmetro na área urbana, com impacto nas estações de controle, principalmente, em Parque Petrópolis. Seu comportamento varia do período chuvoso para o de estiagem, sendo sua carga maior em Poço Tarzan no período chuvoso, fonte difusa das lavouras, e maior na estiagem em Liceu, onde predominam as fontes pontuais com lançamentos de efluentes.

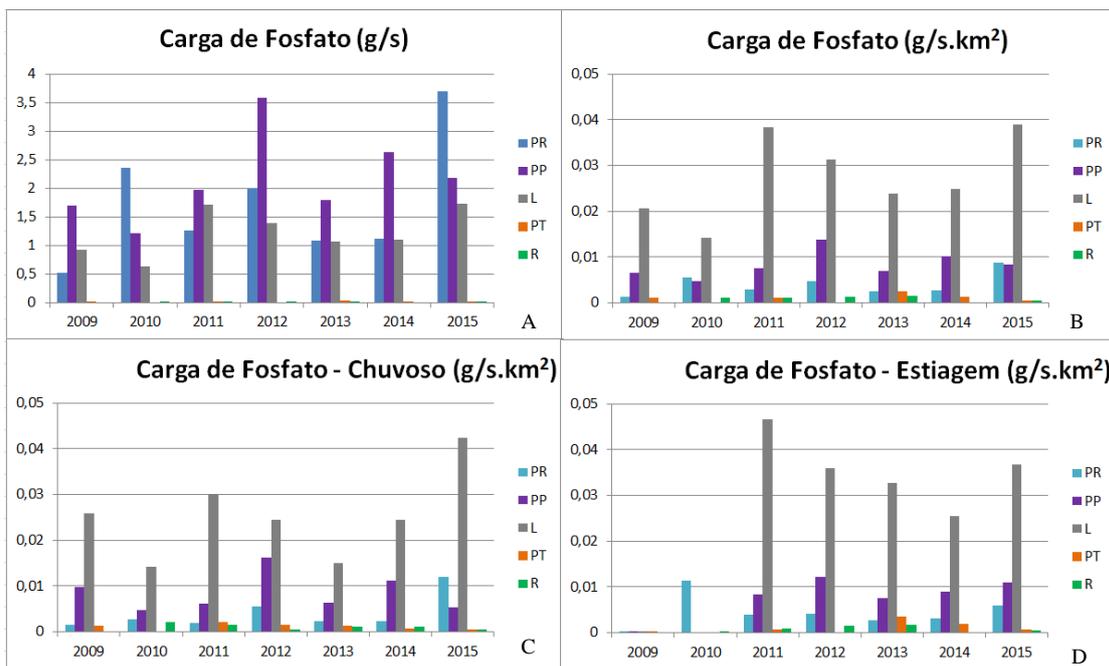


Figura 5.42: Carga média de fosfato (PO_4) anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.

5.6.10. Sulfato (SO₄)

O enxofre (S⁻) é um ânion de maior abundância na natureza. É encontrado em quatro estados de oxidação que se transformam entre si, sulfeto, enxofre elementar, sulfito, sulfato (RIEHL *et al.*, 2013). O sulfato nas águas superficiais é proveniente de descargas de esgotos domésticos e industriais (PIVELI; KATO, 2005). Os maiores valores do parâmetro ocorrem na área urbana por estabilização dos compostos orgânicos biodegradáveis. Segundo RIEHL *et al.* (2013), na rede de esgoto, em trechos de baixas declividade ocorre o depósito da matéria orgânica e o sulfato pode ser transformado em sulfeto, resultando problemas de corrosão dos coletores de esgotos. Na Figura 5.43 pode ser observado que as cargas de SO₄ pouco variam ao longo dos anos. São expressivas em Liceu, com valores um pouco maiores no período de estiagem, quando há menor diluição, em relação ao chuvoso na maior parte dos anos, comportamento típico de poluente de fontes pontuais, no caso lançamento de esgotos domésticos. Os valores de carga média nas estações Rocio e Poço Tarzan são muito menores apoiando essa interpretação.

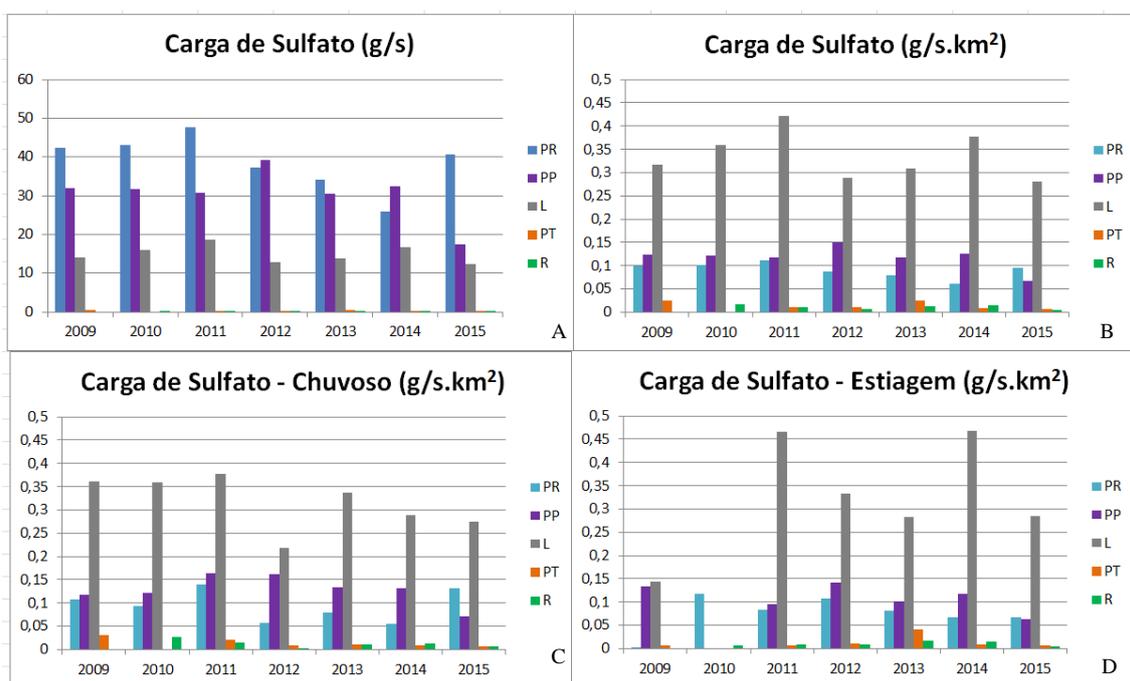


Figura 5.43: Carga média de sulfato (SO₄) anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.

5.6.11. Sólidos em Suspensão

Os sólidos totais representam a soma dos sólidos dissolvidos e suspensos, afetando a dureza da água e o grau de poluição. Podem ser descritos como fixos, de substâncias inorgânicas, ou voláteis, matéria orgânica. Quando se depositam nos leitos dos corpos d'água podem causar seu assoreamento, com possíveis problemas para a navegação, além do aumento do risco de enchentes CERETTA (2004). Os sólidos em suspensão condicionam outros parâmetros, como condutividade elétrica e turbidez, sendo sua quantidade total residual medida ao secar a amostra de água (ALVES, 2016). Os resultados das cargas médias de Sólidos em Suspensão podem ser observados na Figura 5.44, onde se pode perceber que sua presença é mais expressiva no período chuvoso, mais perceptível na área urbana com bastante influência nas estações de controle Parque Petrópolis e Pedro do Rio. Os valores de cargas de sólidos em suspensão altos nas áreas urbanas podem ser explicados pelo carregamento de resíduos sólidos das ruas. Na bacia de Poço Tarzan, caracterizada pelo uso agrícola com solos expostos, as cargas são mais expressivas que em Rocio, onde há maior área percentual de floresta protegendo o solo. De um modo geral, as maiores cargas ocorrem no período chuvoso, como esperado de um parâmetro de fonte predominantemente difusa.

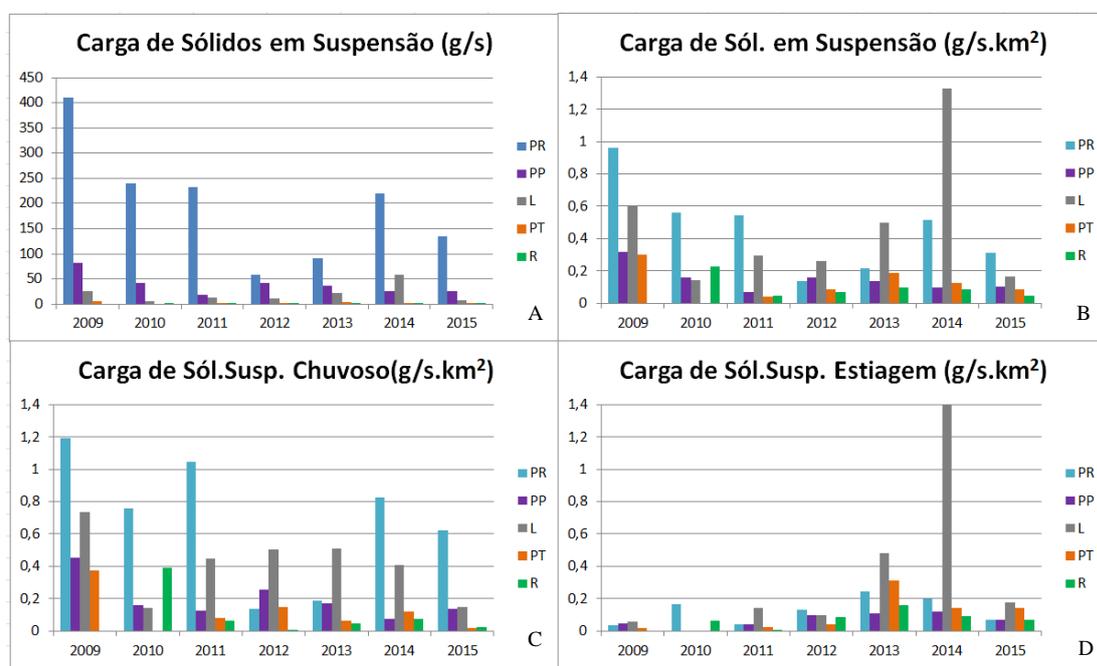


Figura 5.44: Carga média de sólidos em suspensão anual e carga média específica, anual e dos períodos chuvoso e de estiagem.

5.7. Correlação entre os percentuais de área de cada classe de uso do solo e cargas médias anuais específicas dos parâmetros de qualidade de água

Para avaliar a possível relação entre a variabilidade anual das cargas dos parâmetros com a variabilidade das classes de uso do solo, nas diversas sub-bacias, foi estabelecida a correlação entre as séries de dados de cargas médias específicas anuais e dos períodos chuvoso e de estiagem, estimadas para cada um dos 11 parâmetros, em cada sub-bacia, e os valores de percentuais de área das classes de usos do solo mais expressivos na bacia representativa.

A correlação foi estabelecida e avaliada com base nos valores do coeficiente de correlação linear de Pearson, comumente adotado neste tipo de análise, considerando um nível de significância de 0,05 (intervalo de confiança maior que 95%). Os resultados obtidos são apresentados para os 11 parâmetros, por bacia e comentados na sequência. Os valores de coeficiente de correlação, destacados em Tabela 5.5, Tabela 5.6, Tabela 5.7, Tabela 5.8, Tabela 5.9 e Tabela 5.10, correspondem àqueles considerados mais altos e significativos, com intervalo de confiança maior do que 95%, sendo os em verde referentes à correlação positiva e os em vermelho à correlação negativa.

