

VANESSA CEZAR SIMONETTI

**CORRELAÇÃO ESPACIAL E SAZONAL DE PARÂMETROS
INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO ALTO SOROCABA ASSOCIADAS AO USO DO
SOLO**

Sorocaba
2018

VANESSA CEZAR SIMONETTI

**CORRELAÇÃO ESPACIAL E SAZONAL DE PARÂMETROS
INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO ALTO SOROCABA ASSOCIADAS AO USO DO
SOLO**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. André Henrique Rosa
Coorientador: Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva

Sorocaba
2018

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Unesp
Instituto de Ciência e Tecnologia – Câmpus de Sorocaba

Simonetti, Vanessa Cezar.

Correlação espacial e sazonal de parâmetros indicadores de qualidade da água da bacia hidrográfica do Alto Sorocaba associadas ao uso do solo / Vanessa Cezar Simonetti, 2018. 121 f.: il.

Orientador: André Henrique Rosa.

Coorientador: Darllan Collins da Cunha e Silva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba), 2018.

1. Água - Qualidade. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Área de preservação permanente. I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba). II. Título.

Bibliotecário responsável: Bruna Bacalchini – CRB 8/8855



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Sorocaba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Correlação espacial e sazonal de parâmetros indicadores de qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Alto Sorocaba associadas ao uso do solo

AUTORA: VANESSA CEZAR SIMONETTI

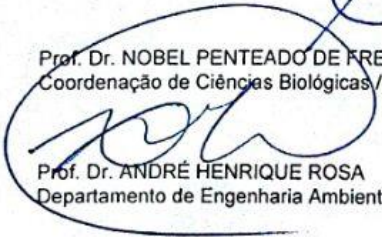
ORIENTADOR: ANDRÉ HENRIQUE ROSA

COORIENTADOR: DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIAS AMBIENTAIS, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. MANUEL ENRIQUE GAMEIRO GUANDIQUE
Engenharia Ambiental / UNESP - ICT Sorocaba



Prof. Dr. NOBEL PENTEADO DE FREITAS
Coordenação de Ciências Biológicas / Universidade de Sorocaba (UNISO)

Prof. Dr. ANDRÉ HENRIQUE ROSA
Departamento de Engenharia Ambiental / Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP – Sorocaba

Sorocaba, 09 de março de 2018

Dedico este trabalho aos meus pais, Maria Clotilde Mariano Simonetti e Valdir Cezar Simonetti, pelo amor incondicional e por acreditar em meus sonhos.

A minha irmã Bruna Cezar Simonetti, pelos conselhos, ombro amigo e pelos Reikis. A Giovaninha, que vi nascer e será sempre meu eterno bebê.

Aos meus avós, Irene Cezar Simonetti e Rubens Cezar Simonetti (in memoriam) que sempre se orgulharam de minhas conquistas.

Ao meu grande amor, Larissa Furian, por ter possibilitado esta conquista (e tantas outras) e por andar sempre de mãos dadas nessa estrada sinuosa da vida.

Ao Levi Mariano, que entrou em minha vida para trazer ensinamentos diários e muito amor.

AGRADECIMENTOS

Gratidão a Deus pela força e pela coragem de persistir mesmo diante de ventos muitas vezes contrários.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e aos docentes e coordenadoria do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pela oportunidade de desenvolver este projeto.

Ao Professor André Henrique Rosa, pela orientação e confiança depositada em mim no desenvolvimento desse trabalho.

Ao Professor Darllan Collins da Cunha e Silva, pela oportunidade de desenvolver tantos trabalhos, pelos ensinamentos, pela amizade, enfim, são tantos atributos que não caberiam nesse breve espaço.

À Universidade de Sorocaba (UNISO) pelo apoio, e ao professor Nobel Penteado de Freitas pela confiança depositada.

Aos professores que gentilmente dispuseram do seu tempo para participar da banca, contribuindo com o melhoramento deste trabalho.

À Débora Zumkeller Sabonaro, pelas oportunidades, incentivos, sorriso fácil, e pela ótima energia (conviver com você foi um grande prazer!).

À Professora Viviane Moschini-Carlos pelo apoio e prestatividade.

Ao irmão que a vida me deu de presente, Renan Antrizani de Oliveira, uma das pessoas mais talentosas e competentes que já conheci (esse menino vai longe!).

Ao meu amigo e companheiro de coleta e pedaladas, Eduardo Augusto Braga Stroka.

Ao meu grande companheiro Lucas Romano, pela ajuda e compreensão.

Aos colegas e amigos da Unesp e ao grupo da química que sempre me ajudou.

À Daniele Frascareli, pela amizade, ajuda, prestatividade e altos papos.

À Darllene Silveira Melo pela amizade e ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

À Claudia Hitomi Watanabe, Érick Sartori, Mineia Moraes, Ignácio Montero e Carol Bueno, e a todos que colaboraram de alguma forma.