Tabela 5.5: Correlação entre % área de classe de uso do solo e carga de parâmetros - Liceu

TOTAL - LICEU - Coeficiente de Correlação											
Classes de Uso/Parâmetros	Al	DBO	DQO	Fe	PO4	NO3	NH4	OD	Sol.Sus.	SO4	Zn
Formação Florestal	0,16	0,43	0,49	-0,06	-0,32	0,11	0,06	0,66	-0,09	0,16	0,16
Mosaico de Agricultura e Pastagem	-0,06	0,82	0,84	-0,62	-0,37	0,30	-0,50	0,49	-0,45	0,20	-0,38
Infraestrutura Urbana	0,06	-0,83	-0,84	0,65	0,43	-0,35	0,51	-0,55	0,40	-0,22	0,32
Pastagem	0,16	0,17	-0,04	-0,15	-0,23	0,34	0,07	0,34	0,56	0,67	0,47

CHUVOSO - LICEU - Coeficiente de Correlação											
Classes de Uso/Parâmetros	Al	DBO	DQO	Fe	PO4	NO3	NH4	OD	Sol.Sus.	SO4	Zn
Formação Florestal	0,11	0,74	0,72	-0,25	-0,15	0,63	-0,21	0,72	0,39	0,85	0,43
Mosaico de Agricultura e Pastagem	-0,55	0,75	0,74	-0,87	-0,42	0,44	-0,83	0,65	0,37	0,49	0,00
Infraestrutura Urbana	0,53	-0,78	-0,76	0,86	0,47	-0,50	0,83	-0,67	-0,38	-0,53	-0,05
Pastagem	-0,10	0,04	-0,10	0,13	-0,25	-0,03	0,13	0,04	-0,32	0,00	-0,03

ESTIAGEM - LICEU - Coeficiente de Correlação											
Classes de Uso/Parâmetros	Al	DBO	DQO	Fe	PO4	NO3	NH4	OD	Sol.Sus.	SO4	Zn
Formação Florestal	0,13	0,15	0,31	0,12	-0,52	-0,66	0,55	0,26	-0,35	-0,54	-0,29
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,26	0,57	0,77	-0,30	-0,27	-0,34	0,23	-0,21	-0,64	-0,34	-0,56
Infraestrutura Urbana	-0,24	-0,56	-0,75	0,33	0,31	0,33	-0,24	0,13	0,59	0,35	0,52
Pastagem	0,26	0,21	-0,05	-0,18	0,18	0,67	0,10	0,65	0,87	0,82	0,95

A estação Liceu fica inserida na bacia experimental urbana e, assim, possui a maior área percentual média da classe infraestrutura urbana, cerca de 26%, e, por outro lado, a menor área percentual de cobertura vegetal, com 58,28% de formação florestal,

tem cerca de 15% da classe de uso mosaico de agricultura e pastagem com 12,85% e apenas 2% de pastagem. Nessa estação, houve um crescimento da infraestrutura urbana de 2009 até 2014, estabilizado daí em diante. Esse crescimento foi sobre a área de mosaico de agricultura e pastagem e pastagem que apresentaram, somadas, diminuição proporcional estabilizada em 2014 (Figura 5.1). Observou-se que houve no período a diminuição das cargas de DBO (Figura 5.35) e DQO (Figura 5.36), portanto as correlações com percentuais de uso mosaico de agricultura e pastagem e infraestrutura urbana, embora sejam fortes apresentando um coeficiente acima de 0,80, com sinais trocados para os dois usos, não parecem fazer sentido. Já a elevação da carga de Fe no período (Figura 5.38), poderia levar a coeficientes de correlação relevantes com a infraestrutura urbana (0,86) e mosaico de agricultura e pastagem (-0,87). No entanto, faz sentido a correlação com infraestrutura urbana, mas a outra classe apenas diminui na proporção em que esta aumenta. Sobre o Fe, é possível acreditar que a sua origem esteja relacionada tanto às águas residuais industriais/ domésticas quanto à lixiviação do solo. O mesmo poderia ser dito sobre a amônia (NH_4^+) que aumenta com a infraestrutura urbana. O SO_4 amostra correlação com formação florestal que tem tendência de aumento no período. Em relação à estiagem, destaca-se a correlação dos parâmetros Zn, SO_4 e sólidos em suspensão com o uso de pastagem. Com relação ao Zn, vale observar que o mineral está associado às fontes antropogênicas, principalmente em efluentes domésticos, eliminação e incineração de resíduos, uso de fertilizantes, e agrotóxicos contendo zinco (CETESB, 2014) e ele só apresentou correlação significativa na estação Liceu com a classe Pastagem. Essas correlações não parecem coerentes para Pastagem que diminuía na bacia em favor da urbanização.

As cargas predominantes de DBO e DQO, parâmetros indicadores globais de matéria orgânica e poluição orgânica em efluentes e que indica o grau de biodegradabilidade do afluente, apresentaram uma correlação negativa com a classe infraestrutura urbana. É possível notar uma queda expressiva das cargas a partir de 2012, em contraste com o crescimento anual da área percentual dessa classe. Tal cenário pode ser reflexo do “Programa de despoluição das bacias dos rios da cidade de Petrópolis”, iniciado em 2000, que visa à universalização do tratamento de esgotos no município. Segundo informações do site da empresa Águas do Imperador, atual concessionária de abastecimento de água e tratamento do esgoto na cidade, o sistema de esgoto de Petrópolis é composto por cinco estações de tratamento (ETE): ETE Palatinato, ETE Quitandinha, ETE Piabanha, ETE Posse e ETE Corrêas, além de outras

12 unidades de tratamento de esgoto em alguns bairros, dez biodigestores e um biossistema que, juntos, tratam 85% dos esgotos urbanos, colocando Petrópolis no terceiro lugar no ranking de melhores do saneamento no Brasil. Duas dessas cinco ETEs, ETE Piabanha e ETE Posse, começaram a funcionar em 2012. A ETE Piabanha tem impacto direto na bacia experimental urbana, uma vez que trata os esgotos dos bairros Mosela e Bingen, localizados a montante da estação Liceu. Com o intuito de avaliar o impacto dessa ETE nas análises de correlação, dividiu-se o período de dados em dois: 2009 a 2011 e 2012 a 2015 e foram calculados os respectivos coeficientes. A Tabela 5.6 apresenta os resultados para os três conjuntos de dados (2009 a 2015, 2009 a 2011, e 2012 a 2015). É possível observar que até 2011, a correlação entre os parâmetros DBO e DQO era positiva com a classe infraestrutura urbana e que, a partir de 2012, passa a ser negativa.

Tabela 5.6: Correlação por períodos entre % área de classe de uso do solo Infraestrutura Urbana e carga de parâmetros – Liceu

TOTAL - LICEU - Coeficiente de Correlação											
Classes de Uso/Parâmetros	Al	DBO	DQO	Fe	PO4	NO3	NH4	OD	Sol.Sus.	SO4	Zn
Infraestrutura Urbana - 2009 a 2011	0,99	0,92	0,82	0,73	0,85	-0,87	0,67	-0,75	-0,46	0,99	1,00
Infraestrutura Urbana - 2012 a 2015	0,48	-0,87	-0,79	0,81	0,27	-0,39	0,99	0,30	0,38	0,38	0,28
Infraestrutura Urbana - 2009 a 2015	0,06	-0,83	-0,84	0,65	0,43	-0,35	0,51	-0,55	0,40	-0,22	0,32

Tabela 5.7: Correlação entre % área de classe de uso do solo e carga de parâmetros – P. Tarzan

TOTAL - POÇO TARZAN - Coeficiente de Correlação											
Classes de Uso/Parâmetros	Al	DBO	DQO	Fe	PO4	NO3	NH4	OD	Sol.Sus.	SO4	Zn
Formação Florestal	-0,38	-0,24	-0,12	-0,20	-0,13	-0,22	-0,96	-0,79	-0,51	-0,65	-0,28
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,33	0,54	-0,42	0,77	0,83	0,71	-0,40	-0,39	-0,15	0,19	0,56
Infraestrutura Urbana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pastagem	-0,21	-0,41	0,39	-0,62	-0,68	-0,55	0,61	0,58	0,30	0,02	-0,41

CHUVOSO - POÇO TARZAN - Coeficiente de Correlação											
Classes de Uso/Parâmetros	Al	DBO	DQO	Fe	PO4	NO3	NH4	OD	Sol.Sus.	SO4	Zn
Formação Florestal	-0,38	-0,52	-0,49	-0,65	-0,74	-0,42	-0,90	-0,79	-0,78	-0,93	-0,72
Mosaico de Agricultura e Pastagem	-0,17	-0,43	-0,43	-0,08	0,04	-0,12	-0,61	-0,47	-0,52	-0,59	0,08
Infraestrutura Urbana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pastagem	0,22	0,49	0,48	0,23	0,15	0,25	0,78	0,63	0,69	0,77	0,12

ESTIAGEM - POÇO TARZAN - Coeficiente de Correlação											
Classes de Uso/Parâmetros	Al	DBO	DQO	Fe	PO4	NO3	NH4	OD	Sol.Sus.	SO4	Zn
Formação Florestal	0,09	0,18	0,13	0,05	0,31	-0,01	-0,03	-0,21	0,52	0,07	0,31
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,87	0,82	0,91	0,84	0,71	0,85	0,60	0,29	0,78	0,87	0,66
Infraestrutura Urbana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pastagem	-0,79	-0,76	-0,83	-0,76	-0,71	-0,73	-0,54	-0,21	-0,82	-0,78	-0,66

A bacia experimental agrícola encontra-se representada pela estação Poço Tarzan que possui a maior área percentual média da classe mosaico de agricultura e pastagem (cerca de 18%), formação florestal com média de 65% da área e a segunda maior área percentual média de pastagem (aproximadamente 11%). Nesse caso, foi observada forte correlação inversa entre as cargas totais do NH_4^+ e os percentuais de uso formação florestal para o período total e chuvoso. Essa correlação pode na realidade estar expressando a correlação de NH_4^+ com a área de mosaico de agricultura e pastagem e pastagem que diminuem em favor da formação florestal que aumenta da bacia. Em relação à estiagem em Poço Tarzan observa-se o mesmo grupo de parâmetros correlacionados de forma moderada ou forte com os usos mosaico de agricultura e pastagem e pastagem Al, DBO, DQO, Fe, PO_4 , NO_3 , sólidos em suspensão e SO_4 , porém com sinais opostos (enquanto uma classe aumenta em área, a outra diminui na mesma proporção), entretanto, o grupo de parâmetros considerados significativos foi maior para a classe mosaico de agricultura e pastagem, em especial, para o NO_3 , cujo comportamento estaria coerente com a sua possível presença no escoamento de base, que predomina na estiagem.

Vale observar que, assim como em Liceu, há um comportamento inverso com relação às correlações para as classes de uso mosaico agricultura e pastagem e pastagem, na maioria dos parâmetros, nas três situações apresentadas, período total, chuvoso e estiagem, com valores de coeficientes de correlação com sinais opostos.

Segundo VILLAS BOAS *et. al.*, (2011) há escassez do nitrogênio nas águas podendo este ser carregado para o curso d'água pela chuva ou pelo escoamento base por contaminação das águas subterrâneas, já que alguns adubos utilizados na agricultura possuem nitrogênio como principal nutriente importante para o manejo do solo, sendo adicionado ao solo. E, ainda, que o nitrogênio se encontra na forma orgânica, mas em contato com a água, rapidamente se transforma em NH_4^+ . Outra possibilidade seria que os valores de NH_4^+ para Poço Tarzan, que são extremamente baixos comparados com as estações Liceu, Parque Petrópolis e Pedro do Rio, estariam associados à ocupação urbana, que existe na bacia experimental agrícola, mas ocupa área muito pequena, insignificante para ser detalhada pelo levantamento do MapBiomias. Já que amônia é, também, constituinte comum no esgoto sanitário, talvez a formação florestal esteja se expandindo em detrimento também da infraestrutura urbana e não só do mosaico de agricultura e pastagem.

Cabe mencionar a possibilidade de aporte por deposição atmosférica dos parâmetros NH_4^+ e SO_4 que poderia justificar a sua correlação forte e significativa com a classe de uso formação florestal, no período chuvoso.

O parâmetro Al apresentou valor significativo de correlação apenas em Poço Tarzan, na estiagem, com a classe de uso mosaico de agricultura e pastagem evidenciando a sua ligação com fontes de fertilizantes e agrotóxicos utilizados nas áreas agrícolas e de pastagem.

Tabela 5.8: Correlação entre % área de classe de uso do solo e carga de parâmetros - Rocio

TOTAL - ROCIO - Coeficiente de Correlação											
Classes de Uso/Parâmetros	Al	DBO	DQO	Fe	PO4	NO3	NH4	OD	Sol.Sus.	SO4	Zn
Formação Florestal	-0,05	-0,33	-0,08	-0,20	0,67	0,07	-0,06	-0,14	0,13	-0,13	-0,13
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,65	0,51	-0,22	0,37	0,70	0,38	0,43	0,79	-0,20	0,48	0,75
Infraestrutura Urbana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pastagem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CHUVOSO - ROCIO - Coeficiente de Correlação											
Classes de Uso/Parâmetros	Al	DBO	DQO	Fe	PO4	NO3	NH4	OD	Sol.Sus.	SO4	Zn
Formação Florestal	-0,44	-0,21	-0,20	-0,32	-0,18	-0,21	-0,31	-0,81	-0,04	-0,26	-0,11
Mosaico de Agricultura e Pastagem	-0,02	0,37	0,16	-0,02	0,24	0,05	0,44	0,47	-0,20	0,14	0,47
Infraestrutura Urbana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pastagem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ESTIAGEM - ROCIO - Coeficiente de Correlação											
Classes de Uso/Parâmetros	Al	DBO	DQO	Fe	PO4	NO3	NH4	OD	Sol.Sus.	SO4	Zn
Formação Florestal	0,18	-0,34	0,38	-0,05	0,60	0,27	-0,04	0,40	0,31	0,01	0,06
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,72	0,80	-0,67	0,65	0,55	0,71	0,46	0,69	0,16	0,85	0,10
Infraestrutura Urbana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pastagem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

A estação Rocio apresenta pouquíssima variação das suas duas classes de uso selecionadas, cuja principal é a de formação florestal com uma área percentual média de 98% seguida pela classe de mosaico de agricultura e pastagem com área de 1,6%. As principais correlações encontradas foram com a segunda classe. Dessa forma, é possível afirmar que o aporte de elementos como: zinco, fosfato, alumínio, DBO, nitrato e sulfato, que apresentaram coeficientes de correlação de moderados a fortes, na estiagem, mas não significativos, com exceção do sulfato, tenham origem agropecuária na bacia experimental preservada. Como a área percentual dessa classe é muito pequena, a carga produzida, de um modo geral, é muito baixa, o que não permitiria correlações fortes no período chuvoso pela maior capacidade de diluição dos rios (vide valores baixos dos coeficientes para o período chuvoso).

Tabela 5.9: Correlação entre % área de classe de uso do solo e carga de parâmetros – P. Petrópolis

TOTAL - PARQUE PETRÓPOLIS - Coeficiente de Correlação											
Classes de Uso/Parâmetros	Al	DBO	DQO	Fe	PO4	NO3	NH4	OD	Sol.Sus.	SO4	Zn
Formação Florestal	-0,13	0,53	0,15	-0,01	-0,63	0,22	0,29	0,53	0,70	0,14	-0,40
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,07	0,05	-0,28	-0,51	-0,04	0,07	-0,26	0,65	0,36	0,38	0,14
Infraestrutura Urbana	0,09	-0,62	-0,22	0,12	0,43	-0,33	0,01	-0,83	-0,61	-0,52	0,14
Pastagem	-0,17	0,69	0,71	0,59	-0,30	0,31	0,29	0,09	0,18	0,21	-0,33

CHUVOSO - PARQUE PETRÓPOLIS - Coeficiente de Correlação											
Classes de Uso/Parâmetros	Al	DBO	DQO	Fe	PO4	NO3	NH4	OD	Sol.Sus.	SO4	Zn
Formação Florestal	-0,08	0,56	0,33	-0,15	-0,25	-0,18	-0,12	0,72	0,63	-0,04	-0,31
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,03	0,35	0,40	-0,23	0,09	-0,07	-0,77	0,49	0,50	0,43	0,39
Infraestrutura Urbana	0,06	-0,64	-0,50	0,13	0,05	0,02	0,46	-0,81	-0,61	-0,43	0,01
Pastagem	-0,07	0,25	0,08	0,22	-0,04	0,08	0,47	0,19	0,03	0,07	-0,52

ESTIAGEM - PARQUE PETRÓPOLIS - Coeficiente de Correlação											
Classes de Uso/Parâmetros	Al	DBO	DQO	Fe	PO4	NO3	NH4	OD	Sol.Sus.	SO4	Zn
Formação Florestal	-0,16	-0,01	-0,19	0,60	-0,86	0,75	0,93	-0,13	-0,77	0,34	-0,24
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,64	-0,48	-0,69	0,17	-0,17	0,18	0,22	0,54	-0,26	0,32	-0,77
Infraestrutura Urbana	-0,37	0,06	0,30	-0,53	0,65	-0,64	-0,61	-0,60	0,56	-0,58	0,36
Pastagem	-0,46	0,72	0,73	0,33	-0,43	0,47	0,29	-0,18	-0,21	0,30	0,76

A estação de controle Parque Petrópolis apresenta áreas percentuais médias próximas a 65%, formação florestal, 16% do mosaico de agricultura e pastagem, 7% infraestrutura urbana e quase 9% de pastagem. Apenas o parâmetro OD apresentou correlação significativa com a classe de uso infraestrutura urbana para o período total. Os conjuntos de parâmetros com correlação significativa foi diferente nos períodos chuvoso e de estiagem. No primeiro, observa-se a relação das classes infraestrutura urbana, e mosaico de agricultura e pastagem, com NH_4^+ e OD, respectivamente, e, no segundo, há correlação da classe formação florestal com PO_4 , NH_4^+ e sólidos em suspensão.

Tabela 5.10: Correlação entre % área de classe de uso do solo e carga de parâmetros – P. do Rio

TOTAL - PEDRO do RIO - Coeficiente de Correlação											
Classes de Uso/Parâmetros	Al	DBO	DQO	Fe	PO4	NO3	NH4	OD	Sol.Sus.	SO4	Zn
Formação Florestal	0,62	0,75	0,86	-0,39	-0,36	0,64	-0,46	0,83	0,77	0,55	0,11
Mosaico de Agricultura e Pastagem	-0,22	-0,47	-0,45	0,57	0,38	-0,37	0,73	-0,42	-0,65	-0,13	0,03
Infraestrutura Urbana	-0,50	-0,77	-0,76	0,46	0,48	-0,68	0,57	-0,87	-0,52	-0,56	-0,36
Pastagem	0,21	0,56	0,48	-0,63	-0,46	0,43	-0,83	0,51	0,59	0,19	0,08
CHUVOSO - PEDRO do RIO - Coeficiente de Correlação											
Classes de Uso/Parâmetros	Al	DBO	DQO	Fe	PO4	NO3	NH4	OD	Sol.Sus.	SO4	Zn
Formação Florestal	0,61	0,93	0,77	-0,41	-0,55	0,35	-0,49	0,70	0,59	0,20	-0,32
Mosaico de Agricultura e Pastagem	-0,21	-0,61	-0,39	0,49	0,67	-0,07	0,62	-0,28	-0,60	0,12	0,24
Infraestrutura Urbana	-0,48	-0,83	-0,63	0,55	0,66	-0,47	0,66	-0,52	-0,31	-0,11	0,01
Pastagem	0,19	0,63	0,38	-0,57	-0,76	0,12	-0,74	0,24	0,51	-0,15	-0,13
ESTIAGEM - PEDRO do RIO - Coeficiente de Correlação											
Classes de Uso/Parâmetros	Al	DBO	DQO	Fe	PO4	NO3	NH4	OD	Sol.Sus.	SO4	Zn
Formação Florestal	0,63	0,63	0,83	-0,15	0,16	0,57	0,04	0,67	-0,36	-0,22	-0,49
Mosaico de Agricultura e Pastagem	-0,23	-0,49	-0,60	0,43	-0,30	-0,51	0,47	-0,49	0,03	-0,04	0,23
Infraestrutura Urbana	-0,51	-0,66	-0,80	-0,17	-0,07	-0,49	0,02	-0,88	0,21	0,06	0,17
Pastagem	0,22	0,57	0,65	-0,29	0,27	0,53	-0,51	0,65	0,00	0,10	-0,13

Pedro Rio, exutório da bacia representativa, detém a maior área percentual da classe de pastagem (12%). Talvez por isso, tenha sido a única que apresentou correlações significativas relacionadas a essa classe e foram com os parâmetros PO₄ e NH₄⁺. Ela possui 62% de área de formação florestal com 61,87%, 17% de mosaico de agricultura e pastagem e apenas 5% de infraestrutura urbana. Mesmo com um percentual pequeno de infraestrutura urbana, essa classe parece ter impacto no comportamento da qualidade de água já que apresenta correlações significativas entre as cargas médias de DBO, DQO e OD para o período total. Por outro lado, parece que a qualidade de água não é tão impactada pelo uso agrícola, já que a classe mosaico de agricultura e pastagem não apresenta correlação importante com nenhum dos parâmetros analisados. Observa-se, também, que há correlação entre os sólidos em suspensão com percentuais de formação florestal, assim como acontece com Parque Petrópolis na estiagem. Outro parâmetro que se destacou na bacia foi o PO₄, com a classe pastagem. Diferente do que se imaginava a princípio, ao analisar as cargas médias anuais, o PO₄ parece também ter origem de atividades agropecuárias que requerem o uso de fertilizantes para o solo.

Nota-se que o maior valor positivo ocorreu na correlação entre o uso do solo em formação florestal com DBO, apresentando um coeficiente 0,93, onde o percentual de formação florestal está diminuindo e a carga de DBO também, porém em razão das ETEs instaladas em 2012 na bacia, e que o valor maior negativo ocorreu na correlação

de infraestrutura urbana com OD, apresentando um coeficiente de -0,87 na estação onde se dá todo o escoamento da bacia representativa.

Ainda, para a estação Pedro do Rio, observou-se que, as correlações do período chuvoso entre as cargas de DBO e percentual uso de formação florestal são fortes, acima de 0,90, e , e são acima de 0,70 para DQO. Em relação à estiagem, verifica-se um menor conjunto de parâmetros em destaque com correlação moderada: DQO com formação florestal, apresentando um coeficiente acima de 0,80 e DQO e OD com infraestrutura urbana com comportamento inverso, e coeficientes -0,80 e -0,88. Dessas, somente a correlação entre infraestrutura urbana e OD parece ter sentido, pois essa classe de uso teve sua área aumentada enquanto a concentração de OD diminuiu ao longo do período analisado na estação.

Considerando os resultados para todas as estações, é possível identificar um comportamento multicorrelato do parâmetro NH_4^+ que apresentou correlações altas e significativas com cada uma das quatro classes de uso, positiva somente com infraestrutura urbana, predominantemente no período chuvoso, em quatro diferentes estações, Liceu, Poço Tarzan, Parque Petrópolis e Pedro do Rio. Dessa forma, pode ser que o NH_4^+ tenha sua origem relacionada aos quatro usos estudados, inclusive, formação florestal em Poço Tarzan para o período total (a correlação mais alta de todo o estudo) e chuvoso. De acordo com RIBEIRO *et al* (2015), o nitrogênio ocupa lugar de destaque entre os elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas e pode ser absorvido na forma de NO_3^- e NH_4^+ .

Por último, cabe destacar que o NO_3^- não apresentou correlação significativa com a classe de uso infraestrutura urbana, em nenhuma das estações, parecendo realmente ter origem majoritária nas atividades agropecuárias.

5.8. Ajuste de equações de regressão para determinar a carga média dos parâmetros de qualidade de água em função das classes de uso do solo na bacia

Após a análise da correlação entre as cargas médias específicas anuais dos parâmetros de qualidade de água e as áreas percentuais das principais classes de uso do solo, apresentada no item 5.7, para o período 2009-2015, foram selecionadas as correlações significativas (p valor $<0,05$) e consideradas de moderada a forte (coeficiente de correlação de Pearson acima de 0,7 ou abaixo de -0,70) para ajuste de equações de regressão linear aos pares de percentual de área na classe de uso do solo na

bacia, considerado como variável independente (x), e carga média específica do parâmetro de qualidade de água, considerada como a variável dependente (y). O estabelecimento desse tipo de relação visa a permitir a estimativa da qualidade de água em locais onde há períodos sem o monitoramento na bacia representativa, com base apenas no mapeamento de uso de solo e ocupação. Além disso, possibilita que sejam avaliados os impactos na qualidade de água originados das alterações no uso e ocupação do solo em cenários futuros, constituindo uma ferramenta de apoio à decisão para a gestão dos recursos hídricos e o zoneamento urbano, principalmente, para o comitê de bacia e as prefeituras.

Vale ressaltar que esse estudo apresenta caráter preliminar, pois a série de dados disponíveis ainda é curta e apresenta falhas de observação. A ideia é que seja realizada uma constante atualização das equações de regressão, de maneira a torná-las mais robustas, conforme haja o incremento dos dados de monitoramento dos anos seguintes na bacia representativa e levantamentos de usos mais detalhado.

Os resultados são tabelas e gráficos do ajuste dos modelos de regressão considerados significativos (p valor <0,05), com informação do coeficiente de determinação R^2 , a distribuição de resíduos e o erro percentual relativo linear.

Com base nas considerações feitas no item 5.7 sobre correlações significativas, fortes e coerentes, identificadas entre uso do solo e carga dos parâmetros de qualidade da água, são apresentadas as retas de regressão definidas para Parque Petrópolis, entre carga específica média anual de OD e percentual de infraestrutura urbana (IU) - Figura 5.45; para Pedro do Rio, entre carga específica média anual de OD e percentual de infraestrutura urbana (IU) - Figura 5.46; e para Poço Tarzan, entre carga específica média de estiagem de NO_3 e percentual de mosaico de agricultura e paisagem - Figura 5.47.

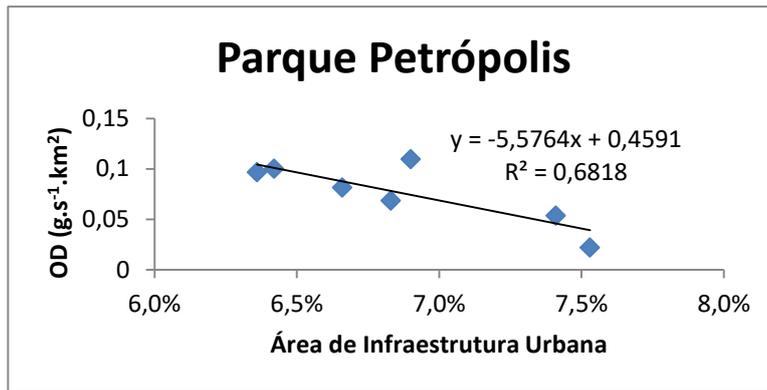


Figura 5.45: Equação de regressão entre carga esp. de OD e % área em IU em PP.

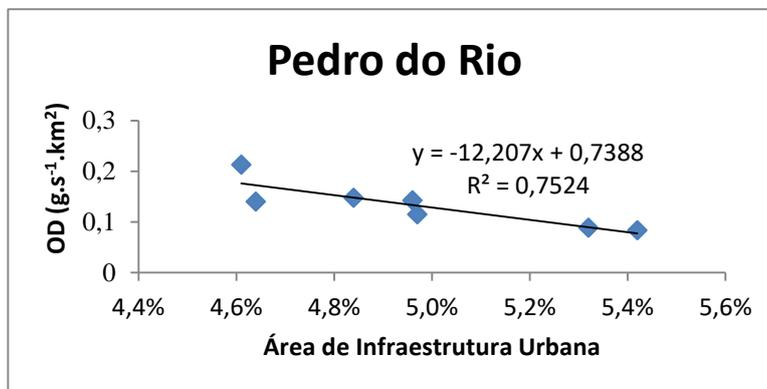


Figura 5.46: Equação de regressão entre carga esp. de OD e % área em IU em PR.