À Leila dos Santos Machado pela ajuda na realização das análises e apoio nas coletas.

À Patrícia Proença pela amizade, desabafos e incentivos.

Às técnicas de laboratório da UNESP, em especial à Letícia Boschini Fraga Gonçalves e Suzan da Silva Lessa, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

À Nelise de Masi Issobe, por me ajudar na gestão desse trabalho, pelo apoio psicológico e até mesmo pelos puxões de orelhas merecidos.

À Rosaly Furian, Hélio Furian, Cleber Sandei (G1) e Mariana Sandei (G4) pelo apoio e pelo constante incentivo.

À família, que de um modo geral, compreenderam as tantas ausências e me apoiaram nesta jornada!

“O rio é o pai dos homens e das árvores, dos animais e das plantas.

Sem ele não há peixes, nem aves, também.

Não há colheitas, nem flores, nem vinho, nem bois e o homem não foge, queimando pelo sol.

Depois de ter dado a vida, o rio tem duas maneiras de morrer: espalhar-se no seio de outro rio, mais volumoso, ou vai diretamente perder-se no mar, que é o cemitério de todos os rios”.

Remy de Gourmont

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 Poluição dos recursos hídricos.....	20
2.1.1 Fontes e rotas de aporte de contaminantes nos recursos hídricos	21
2.2 Áreas protegidas para conservação ambiental	23
2.3 Uso e ocupação do solo e suas implicações	25
2.3.1 Contaminação ambiental de acordo com o uso e ocupação do solo.....	26
2.4 Sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento ambiental.....	26
2.5 Índices e indicadores de qualidade das águas	28
3 OBJETIVOS.....	30
3.1 Objetivo geral.....	30
3.2 Objetivos específicos.....	30
4 METODOLOGIA	31
4.1 Caracterização da área de estudo	31
4.2 Justificativa dos pontos amostrais.....	33
4.3 Amostragem	35
4.4 Materiais utilizados	35
4.5 Métodos utilizados no estudo.....	36
4.5.1 Análises in-situ.....	37
4.5.2 Análises off-site.....	37
4.6 Índices e indicadores de qualidade das águas utilizados.....	37
4.6.1 Índice de qualidade das águas (IQA)	37
4.6.2 Índice de Estado Trófico (IET)	38
4.6.3 Índice de Vida Aquática (IVA)	41
4.6.4 Análise de Metais	43

4.7	Análise espacial da Área de Proteção Ambiental (APA) Itupararanga	44
4.7.1	Mapa de Classes de Risco das Áreas de Preservação Permanente (APP) da APA Itupararanga	47
4.8	Tratamento estatístico dos dados	48
4.9	Coleta de dados	48
4.10	Etapas da coleta e preservação das amostras	49
4.11	Descarte de resíduos	49
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5.1	Qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Alto Sorocaba	50
5.2	Índices de qualidade de água obtidos no estudo	64
5.3	Índice de Vida Aquática (IVA)	68
5.4	Geotecnologias como ferramenta de auxílio na análise ambiental da APA de Itupararanga	71
5.5	Análise da Fragilidade da Área de Proteção Ambiental (APA) Itupararanga	74
5.6	Classes de Fragilidade das Áreas de Preservação Permanente (APPs) marginais aos cursos d'água da APA Itupararanga	75
5.7	Mapa de uso do solo da APA de Itupararanga	78
5.8	Mapa das Classes de Risco das APPs da APA de Itupararanga	87
5.9	Classes de Risco das APPs das sub-bacias da APA de Itupararanga	89
5.10	Resultados das Análises Estatísticas Multivariadas	100
5.10.1	Análise de Componentes Principais (ACP)	100
6	CONCLUSÕES	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Valores de precipitação média, vazão média e disponibilidade hídrica por regiões hidrográficas.....	21
Figura 2. Localização da área de estudo	32
Figura 3. Pontos amostrais obtidos na APA Itupararanga	34
Figura 4. Fluxograma dos métodos e análises realizadas no estudo	36
Figura 5. Fluxograma da metodologia utilizada para análise espacial da APA Itupararanga	44
Figura 6. Etapas da coleta e preservação das amostras.....	49
Figura 7. Histograma da distribuição das chuvas do reservatório nos períodos estudados	50
Figura 8. Valores dos parâmetros físico-químicos da água dos pontos amostrais em dois períodos distintos	53
Figura 9. Resultados dos parâmetros de turbidez (Turb), sólidos totais dissolvidos (STD), fósforo total (PT) e nitrogênio total (NT).....	55
Figura 10. Resultados dos parâmetros de demanda bioquímica de oxigênio, surfactantes, coliformes termotolerantes e coliformes totais obtidos sazonalmente	58
Figura 11. Resíduo total dos pontos amostrais do período chuvoso.....	60
Figura 12. Resultados sazonais obtidos para a variável potencial redox.....	61
Figura 13. Resultados sazonais de clorofila-a dos pontos amostrais.....	62
Figura 14. Resultados sazonais do Índice de Qualidade das Águas (IQA) dos pontos amostrais	64
Figura 15. Resultados sazonais do Índice de Estado Trófico (IET) dos pontos amostrais	66
Figura 16. Resultados do Índice de Vida Aquática (IVA) dos pontos amostrais do período chuvoso.....	69