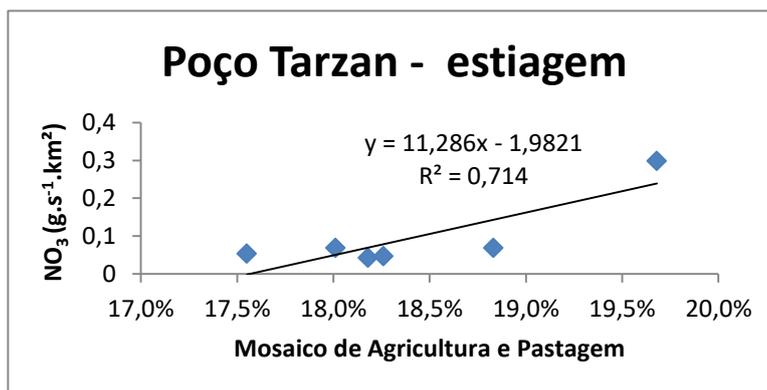


Figura 5.47: Equação de regressão entre carga esp. de NO_3 e % área em MAP em PT.

Outras correlações testadas apresentaram-se fortes e significativas, porém não são aqui apresentadas as respectivas regressões lineares pela interpretação de que ocorreram sem fundamentação ou com pouca evidência lógica.

É o caso da carga específica de OD em queda com a diminuição de formação florestal em Parque Petrópolis e Pedro do Rio. A interpretação correta seria a de que a diminuição da formação florestal foi consequência de substituição por infraestrutura urbana em crescimento, que por sua vez implica maior aporte de poluição aos trechos do rio, assim causando diminuição de OD, daí ter sido apresentada a regressão linear de IU e OD, para as duas sub-bacias. Ao longo do período 2009-2015, é possível verificar, para Parque Petrópolis (Figura 5.48) e Pedro do Rio (Figura 5.49), o crescimento do percentual de infraestrutura urbana e a diminuição de formação florestal, e ainda que os percentuais de pastagem e mosaico de agricultura e pastagem alternam, em sincronia, períodos de aumento de um e diminuição do outro. Essas duas sub-bacias são as únicas que apresentaram decréscimo do percentual de formação florestal.

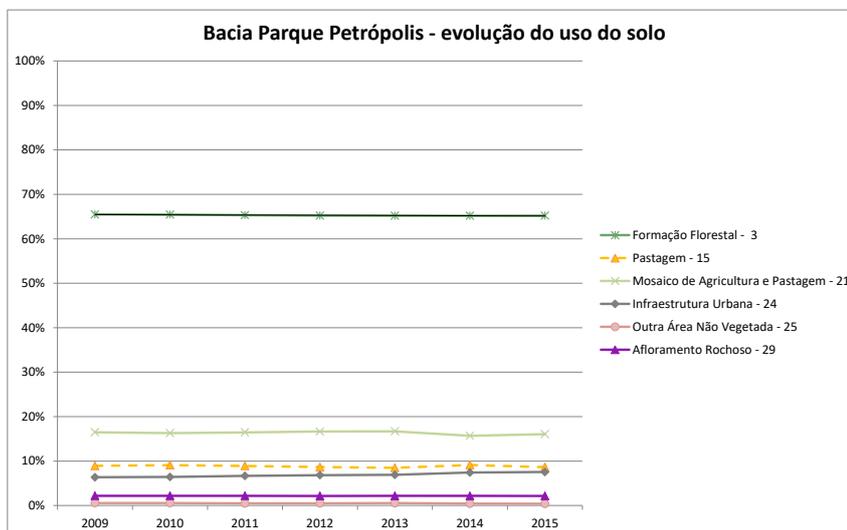


Figura 5.48: Evolução do uso do solo e cobertura vegetal entre 2009 e 2015 em PP.

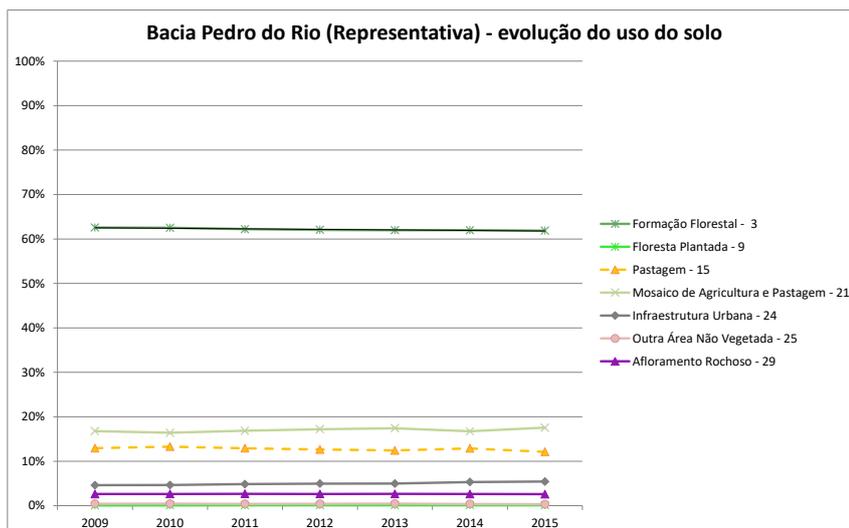


Figura 5.49: Evolução do uso do solo e cobertura vegetal entre 2009 e 2015 em PR.

Outra correlação significativa encontrada foi entre a diminuição da carga específica de NH_4^+ e a diminuição do percentual de pastagem ou o crescimento da formação florestal em Poço Tarzan. No entanto, nessa sub-bacia, assim como em Rocio, onde formação florestal ocupa mais de 98% da superfície e, praticamente, não há pastagem, mais de 50% das amostras coletadas apresentaram concentração de NH_4^+ abaixo do limite de detecção da técnica empregada em laboratório. Quando eventualmente foi detectada sua presença, a concentração correspondeu a valores muito próximos de tal limite. Assim, a correlação resultante entre NH_4^+ e uso do solo em Poço Tarzan, embora forte e significativa, pode não fazer sentido.

Na Figura 5.50 é possível verificar o crescimento do percentual de formação florestal e decréscimo do percentual de pastagem com aumento de mosaico de agricultura e pastagem até 2013 quando, em seguida, este uso parece diminuir com leve recuperação e imediata estabilização do percentual de pastagem.

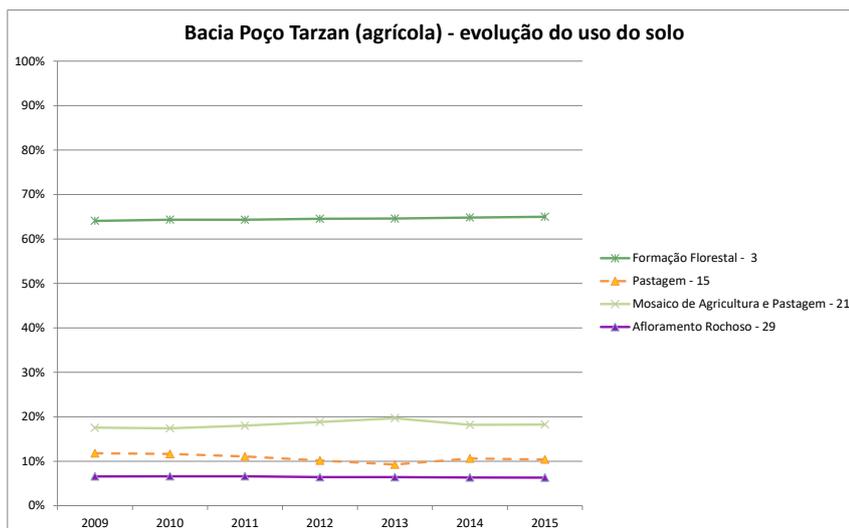


Figura 5.50: Evolução do uso do solo e cobertura vegetal entre 2009 e 2015 em PT.

Em Liceu, como evidenciado nos resultados apresentados na Tabela 5.6, houve uma melhoria da qualidade da água com o início de funcionamento de duas ETEs em 2012, ainda que tenha ocorrido aumento do percentual de infraestrutura urbana em sua bacia de contribuição, e em ritmo mais acelerado justamente a partir de 2012. Esse aumento ocorreu sem diminuição do percentual de formação florestal, mas sim em paralelo à diminuição da área de mosaico de agricultura e pastagem, como mostra a Figura 5.51.

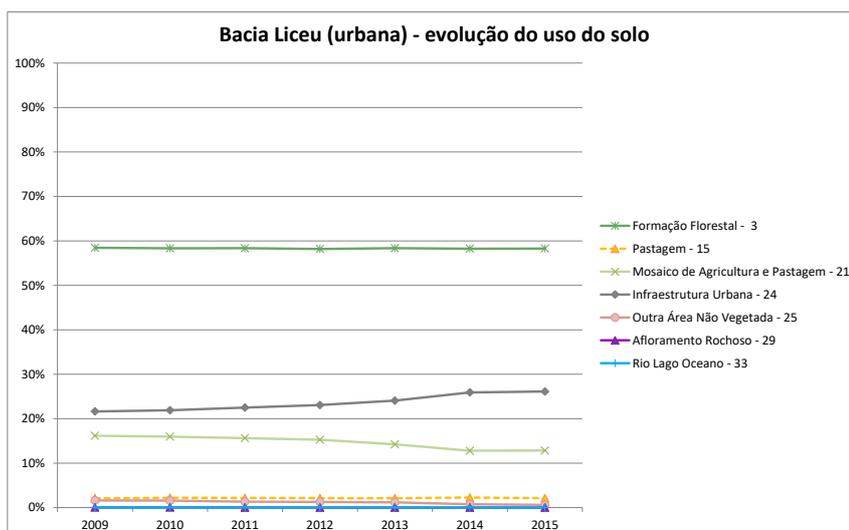


Figura 5.51: Evolução do uso do solo e cobertura vegetal entre 2009 e 2015 em Liceu.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com os resultados obtidos, foi possível avançar na compreensão da relação entre uso e ocupação do solo e qualidade de água nos trechos de rios da bacia representativa do rio Piabanha, mesmo com as limitações de falta de dados, em especial, dos dados fluviométricos que impediram a determinação das cargas em alguns períodos para algumas estações.

6.1. Conclusões

O objetivo geral do trabalho foi atingido, sendo possível associar os impactos dos diferentes usos do solo e cobertura vegetal sobre aspectos da qualidade da água com a metodologia proposta e com os dados disponíveis atualmente. Com abordagens diferentes, foi possível avaliar a distribuição espacial e temporal das concentrações de 12 parâmetros de qualidade da água e das cargas específicas de 11 deles ao longo da área de estudo e seu comportamento durante o período 2009-2015.

Em atendimento aos objetivos específicos do trabalho conclui-se que:

- 1- A área foi bem caracterizada pelo MapBiomas (Esc: 1:25.000) em detalhe adequado à escala das sub-bacias caracterizadas: 44,5km²; 17,2km²; 12,8km²; 260km²; 427,9km², que foram delimitadas na escala 1:50.000. É possível perceber as diferenças entre as bacias em seu propósito de expressar os usos relevantes – de bacia experimental urbana (Liceu); agrícola (Poço Tarzan); preservada (Rocio) – e que Parque Petrópolis, apesar de mais urbanizada, é bem semelhante a Pedro do Rio, onde é possível confirmar a sua representatividade para o conjunto, quanto ao aspecto da qualidade da água na bacia do rio Piabanha. É interessante ter em conta que a cobertura de formação florestal na bacia representativa é de 62% e que é de, pelo menos, 58% da área de cada sub-bacia, sendo este, portanto, o uso predominante sobre todas as demais classes, de um modo geral. No entanto, a variação de percentuais de infraestrutura urbana e mosaico de agricultura e pastagem e de pastagem é que, de fato, influencia a qualidade da água.
- 2- Da análise das concentrações dos parâmetros, da evolução temporal de suas cargas em cada bacia e das correlações dessas com as classes de uso do solo, foi possível verificar os parâmetros de qualidade da água mais sensíveis a

mudanças de uso do solo e cobertura vegetal, portanto, os mais importantes em distinguir cada bacia. Os parâmetros que pareceram mais sensíveis à variação do uso do solo são: OD, DBO, NO_3 e NH_4^+ , Al e Fe.

- 3- Os indicadores da influência do uso do solo sobre a qualidade da água poderiam ser as cargas específicas de OD, DBO, NO_3 e NH_4^+ , ou alguma combinação delas, a ser avaliada. Esses quatro parâmetros conseguem distinguir bem, com suas faixas de variação de concentração, os usos preponderantes de infraestrutura urbana, mosaico de agricultura e pastagem e de formação florestal em cada estação das bacias experimentais. Já o NH_4^+ distingue bem infraestrutura urbana dos demais e mostra sensível recuperação ao longo da bacia entre Parque Petrópolis e Pedro do Rio, por exemplo, sua concentração em Liceu é 100 vezes o valor medido em Rocio e 30 vezes maior que em Pedro do Rio. OD expressa bem a variação dos usos e mostra sua recuperação ao longo da bacia, além de ser o indicador principal da qualidade e o mais expedito na medição. A DBO é o indicador a ser acompanhado para avaliação da eficiência de remoção de carga orgânica dos tratamentos das ETEs em implantação no programa de saneamento da bacia. Esses indicadores podem ser usados em análise de regressão com as classes de uso do solo como proposto no item 5.8. Não foi possível estabelecer as regressões para todas as bacias, nem todos esses quatro parâmetros, possivelmente, porque as séries de vazão apresentam falhas e inconsistências que se refletem nas cargas. Em Liceu, para resultar uma boa correlação dos usos com OD e DBO, haveria necessidade de separar em períodos e com apenas três ou quatro anos não resultaria uma regressão válida. Em Rocio, a questão pode ser que a classe formação florestal ocupa mais de 98% da bacia sendo muito estável ao longo de todo o período, ali as alterações de OD e DBO devem ter razões pontuais ou até tenham ocorrido por deficiência de calibração/manutenção do sensor de OD da sonda multiparamétrica.
- 4- Com relação ao monitoramento sistemático da qualidade da água na bacia, os 12 parâmetros adotados neste estudo confirmam a sua importância para a avaliação da qualidade da água em termos de sua variabilidade espacial,

representada pelos cinco pontos de monitoramento que, por sua vez, confirmam sua utilidade em expressar as diferenças relevantes de uso e cobertura do solo na bacia. Parque Petrópolis demonstra um papel interessante de bacia representativa para a qualidade da água, já englobando e expressando os efeitos dos diversos usos. A regularidade das campanhas mostrou-se importante para a caracterização da sazonalidade verificada nos resultados para o período chuvoso e período de estiagem.

Foi possível identificar correlação significativa de alguns parâmetros com as mudanças no uso do solo em algumas das estações. Como por exemplo, a evolução das cargas de DBO e DQO parece estar refletindo os impactos positivos do Programa de despoluição das bacias dos rios da cidade de Petrópolis.

Confirma-se, assim, a RMQAP-EIBEX como um interessante instrumento de gestão integrada dos recursos hídricos, que pode ser apropriado e utilizado pelo INEA/RJ, órgão gestor de recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro, pelo Comitê Piabanha, e pela Prefeitura de Petrópolis na gestão territorial do município para avaliar os resultados de suas intervenções, inclusive as planejadas, pois oferece alguma possibilidade de simulação. Esta avaliação da RMQAP-EIBEX vai ao encontro daquelas consideradas em trabalhos anteriores por MOLINARI (2015) e VILLAS BOAS (2018).

6.2. Recomendações

Das análises empreendidas neste trabalho e de suas conclusões, derivam sugestões relativas à melhoria do desempenho da RMQAP-EIBEX, e à continuidade das pesquisas na bacia representativa em conjunto com as bacias experimentais.

6.2.1. Recomendações para futuros mapeamentos de uso e ocupação do solo

Esforços por um maior detalhamento das classes de uso e ocupação do solo, principalmente, na área das bacias experimentais, redundarão no aprofundamento da metodologia proposta.

6.2.2. Recomendações para aprimoramento da rede de monitoramento da RMQAP-EIBEX

Com relação à rede de monitoramento instalada, é importante manter a regularidade das coletas e programar as campanhas de campo para cobrir os períodos de chuva e estiagem de forma mais bem distribuída. Resulta essencial que o monitoramento consiga acompanhar minimamente a variabilidade sazonal, com informações nos trimestres: DJF, MAM, JJA, e SON. Também é importante realizar campanhas durante o início das chuvas em setembro ou outubro, propiciando a coleta de amostras logo após o primeiro evento chuvoso, em segurança, ao início ou logo após a passagem do pico de vazão em cada seção. Essa programação é importante para melhor caracterizar os parâmetros de fonte difusa.

Para uma melhor abordagem dos impactos antrópicos é necessária a realização de campanhas extraordinárias em seção do rio da Cidade a montante de Rocio Ponte, ou mesmo a instalação de uma estação que contemplasse uma área de contribuição sem nenhum tipo de intervenção antrópica. Há duas captações da concessionária Águas do Imperador, Quilombo da Direita no curso d'água formador da direita, que aparece na Carta Topográfica e no CNARH40 com o nome de rio da Cidade, e Quilombo da Esquerda no curso d'água formador da esquerda, que não tem nome atribuído e que era o local previsto, aproximadamente, para a instalação de uma estação de medições, a Rocio 1. O monitoramento nesses pontos permitirá a comparação com relação à carga de DBO e OD que tiveram comportamento incoerente com o uso predominante na bacia.

A bacia em Parque Petrópolis desempenha bem o papel de bacia representativa do ponto de vista da qualidade da água, no entanto, não contabiliza a contribuição do rio Santo Antônio, afluente da margem direita que tem vazão expressiva, ocupação desordenada e também área de mata preservada em seus 106km², tendo sido fortemente atingida por desastres naturais em 2008 e 2011. Um ponto de monitoramento nesta sub-bacia é importante para o melhor entendimento dos processos na bacia representativa. A bacia do rio Santo Antônio conta com estações de responsabilidade do INEA/RJ, são elas a estação de qualidade de água SA100, localizada próximo à confluência com o rio Piabanha, e as estações da rede de alerta de chuvas e níveis, Itaipava, mais a montante no rio Santo Antônio, porém a jusante da confluência do rio Cuiabá e a estação Cuiabá

nesse afluente. Essas estações não contam ainda com medições sistemáticas de vazão e determinação de curva chave, assim a inclusão de campanhas de medições de vazão nessas estações, sendo eventualmente necessária a instalação de réguas linimétricas no local de SA100, e a coleta de amostras nas duas estações do alerta, pelo projeto EIBEX, permitiria aproveitar a instalação das réguas a os registros automáticos que são de acesso público na internet. Haveria a necessidade, no entanto, de confirmar as localizações das estações, o tipo de operação e sua frequência para propor essa cooperação.

6.2.3. Recomendações para a continuidade da pesquisa nas bacias experimentais do Piabanha

É importante, com o incremento de novos dados, avaliar, para as estações Liceu, Parque Petrópolis e Pedro do Rio, na evolução das cargas de parâmetros provenientes de lançamento de efluentes de esgotos domésticos, se é mantido o verificado nos dados após 2011, nas análises de correlação, como uma forma de avaliar a eficiência do “Programa de despoluição das bacias dos rios da cidade de Petrópolis”.

Com séries mais longas e mais completas, será possível confirmar os resultados encontrados neste trabalho, em especial, com uso de outras técnicas além da análise de correlação para avaliação da variabilidade espacial e temporal das observações de parâmetros de qualidade e sua relação com alterações do uso do solo. Esses estudos são úteis para avaliar a efetividade de políticas de ordenamento territorial, de incentivos à preservação, como o pagamento por serviços ambientais que já existe na bacia, e de melhoria dos serviços de saneamento básico.

A utilização dos dados produzidos na bacia experimental pode ser explorada ao máximo em pesquisas científicas sobre clima, recursos hídricos, geomorfologia, geoquímica, biologia e outras áreas. A bacia serve de laboratório para pesquisa e proposição de soluções para problemas reais, tais como vulnerabilidade a eventos extremos, poluição e contaminação da água, ocupação desordenada e desigualdade social.

A forma como está distribuído o seu monitoramento torna a RMAQP-EIBEX uma base para diversas abordagens com seus dados. É possível acrescentar instrumentação específica para estudos em escala de maior detalhe, conforme o

requerido por novas pesquisas. Os dados estarão em breve disponíveis, de forma organizada e com descrição de conteúdo, no sítio eletrônico do SGB-CPRM, facilitando seu acesso.

Quanto mais centros de pesquisa e pesquisadores utilizarem o que é produzido no âmbito do projeto institucional EIBEX, mais motivação e apoio haverá para a sua continuidade. É importante resgatar que a escolha de localização do projeto teve a preocupação de atender a distância de até 100km das universidades UFRJ, UERJ, UFF e UFRRJ, consideradas as suas localizações originais, atualmente expandidas pelo estado do Rio de Janeiro.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano de recursos hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul**: resumo. Caderno de ações: bacia do rio Piabanha. Resende: CEIVAP, 2006. Disponível em: <<http://www.agevap.org.br/downloads/comites/piabanha/Caderno%204%20-%20Piabanha.pdf>>.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano de recursos hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul**: resumo. Plano de recursos hídricos consolidados: resumo. Relatório contratual – R-10. Resende: CEIVAP, 2007. 147 p. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br/downloads/PSR-RE-012-R1.pdf>>.

AGEVAP. Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Avaliação ambiental integrada (AAI) das bacias dos rios Muriaé, Pomba, Piabanha, Paraibuna e Preto, afluentes do rio Paraíba do Sul**: relatório consolidado de caracterização: Muriaé. P3 – diagnóstico ambiental (caracterização). CEIVAP: Resende, 2013. 346 p. Disponível em: <http://sigaceivap.org.br:8080/publicacoesArquivos/arq_pubMidia_Processo_009-2011_P03.7-RCC-Muriae.pdf>.

ALVES, L.S. **Desenvolvimento de medidor de qualidade da água através da condutividade elétrica**. 2016. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Diplomação em Engenharia Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2005. (Cadernos de Recurso Hídricos, 1).

ANA. Agência Nacional de Águas. **Cuidando das águas**: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos. Brasília, DF: ANA; PNUMA, 2011. 154 p. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2011/CuidandoDasAguas-SolucoesParaMelhorarAQualidadeDosRecursosHidricos.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2018.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil 2012**. Brasília, DF: ANA, 2012. 264 p. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/Panorama_Qualidade_Aguas_Superficiais_BR_2012.pdf>. Acesso em: 2 out. 2018.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2013**. Brasília, DF: ANA, 2013.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas esgotos**: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, DF: ANA, 2017. Disponível em: <<http://atlasesgotos.ana.gov.br/>>. Acesso em: 5 fev. 2020.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: informe anual. Brasília, DF: ANA, 2019.

<<http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura-completo.bb39ac07.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2018.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Portal da qualidade das águas**: indicadores de qualidade. [s.d.]. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/default.aspx>>. Acesso em: 27 abr. 2020.

ANDRADE, C.D. **Avaliação de escala de monitoramento e do comportamento hidrológico na bacia do rio Piabanha/RJ**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

ARAUJO, A. M.; LOBÃO, J. S. B. Análise do uso e cobertura da terra na Carta Santa luz SC-24-Y-D-III a partir das geotecnologias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009.

Disponível em:

<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.05.13.10/doc/3455-3462.pdf>.

Acesso em: 20/07/2020.

ARAÚJO FILHO, M. da C.; MENESES, P.R.; SANO, E.E. Sistema de classificação de uso e cobertura da Terra com base na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 59, v. 2, ago. 2007.

ARAUJO L.M.N.; ABDALAD M.A.; SATO A. M.; ARAUJO A. A. M.; AVELAR A. D. S, COELHO NETTO A. L., ROTUNNO FILHO O. C. Chuvas intensas recorrentes na região da serra do Mar/RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

Disponível em:

<<https://www.abrhydro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=155&SUMARIO=3964>>. Acesso em: 12 nov. 2020.

ARAUJO, L.M.N.; MORAIS, A.; VILLAS BOAS, M. D.; PEREIRA, V. S. DO A., SALES, A. N., 2007, ARAUJO, F. A. Estudo dos potenciais poluentes na bacia do rio Paraíba do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007.

ARAUJO, L.M.N.; MORAIS, A.; VILLAS BOAS, M. D.; FERNANDES, N. F.; MOREIRA, D. M.; SANTOS, S. C.; BARROS, P. S. T.; NEGREIROS, A. B.; ROTUNNO FILHO, O. C.; ARAÚJO, A. A. M.; PRODANOFF, J. H. A.; MASCARENHAS, F. C. B. Estudos integrados de bacias experimentais: parametrização hidrológica na gestão de recursos hídricos da bacia do rio Piabanha. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007. 1 CD-ROM.

ARAUJO, L.M.N. **Identificação de padrões hidrológicos de precipitação e de umidade do solo na bacia hidrográfica do rio Piabanha/RJ**. 2016. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <[http://comitepiabanha.org.br/academico/57%20-%20\(ARAUJO,%202016\).pdf](http://comitepiabanha.org.br/academico/57%20-%20(ARAUJO,%202016).pdf)>.

BARBIN, H.S. **Histórico da evolução do uso do solo e estudo dos espaços livres públicos de uma região do município de Piracicaba, SP**. 2004. 196 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

BARROS, A.M.L. **Modelagem da poluição pontual e difusa: aplicação do modelo moneris à bacia hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco.** 2008. 218 f. Dissertação

BORGES, F. DE S. P.. **Estimativa de Batimetria Utilizando Sensoriamento Remoto e Krigagem Bayesiana. Estudo de Caso: Reservatório Morro Grande / Rio de Janeiro [Rio de Janeiro]** 2004. XXI, 180 pp. 29,7cm (COPPE/ UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2004). Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

BRANCO, A.M.M. **Influência do uso e ocupação sobre a qualidade da água:** subsídio à gestão de recursos hídricos da bacia hidrográfica da serra da Mantiqueira (UGRHI – 1). 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2014.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 5 fev. 2019.

BRASIL. [Resolução Conjunta ANEEL/ANA nº 03, de 10 de agosto de 2010](#), publicada em 20 de outubro de 2010. Disponível em <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/monitoramento-hidrologico/resolucao-conjunta>. Acesso em :2/12/2020.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

BROWN, L.C.; BARNWELL Jr., T.O. **Computer program documentation for the enhanced stream water quality model QUAL2E. and QUAL2E-UNCAS.** Report EPA/600/3-87/007, US Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, USA, 1987.

BUTT, A. et al. Land use change mapping and analysis using remote sensing and GIS: a case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 18, n. 2, p. 251-259, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.07.003>.

CARPENTER, S.R. et al. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. **Ecological Applications**, v. 8, n. 3, p. 559-568, 1998.

CASTRO, A.L.C. **Glossário de defesa civil:** estudo de riscos e medicina de desastres. Brasília, DF: MPO/Departamento de Defesa Civil, 1998. 283 p.

CEIVAP. Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano de recursos hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul:** caderno de ações da bacia do rio Piabanha. Relatório contratual R-10/PSR-010/PSR-012-R1 (2006-2010).

CERETTA, M.C. **Avaliação dos aspectos da qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena – município de Santa Maria – RS.** 2004. 154 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Apêndice D: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade. In: _____. **Relatório de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2013**. São Paulo: CETESB, 2014. 46 p. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Ap%C3%AAndice-D-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-29-04-2014.pdf/>>. Acesso em: 12 nov. 2020.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Apêndice D: Índices de Qualidade das Águas. In: _____. **Relatório de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2019**. São Paulo: CETESB, 2020a. 57 p. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2020.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Apêndice E: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. In: _____. **Relatório de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2019**. São Paulo: CETESB, 2020b. 57 p. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Apendice-E-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-variaveis.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2020.

CHEN, L. et al. An integrated simulation-monitoring framework for nitrogen assessment: a case study in the Baixi watershed, China. **Procedia Environmental Sciences**, v. 13, p. 1076-1090, 2012.

COELHO NETO, A.L. Hidrologia de encostas na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

COPPETEC 2006. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – resumo**: caderno de ações bacia do rio Piabanha. 1. Rio de Janeiro, Editora AGEVAP, 103p.

COSTA, A. et al. Desenvolvimento e aplicação de índices de qualidade de água. **Caderno de Pesquisa**, Santa Cruz do Sul, v. 24, n. 1, 2012.

CPRH-PE. **Índice e indicadores de qualidade da água**: revisão da literatura. 2020. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf>>. Acesso em: 12/12/2020.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Regionalização de vazões da sub-bacia 58**: rio Paraíba do Sul. Rio de Janeiro: CPRM, 2003. Convênio ANEEL/CPRM.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Manual de medição *in loco***: temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido. Versão maio 2007. Belo Horizonte: CPRM, 2007. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/geologia_medica/manual_medicoes_T_%20pH_OD.pdf>.

CPRM, 2011, **Isoietas Médias Anuais de 1977 a 2006** na escala 1:5.000.000. In: Atlas Pluviométrico do Brasil. Maceió. CD e <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>>. Acesso: 2/04/2018.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil **Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras: estudo da vazão de 95% de permanência da sub-bacia 58. Bacia do Paraíba do Sul.** / CPRM – Serviço Geológico do Brasil; execução técnica e autoria de Jefferson Santana Melo e Mariana Dias Villas Boas. – Rio de Janeiro: CPRM, 2017. 132p.: il.; Documento eletrônico - PDF. Projeto Disponibilidade Hídrica do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. ISBN 978-85-7499-361-4 Disponível em www.cprm.gov.br.

DANTAS, M.E. et al. **Diagnóstico geoambiental do estado do Rio de Janeiro.** Brasília, DF: CPRM, 2000. 38 p.

DELLAMATRICE, P.M.; MONTEIRO, R.T.R. Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 12, p. 1296-1301, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1296-1301>.

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.

DOURADO, F.; COUTINHO, T.A.; SILVA, M.F. O megadesastre da região serrana do Rio de Janeiro e as causas do evento, os mecanismos dos movimentos de massa e a distribuição espacial dos investimentos de reconstrução no pós-desastre. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 35, p. 43-54, 2012.

DWIVEDI, R.S.; SREENIVAS, K.; RAMANA, K.V. Cover: land-use/land-cover change analysis in part of Ethiopia using Landsat Thematic Mapper data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 7, p. 1285-7, 2005. <https://doi.org/10.1080/01431160512331337763>.

EMÍDIO, V.J.G. **A problemática do fósforo nas águas para consumo humano e água residuais e soluções para o seu tratamento.** 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Universidade do Algarve, Portugal, 2012. Disponível em: <<https://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/3154/1/A%20problem%C3%A1tica%20do%20f%C3%B3sforo%20nas%20%C3%A1guas%20para%20consumo%20humano%20e%20%C3%A1guas%20residuais%20.pdf>>.

ENOKIDA, C.H.; MAGALHÃES, V.L. O monitoramento e o gerenciamento de bacias hidrográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBGFA, 2009.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Data quality assessment: statistical methods for practitioners** – EPA QA/G-9S. 198 p. 2006. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/g9s-final.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2020.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Regulatory information by business sector**. 2020. Disponível em: <<https://www.epa.gov/regulatory-information-sector>>. Acesso em: 7 nov. 2020.

ERLE, E; PONTIUS, R. Land-use and land-cover change. In: CLEVELAND, C.J. (Ed.). **Encyclopaedia of earth environmental information**. Washington: Coalition, 2007.

ERTHAL, J.M.; LEMOS, R. Cidades brasileiras enfrentam o verão despreparadas para as chuvas. **Veja**, Rio de Janeiro, 22 out. 2011. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/brasil/cidades-brasileiras-enfrentam-o-verao-despreparadas-para-as-chuvas>>. Acesso em: 21 out. 2020.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FAN, F., WENG, Q.; WANG, Y. Land use land cover change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, based on Landsat TM/ETM + imagery. **Sensors**, v. 7, p. 1323-42, 2007.

FOLEY, J.A. et al. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570-74, 2005.

FONSECA, A.L. **Determinação do índice de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal na água da lagoa de Extremoz/RN**. 2017. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química do Petróleo) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

FREITAS, R.P.M.; HORA, M.A.G.M. Lançamento de efluentes em corpos hídricos. **Hydro**, v. 11, n. 121, 2016. Disponível em: <https://www.arandanet.com.br/revista/hydro/materia/2016/11/26/lancamento_de_fluents.html>. Acesso em: 8 jul. 2020.

G1- INTER TV. Confirma imagens marcantes da tragédia de 2011 na região serrana do RJ. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2021/01/11/confirma-imagens-marcantes-da-tragedia-de-2011-na-regiao-serrana-do-rj.ghtml>.

GONÇALVES, E.M. **Avaliação da qualidade da água do rio Uberabinha – Uberlândia – MG**. 2009. 159 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

GONÇALVES, R. C. **Modelagem hidrológica do tipo chuva-vazão via SMAP e TOPMODEL – Estudo de Caso: bacia do rio Piabanha**. XVI, 173 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. COPPE. UFRJ. Rio de Janeiro, 2008.

GOULART, Décio Rodrigues **Diagnóstico da suscetibilidade à erosão dos solos da bacia hidrográfica do Bonfim, Correias, Petrópolis – RJ**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1998. XI, 128p. 29,7cm Dissertação de (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro/PPGG, 1998.

GUERRA, A.J.T. et al. Evolução histórico-geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no município de Petrópolis nas últimas décadas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 35-43, 2007.

HE, W.J. et al. Assessment of management effectiveness for the national nature reserve in the Yellow river delta. **Procedia Environmental Sciences**, v. 13, p. 2362-2373, 2012.

HEM, J.D. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water**. 3. ed. U.S. Geological Survey-Water Supply Paper 2254. New York: USGS, 1985. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/wsp/wsp2254/pdf/wsp2254a.pdf>>. Acesso em: 2 dez. 2020.

HOROWITZ, A. J. A Review of Selected Inorganic Surface Water Quality-Monitoring Practices: Are We Really Measuring What We Think, and If So, Are We Doing It Right? **Environ. Sci. Technol.** 2013, 47, 2471–2486. DOI: [dx.doi.org/10.1021/es304058q](https://doi.org/10.1021/es304058q)

HORTON R. K. An Index Number System for Rating Water Quality. **Journal of the Water Pollution Control Federation**, v. 37, n. 3, 1965, pp. 300-306.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Plano de manejo da área de proteção ambiental (APA) da região serrana de Petrópolis**. Brasília, DF: MMA/IBAMA, 2007. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/apa_petropolis.pdf>. Acesso em: 20/10/2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de informações do censo demográfico 2010**: resultados do universo por setor censitário. IBGE: Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=10410&t=resultados>>. Acesso em: 23 abr. 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes. **Plano de Manejo**: Parque Nacional da Serra dos Órgãos- PARNASO. 2008. Disponível em <https://www.icmbio.gov.br/parnaserradosorgaos/images/stories/conparnaso/Encarte_1_-_PM-PARNASO.pdf>. Acesso em: 20/10/2020.

INEA. Instituto Estadual do Meio Ambiente. **Plano de manejo**: reserva biológica de Araras – RBA (Fase 1). Rio de Janeiro: INEA, 2010. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/02/RBA-PM.pdf>>. Acesso em: 20/10/2020.

INEA. Instituto Estadual do Meio Ambiente. Cadastro Nacional de Uusários de Recursos Hídricos (CNARH40). Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/cadastro-nacional-de-usuarios-de-recursos-hidricos-cnarh/>>. Acesso em: 17/11/2020.

KARAMOUZ, M. et al. Design of river water quality monitoring networks: a case study. **Environmental Modeling & Assessment**, v. 14, n. 705, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10666-008-9172-4>.

KLING, A.S.M. **Aplicação do método Battelle na avaliação do impacto ambiental na bacia hidrográfica do rio Piabanha**. 2005. 121 f. Dissertação (Mestrado em

Ciências) – Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/4961/2/841.pdf>>.

LAWALL, S. **Modificações na hidrologia dos solos em resposta às alterações de uso e cobertura na bacia hidrográfica do Bonfim, região serrana do Rio de Janeiro**. 2010. 197 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

LEE, J.D. **Química inorgânica não tão concisa**. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

LEITE, E.F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Formiga, Tocantins. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 4, n. 12, p. 90-106, dez. 2012.

LI, Y.L. et al. Relationship of land use/cover on water quality in the Liao river basin, China. **Procedia Environmental Sciences**, v. 13, p. 1484-93, 2012.

LIANG, S.; XIAOWEN, L.; WAN, J. (Ed.). **Advanced remote sensing: land cover and land use changes**. New York: Academic Press, 2012. Cap. 24. p. 703-772. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/book/9780123859549/advanced-remote-sensing#book-info>>.

LIU, Y. et al. The selection of monitoring indicators for river water quality assessment. **Procedia Environmental Sciences**, v. 13, p. 129-139, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.013>.

MACHADO, M.B. **Modelagem tridimensional da dispersão de poluentes em rios**. 2006. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

MAPBIOMAS. **Mapas de cobertura e uso de solo do Brasil: coleção 5 (1985-2019)**. Projeto MapBiomas, 2019. Disponível em: <https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR>. Acesso em: 10 mar. 2020.

MARTINS, J.L. **Avaliação do impacto da implantação do sistema de esgotamento sanitário na qualidade da água da bacia do rio Piraquara no município do Rio de Janeiro**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

MELO, J.S.; VILLAS BOAS, M.D. **Regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras: estudo da vazão de 95% de permanência da sub-bacia 58 (bacia do Paraíba do Sul)**. Rio de Janeiro: CPRM, 2017.

MOLINARI, B.S. **Modelagem espacial da qualidade de água na bacia do rio Piabanha/RJ**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

MONTEIRO, A.P.A. **Ocorrência de derivados azotados em alguns produtos destinados à alimentação infantil: nitratos e nitritos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Controle da Qualidade e Toxicologia dos Alimentos) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2014.

MONTES, V.M. **Atlas da região hidrográfica IV**: Piabanha. Petrópolis: AGEVAP, 2019.

MORAIS, A.; VILLAS BOAS, M. D.; PEREIRA, V. S. DO A., MONTEIRO, A. E. G. C.; ARAUJO, L. M. N.; RODRIGUES, R. B. Estudo preliminar de aplicação do sistema AllocServer à bacia do rio Paraíba do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, 2009, Campo Grande, MS. **Anais...** Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/d5942ea598aa7b6f5e333c0505b1353a_7aa3b2e32fca68c24d06e1aa8d962848.pdf>.

MORAIS, A; VILLAS BOAS, M.D.; BASTOS, A. O; MONTEIRO, A. E. G. C.; ARAUJO, L. M. N. Estudos para um diagnóstico quali-quantitativo em bacias experimentais – Estudo de Caso: Bacia do rio Piabanha. In 2º Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul, 2009, Taubaté, São Paulo. **Anais...**

NAGALLI, A.; NEMES, P.D. Estudo da qualidade de água de corpo receptor de efluentes líquidos industriais e domésticos. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 131-144, abr./jun. 2009.

NEMES, P.D. **Estudo de capacidade de suporte de carga de corpo receptor dos efluentes líquidos de uma lavanderia industrial**. 2009. 121 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Química Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**, 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

NUNES, D.G. **Modelagem da autodepuração e qualidade da água do rio Sujo**. 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

NUNES, M.L.A. **Subsídio para o enquadramento do rio Piabanha respaldado por modelagem matemática de qualidade da água**. 2014. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

OKI, V.K. **Impactos da colheita de *Pinus taeda* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e a ciclagem de nutrientes em microbacias**. 2002. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

OPPA, L.F. **Utilização de modelo matemático de qualidade da água para análise de alternativas de enquadramento do rio Vacacaí-Mirim**. 2007. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

PEREIRA, L.P.F.; MERCANTE, C.T.J. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água: uma revisão. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 81-8, 2005. Disponível em: <https://www.pesca.sp.gov.br/Pereira_31_1.pdf>.

PINTO, M.C.F. (Org.). **Medição *in loco***: temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido. Manual. Belo Horizonte: CPRM, 2007. Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/geologia_medica/manual_medicoes_T_%20pH_OD.pdf>.

PIVELI, R.P.; KATO, M.T. **Qualidade das águas e poluição**: aspectos físico-químicos. São Paulo: ABES, 2005. v. 1. 285 p.

PORTO, M.F.A.; BRANCO, S.M.; LUCA, S.L Caracterização da qualidade da água. In: PORTO, R.L.L. (Org.). **Hidrologia ambiental**. São Paulo: EDUSP; ABRH, 1991. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 3).

PORTO, M.F.A.; PORTO, R.L.L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a04.pdf>>. Acesso em: 1 jun. 2020.

PRODANOFF, J.H.A. **Avaliação da poluição difusa gerada por enxurradas em meio urbano**. 2005. 266 f. (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil), 2005) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

QUEIROZ, M.T.A. et al. Análise espaço-temporal de parâmetros de qualidade da água no rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v. 6, n. 2, p. 170-182, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2015.002.0012>

RABAÇO, H.J. **História de Petrópolis**. Petrópolis: Instituto Histórico de Petrópolis. Petrópolis 1985,140pp.

RAMBALDI, D. M. A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro. Série Estados e Regiões da RBMA, Caderno da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. CETESB, São Paulo, Cad. 22, 2003.

REBOITA, M.; GAN, M. A.; DA ROCHA, F. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185–204, 2010.

REBOUÇAS, A. da C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. DA C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. Águas doces no Brasil capitais ecológicos usos e conservação. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2002. p. 269-324

REIS, J.A.; MENDONÇA, A.S. **Teores limites para compostos amoniacais em efluentes e corpos receptores: conflitos e inter-relações**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 6, 1965-1974.

RESENDE, A.V. de. **Agricultura e qualidade**: contaminação da água por nitrato. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2002. 29 p. (Documentos/EMBRAPA Cerrados, n. 57).

RIBEIRO, C.B.M. et al. Monitoramento do uso e ocupação do solo de uma bacia hidrográfica através de técnicas de sensoriamento remoto.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 14., Aracaju, 2001. **Anais...**

RIEHL, A. et al. Monitoramento do ânion sulfato nas etapas de ribeira. **Revista do Couro: Tecnologia**, v. 39, n. 229, p. 64-70, jul.-ago. 2013. Disponível em:

<https://www.senairs.org.br/sites/default/files/documents/artigo_monitoramento_do_ani_on_sulfato_nas_etapas_de_ribeira.pdf>. Acesso em: 16 set. 2020.

RODRIGUEZ, D.A. **Impactos dos padrões espaciais da vegetação nas variáveis atmosféricas e terrestre do ciclo hidrológico em bacia de floresta amazônica**. 2011. 208 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

RODRIGUEZ, D.A.; TOMASELLA, J.; LINHARES, C. Is the forest conversion to pasture affecting the hydrological response of Amazonian catchments? Signals in the Ji-Paraná basin. **Hydrological Processes**, v. 24, n. 10, p. 1254-69, 2010. <https://doi.org/10.1002/hyp.7586>.

ROSÁRIO, L. S. **Análise das áreas de proteção permanente com suporte de geotecnologias face a possíveis alterações no código florestal brasileiro – estudo de caso: bacia do rio Piabanha/RJ**. XVI, 146 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. COPPE. UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.

SANTOS, E.H.M.; GRIEBELER, N.P.; OLIVEIRA, L.F.C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na bacia hidrográfica do ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, 2010. Acesso em: 5 fev. 2020. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000800006>.

SANTOS, J.F. **Projeto de assistência técnica ao setor de energia**: relatório técnico nº 65 (perfil zinco). Brasília, DF: MME/SGM/Banco Mundial, 2009. Produto 39 – Cadeia do Zinco.

SANTOS, M.; SILVEIRA, M.L.O. **Brasil**: território e sociedade no início do século XXI. 6. ed. Rio de Janeiro: Record, 2004. 473 p.

SANTOS, N.M. **Análise da influência da cobertura do solo sobre os valores das variáveis físicas da atmosfera em diferentes localidades no estado do Rio de Janeiro**. 2009. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenheiro Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

SANTOS, R.C.M.M. **Estudo de parâmetros relevantes da poluição da água por efluentes de lavanderia e tinturaria industriais em um rio não perene**. 2008. 113 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Industriais) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

SELLE, B.; SCHWIENTEK, M.; LISCHIED, G. Understanding processes governing water quality in catchments using principal component scores. **Journal of Hydrology**, v. 486, p. 31-8, 2013.

SILVA, D.D. et al. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um argissolo vermelho-amarelo utilizando simulador de chuva. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 409-419, 2005.

SILVA, F.P. **Previsão de tempestades severas e de transbordamentos no rio Quitandinha – Petrópolis/RJ**. 2019, 284 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

SILVA, F.P. et al. Pattern evaluation of operational radar reflectivity-rainfall relationship for Quitandinha river flooding events: Petrópolis, Rio de Janeiro (Brazil).

Environmental Earth Sciences, v. 79, n. 525, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09273-z>

SILVA, L.H.A.; MELLO, E.V.; BARBOSA, D.R. Risco ambiental de enchentes nos rios formadores da bacia do rio Piabanha (região serrana fluminense). **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 2, p. 78-83, 2012.

SILVA, S.H.L da; BRAGA, F. de A.; FONSECA, A.R. Análise de conflito entre legislação e uso da terra no município de Itabira, MG. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 34, p. 131-144, 2010.

SILVEIRA, A.L.L. Ciclo hidrológico e a bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: EDUSP/ABRH, 1997. p. 35-51.

SIMEONOVA, V. et al. 2003. Assessment of the surface water quality in northern Greece. **Water Research**, v. 37, n. 17, p. 4119-24, 2003.

SOARES, P.F. **Projeto e avaliação de desempenho de redes de monitoramento de qualidade da água utilizando o conceito de entropia**. 2001. 242 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo.

SOUZA, A.E.; FONSECA, D.S. Fosfato. In: RODRIGUES, A.F.S. (Coord.). **Economia mineral do Brasil**. Brasília, DF: DNPM, 2009. p. 546-569. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/7-2-fosfato>>. Acesso em: 16 set. 2020.

SOUZA JR, C.M. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. DOI: 10.3390/rs12172735.

TORRES, G.P.; CARMO, L.F.R.; PALMEIRA, A.C.P.A. Estudo da relação entre precipitação e deslizamentos no município de Petrópolis – RJ. **Sistemas & Gestão**, v. 15, n. 1, p. 38-45, 2020.

TROMBONI, F.; DODDS, W.K. Relationships between land use and stream nutrient concentrations in a highly urbanized tropical region of Brazil: thresholds and riparian zones. **Environmental Management**, v. 60, p. 30-40, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0858-8>.

TUCCI, C.E.M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília, DF: UNESCO, 2001. 191 p.

UNEP. United Nation Environment Program. **Vital Water Graphics. An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters**, 2002. Disponível em: <<https://www.unep.org/resources/report/vital-water-graphics-overview-state-worlds-fresh-and-marine-waters>; <https://visionscarto.net/water-cycle> >. Acesso em 21/10/2020.

VASCONCELOS, M.G. **Avaliação integrada da qualidade da água do rio Uberabinha – MG com base na caracterização química dos sedimentos e de espécimes da ictiofauna**. 2012. 188 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

VEJA BRASIL 2011. Fonte: <https://veja.abril.com.br/brasil/cidades-brasileiras-enfrentam-o-verao-despreparadas-para-as-chuvas/> Acesso em 21/10/2020.

- VILLAS BOAS, M.D.; BASTOS, A. O; ARAUJO, L. M. N.; SILVA, J. P.G.; MONTEIRO, A. E. G. C. O manejo do uso do solo como mecanismo regulatório da gestão da qualidade da água – estudo de caso: a bacia do rio Piabanha. In: IWRA WORLD WATER CONGRESS, 14., 2011, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas: IWRA, 2011a. 1 CD-ROM.
- VILLAS BOAS, M.D.; CHAVES, C. F. B.; SANTOS, F. J. S., SILVA, J. P. G.; HENRIQUES, M. P., MONTEIRO, A. E. G. C. 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: ABRH, 2011b. 1 CD-ROM.
- VILLAS BOAS, M.D. **Ferramenta 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) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- VON SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: EDUFMG, 2005. 452 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).
- VON SPERLING, M. Quality standards for water bodies in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE SO DIFFUSE POLLUTION, 11. / JOINT MEETING OF THE IWA DIFFUSE POLLUTION AND URBAN DRAINAGE SPECIALIST GROUPS, 1., 2007, Belo Horizonte. **Anais...**
- WEI, M. et al. Exploration and application of hydrochemical characteristics method for quantification of pollution sources in the Danjiangkou Reservoir area. **Journal of Hydrology**, v. 590, 2020.
- WEINBERG, A. **Metodologia para priorização do controle e monitoramento da qualidade das águas, como ferramenta para gestão de recursos hídricos – Rio de Janeiro.** 2018. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- WENG, Q. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impacts on temperature in the Zhujang delta, China. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 10, 1999-2014, 2001.
- XIA, L.L.; LIU, R.Z.; ZAO Y.W. Correlation analysis of landscape pattern and water quality in Baiyangdian watershed. **Procedia Environmental Sciences**, v. 13, p. 2188-2196, 2012.
- YANG, Y.; CHEN, H.; YANG, Z.F. Integration of water quantity and quality in environmental flow assessment in wetlands. **Procedia Environmental Sciences**, v. 13, p. 1535-1552, 2012.
- YILMAZ, K.K.; GUPTA, H.V.; WAGENER, T. A process-based diagnostic approach to model evaluation: application to the NWS distributed hydrologic model. **Water Resources Research**, v. 44, 2008. <https://doi.org/10.1029/2007WR006716>.

- YOU, Y.Y. et al. Simulation and validation of non-point source nitrogen and phosphorus loads under different land uses in Sihui basin, Hubei province, China. **Procedia Environmental Sciences**, v. 13, p. 1781-1797, 2012.
- ZALIDIS, G. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the mediterranean region and proposed assessment methodology. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 88, p. 137-146, 2002.
- ZHAO, G.X.; LIN, G.; WARNER, T. Using Thematic Mapper data for change detection and sustainable use of cultivated land: a case study in the Yellow river delta, China. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 13, p. 2509-22, 2004. <https://doi.org/10.1080/01431160310001619571>.
- ZHAO, Y. et al. Assessment of water quality in Baiyangdian lake using multivariate statistical techniques. **Procedia Environmental Sciences**, v. 13, p. 1213-26, 2012.

ANEXO I – DIAGRAMA UNIFILAR DAS ESTAÇÕES

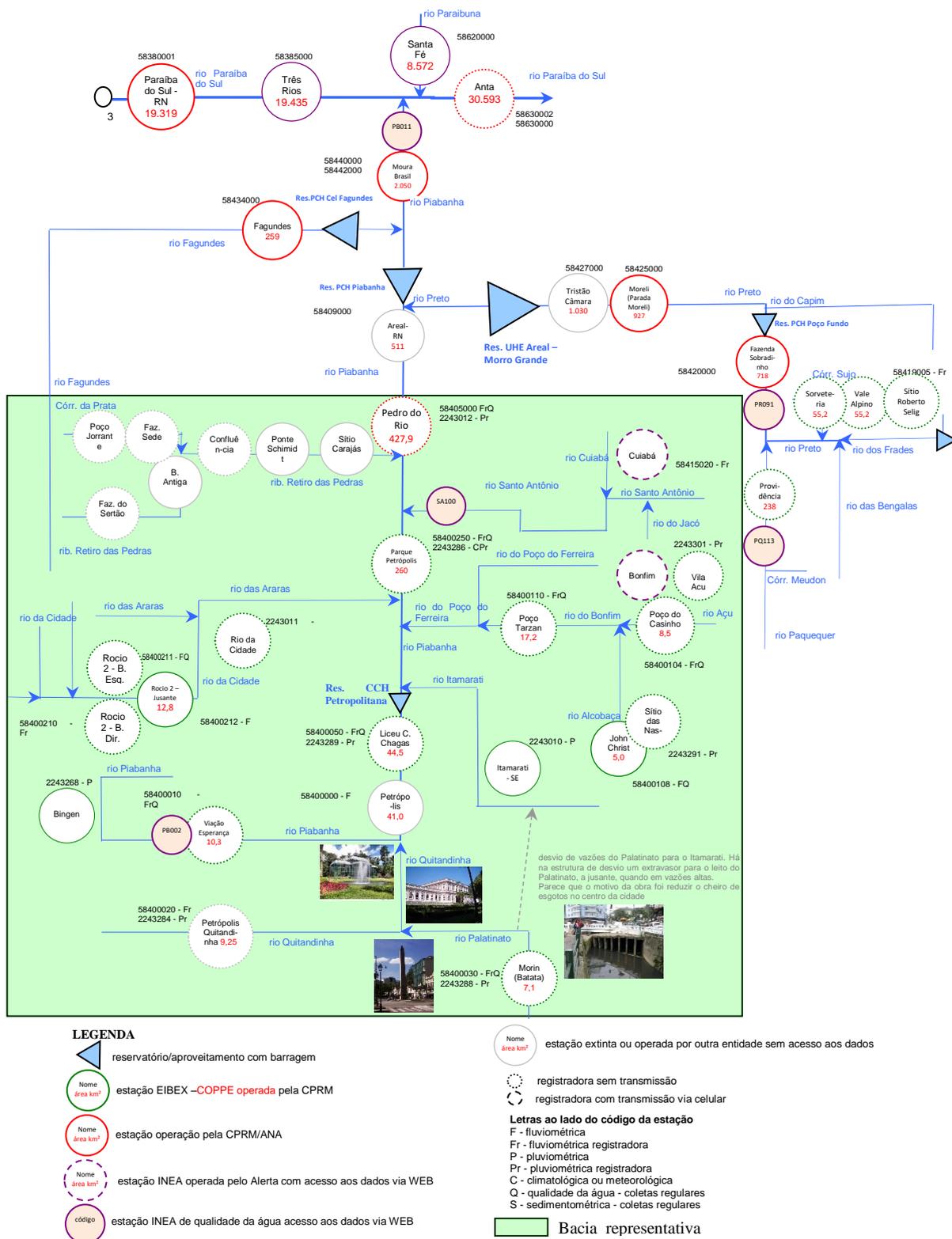


Figura I.1: Diagrama unifilar da bacia do rio Piabanha, afluente do rio Paraíba do Sul pela margem direita. Fonte: Araujo (2016).

ANEXO II – Monitoramento nas Estações EIBEX



Figura II.1: Estação: Liceu Carlos Chagas – Coordenadas (22° 29' 14"S; 43° 10' 38"W)



Figura II.2: Estação: Poço Tarzan – Coordenadas (22°27'14"S; 43°06'28"W)



Figura II.3: Estação Rocio– Coordenadas (22°28'38,70''S; 43° 06'9,21''W)



Figura II.4: Estação: Parque Petrópolis – Coordenadas (22° 24' 19"S; 43° 08' 00"W)



Figura II.5: Estação: Pedro do Rio – Coordenadas (22° 19'56"S; 43° 08'01"W)

ANEXO III – Áreas de cada classe de uso e cobertura nas cinco sub-bacias

Tabela III.1: Tabela com os percentuais obtidos para a área de drenagem da estação Liceu

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%	ANO	ÁREA (km ²)	%
Rio, Lago e Oceanos	2009	0,011773	0,03%	2010	0,011936	0,03%
Mineração						
Afloramento Rochoso		0,015809	0,04%		0,018551	0,04%
Outras Áreas não Vegetadas		0,69914	1,61%		0,677374	1,56%
Infraestrutura Urbana		9,37881	21,63%		9,49107	21,89%
Mosaico de Agricultura e Paisagem		7,00775	16,16%		6,9222	15,97%
Pastagem		0,90876	2,10%		0,952217	2,20%
Floresta Plantada						
Formação Florestal		25,3366	58,43%		25,285	58,32%

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%	ANO	ÁREA (km ²)	%
Rio, Lago e Oceanos	2011	0,011936	0,03%	2012	0,011936	0,03%
Mineração						
Afloramento Rochoso		0,012764	0,03%		0,006799	0,02%
Outras Áreas não Vegetadas		0,577272	1,33%		0,555486	1,28%
Infraestrutura Urbana		9,74971	22,49%		10,0045	23,07%
Mosaico de Agricultura e Paisagem		6,76863	15,61%		6,62137	15,27%
Pastagem		0,940655	2,17%		0,929583	2,14%
Floresta Plantada						
Formação Florestal		25,2974	58,34%		25,229	58,19%

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%	ANO	ÁREA (km ²)	%
Rio, Lago e Oceanos	2013	0,011936	0,03%	2014	0,011936	0,03%
Mineração						
Afloramento Rochoso		0,006797	0,02%		0,005969	0,01%
Outras Áreas não Vegetadas		0,517656	1,19%		0,331121	0,76%
Infraestrutura Urbana		10,4355	24,07%		11,2341	25,91%
Mosaico de Agricultura e Paisagem		6,17284	14,24%		5,54063	12,78%
Pastagem		0,915392	2,11%		0,980928	2,26%
Floresta Plantada						
Formação Florestal		25,2987	58,35%		25,2538	58,24%

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%
Rio, Lago e Oceanos	2015	0,011936	0,03%
Mineração			
Afloramento Rochoso		0,005376	0,01%
Outras Áreas não Vegetadas		0,258931	0,60%
Infraestrutura Urbana		11,3241	26,12%
Mosaico de Agricultura e Paisagem		5,57369	12,85%
Pastagem		0,915153	2,11%
Floresta Plantada			
Formação Florestal		25,2696	58,28%

Tabela III.2: Tabela com os percentuais obtidos para a área de drenagem da estação Poço Tarzan

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%	ANO	ÁREA (km ²)	%	
Rio, Lago e Oceanos	2009			2010			
Mineração							
Afloramento Rochoso		1,12862	6,58%			1,13513	6,62%
Outras Áreas não Vegetadas							
Infraestrutura Urbana							
Mosaico de Agricultura e Paisagem		3,00833	17,55%			2,98128	17,39%
Pastagem		2,02107	11,79%			1,9959	11,64%
Floresta Plantada							
Formação Florestal		10,9815	64,07%			11,0283	64,34%

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%	ANO	ÁREA (km ²)	%	
Rio, Lago e Oceanos	2011			2012			
Mineração							
Afloramento Rochoso		1,13406	6,62%			1,09964	6,42%
Outras Áreas não Vegetadas						0,009372	
Infraestrutura Urbana							
Mosaico de Agricultura e Paisagem		3,08656	18,01%			3,22804	18,83%
Pastagem		1,89564	11,06%			1,74101	10,16%
Floresta Plantada							
Formação Florestal		11,024	64,32%			11,0615	64,54%

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%	ANO	ÁREA (km ²)	%	
Rio, Lago e Oceanos	2013			2014			
Mineração							
Afloramento Rochoso		1,09995	6,42%			1,08609	6,34%
Outras Áreas não Vegetadas		0,009902				0,008247	
Infraestrutura Urbana							
Mosaico de Agricultura e Paisagem		3,37287	19,68%			3,11655	18,18%
Pastagem		1,58714	9,26%			1,81855	10,61%
Floresta Plantada							
Formação Florestal		11,0696	64,59%			11,11	64,82%

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%
Rio, Lago e Oceanos	2015		
Mineração			
Afloramento Rochoso		1,08336	6,32%
Outras Áreas não Vegetadas		0,008247	
Infraestrutura Urbana			
Mosaico de Agricultura e Paisagem		3,12919	18,26%
Pastagem		1,78023	10,39%
Floresta Plantada			
Formação Florestal		11,1385	64,99%

Tabela III.3: Tabela com os percentuais obtidos para a área de drenagem da estação Rocio

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%	ANO	ÁREA (km ²)	%	
Rio, Lago e Oceanos	2009			2010			
Mineração							
Afloramento Rochoso							
Outras Áreas não Vegetadas		0,009468	0,08%			0,011253	1,62%
Infraestrutura Urbana							
Mosaico de Agricultura e Paisagem		0,205922	1,64%			0,203998	
Pastagem							
Floresta Plantada							
Formação Florestal		12,3681	98,29%			12,3683	98,29%

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%	ANO	ÁREA (km ²)	%	
Rio, Lago e Oceanos	2011			2012			
Mineração							
Afloramento Rochoso							
Outras Áreas não Vegetadas		0,008569	0,07%			0,007812	0,06%
Infraestrutura Urbana							
Mosaico de Agricultura e Paisagem		0,208053	1,65%			0,203648	1,62%
Pastagem							
Floresta Plantada							
Formação Florestal		12,3669	98,28%			12,3728	98,32%

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%	ANO	ÁREA (km ²)	%	
Rio, Lago e Oceanos	2013			2014			
Mineração							
Afloramento Rochoso							
Outras Áreas não Vegetadas		0,006157	0,05%			0,010035	0,08%
Infraestrutura Urbana							
Mosaico de Agricultura e Paisagem		0,207322	1,65%			0,208437	1,66%
Pastagem							
Floresta Plantada							
Formação Florestal		12,3708	98,30%			12,3662	98,26%

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%
Rio, Lago e Oceanos	2015		
Mineração			
Afloramento Rochoso			
Outras Áreas não Vegetadas		0,013476	0,11%
Infraestrutura Urbana			
Mosaico de Agricultura e Paisagem		0,202887	1,61%
Pastagem		0,001655	0,01%
Floresta Plantada			
Formação Florestal		12,3658	98,27%

Tabela III.4: Tabela com os percentuais obtidos para a área de drenagem da estação Parque Petrópolis

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%	ANO	ÁREA (km ²)	%
Rio, Lago e Oceanos	2009	0,011773		2010	0,011936	
Mineração		0,007279			0,007452	
Afloramento Rochoso		5,64215	2,18%		5,64278	2,18%
Outras Áreas não Vegetadas		1,44953	0,56%		1,43815	0,56%
Infraestrutura Urbana		16,4325	6,36%		16,5873	6,42%
Mosaico de Agricultura e Paisagem		42,575	16,48%		42,1124	16,30%
Pastagem		23,0515	9%		23,4896	9,09%
Floresta Plantada					0,001155	
Formação Florestal		169,251	65,49%		169,13	65,45%

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%	ANO	ÁREA (km ²)	%
Rio, Lago e Oceanos	2011	0,011936		2012	0,011936	
Mineração						
Afloramento Rochoso		5,64657	2,19%		5,57856	2,16%
Outras Áreas não Vegetadas		1,25273	0,48%		1,27569	0,49%
Infraestrutura Urbana		17,2054	6,66%		17,6502	6,83%
Mosaico de Agricultura e Paisagem		42,5037	16,45%		43,0052	16,64%
Pastagem		23,0103	8,90%		22,3417	8,65%
Floresta Plantada		0,005019			0,005419	
Formação Florestal		168,785	65,31%		168,551	65,22%

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%	ANO	ÁREA (km ²)	%
Rio, Lago e Oceanos	2013	0,011936		2014	0,011936	
Mineração						
Afloramento Rochoso		5,60664	2,17%		5,59169	2,16%
Outras Áreas não Vegetadas		1,40663	0,54%		1,08788	0,42%
Infraestrutura Urbana		17,8368	6,90%		19,1567	7,41%
Mosaico de Agricultura e Paisagem		43,1256	16,69%		40,543	15,69%
Pastagem		21,9297	8,49%		23,554	9,11%
Floresta Plantada		0,018601			0,027095	
Formação Florestal		168,485	65,20%		168,448	65,18%

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%
Rio, Lago e Oceanos	2015	0,011936	
Mineração			
Afloramento Rochoso		5,56203	2,15%
Outras Áreas não Vegetadas		1,01225	0,39%
Infraestrutura Urbana		19,4655	7,53%
Mosaico de Agricultura e Paisagem		41,4817	16,05%
Pastagem		22,3317	8,64%
Floresta Plantada		0,032615	
Formação Florestal		168,524	65,21%

Tabela III.5: Tabela com os percentuais obtidos para a área de drenagem da estação Pedro do Rio

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%	ANO	ÁREA (km ²)	%
Rio, Lago e Oceanos	2009	0,021167		2010	0,023157	
Mineração		0,007279			0,007452	
Afloramento Rochoso		10,6741	2,62%		10,7484	2,64%
Outras Áreas não Vegetadas		1,76452	0,43%		1,79926	0,44%
Infraestrutura Urbana		18,7703	4,61%		18,8774	4,64%
Mosaico de Agricultura e Paisagem		68,2171	16,77%		66,7225	16,40%
Pastagem		52,6304	12,94%		54,0196	13,28%
Floresta Plantada		0,210012	0,05%		0,278924	0,07%
Formação Florestal		254,52	62,56%		254,338	62,52%

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%	ANO	ÁREA (km ²)	%
Rio, Lago e Oceanos	2011	0,021733		2012	0,021733	
Mineração						
Afloramento Rochoso		10,8426	2,67%		10,7181	2,63%
Outras Áreas não Vegetadas		1,63111	0,40%		1,67981	0,41%
Infraestrutura Urbana		19,7092	4,84%		20,1609	4,96%
Mosaico de Agricultura e Paisagem		68,6354	16,87%		69,9912	17,20%
Pastagem		52,5356	12,91%		51,4176	12,64%
Floresta Plantada		0,335484	0,08%		0,39588	0,10%
Formação Florestal		253,105	62,22%		252,428	62,05%

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%	ANO	ÁREA (km ²)	%
Rio, Lago e Oceanos	2013	0,0213		2014	0,022412	
Mineração						
Afloramento Rochoso		10,7562	2,64%		10,6485	2,62%
Outras Áreas não Vegetadas		1,89258	0,47%		1,5262	0,38%
Infraestrutura Urbana		20,2172	4,97%		21,6313	5,32%
Mosaico de Agricultura e Paisagem		70,8072	17,41%		68,0496	16,73%
Pastagem		50,5543	12,43%		52,4297	12,89%
Floresta Plantada		0,416114	0,10%		0,423947	0,10%
Formação Florestal		252,148	61,98%		252,081	61,96%

Classe de uso de solo	ANO	ÁREA (km ²)	%
Rio, Lago e Oceanos	2015	0,022412	
Mineração			
Afloramento Rochoso		10,5434	2,62%
Outras Áreas não Vegetadas		1,36002	0,38%
Infraestrutura Urbana		22,0529	5,32%
Mosaico de Agricultura e Paisagem		71,4391	16,73%
Pastagem		49,2607	12,89%
Floresta Plantada		0,440013	0,10%
Formação Florestal		251,695	61,96%