Figura 17. Resultados do Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática (IPMCA) dos pontos amostrais do período chuvoso.....	70
Figura 18. Mapa de altitude da APA de Itupararanga	71
Figura 19. Mapa de declividade da APA Itupararanga.....	73
Figura 20. Mapa de Fragilidade da APA Itupararanga.....	74
Figura 21. Classes de Fragilidade das Áreas de Preservação Permanente da APA Itupararanga	76
Figura 22. Classes de Fragilidade das APPs das sub-bacias da APA Ituparranga Fonte: Elaboração própria.....	77
Figura 23. Mapa de Uso do Solo da APA de Itupararanga	79
Figura 24. Classes de Risco das APPs da APA de Itupararanga	89
Figura 25. Classes de risco das Áreas de Preservação Permanente do reservatório de Itupararanga	90
Figura 26. Diferentes usos identificados no entorno do Reservatório de Itupararanga	91
Figura 27. Classes de Risco das Áreas de Preservação Permanente do Rio Una.....	93
Figura 28. Área de Preservação Permanente do Rio Una.....	94
Figura 29. Classes de Risco das Áreas de Preservação Permanente do Rio.....	95
Figura 30. Área de Preservação Permanente do rio Sorocamirim	96
Figura 31. Classes de risco das APPs da sub-bacia do rio Sorocabuçu.....	97
Figura 32. Área de Preservação Permanente do rio Sorocabuçu.....	98
Figura 33. Resultados sazonais da ACP dos parâmetros de qualidade de água	101
Figura 34. Resultados sazonais da ACP para as variáveis do Índice de Qualidade das Águas (IQA)	105
Figura 35. Resultados sazonais da ACP para as variáveis do Índice de Estado Trófico (IET), IET (CL) e IET (PT)	107
Figura 36. Resultados sazonais da ACP para os parâmetros de qualidade de água e usos do solo da APA Itupararanga.....	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Metais aportados aos sistemas aquáticos	22
Tabela 2. Limites preconizados pela Resolução CONAMA 357/05 para os metais potencialmente tóxicos	23
Tabela 3. Variáveis analisadas via sensoriamento remoto	27
Tabela 4. Coordenadas geográficas dos pontos amostrais da APA Itupararanga.....	33
Tabela 5. Pesos dos parâmetros analisados pelo Índice de Qualidade da Água.....	37
Tabela 6. Níveis de Qualidade das Águas	38
Tabela 7. Classificação do Índice de Estado Trófico (IET).....	39
Tabela 8. Classificação do IPMCA	42
Tabela 9. Classificação do IET	43
Tabela 10. Classificação do Índice de Vida Aquática (IVA)	43
Tabela 11. Classes de declividade	45
Tabela 12. Classes de usos do solo da APA de Itupararanga	46
Tabela 13. Classificação do Indicador das Classes de Risco das matas ciliares da APA de Itupararanga	48
Tabela 14. Valores de precipitação mensais e anual do período de estudo	50
Tabela 15. Síntese dos parâmetros de qualidade da água analisados em dois períodos distintos.....	52
Tabela 16. Resultados da análise de metais obtidos no período chuvoso	63
Tabela 17. Classes de declividade	72
Tabela 18. Análise quantitativa das classes de usos do solo distribuídas por sub-bacias presentes na APA Itupararanga.....	80
Tabela 19. Síntese de informações dos municípios pertencentes à APA Itupararanga	86
Tabela 20. Autovalores dos pontos amostrados com seus respectivos eixos resultantes da Análise de Componentes Principais.....	101

Tabela 21. Autovalores dos pontos amostrados com seus respectivos eixos resultantes da Análise de Componentes Principais.....	105
Tabela 22. Autovalores dos pontos amostrados com seus respectivos eixos resultantes da Análise de Componentes Principais.....	107
Tabela 23. Autovalores dos pontos amostrados com seus respectivos eixos resultantes da Análise de Componentes Principais.....	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA = Agência Nacional de Águas

APA = Área de Proteção Ambiental

APP = Área de Preservação Permanente

CETESB = Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA = Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio

EPA = Environmental Protection Agency

IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas

ICP OES = Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry

IET = Índice de Estado Trófico

IPMCA = Índice de Variáveis Mínimas para a Proteção da Vida Aquática

IQA = Índice de Qualidade das Águas

INPE = Instituto de Pesquisas Espaciais

IVA = Índice de Vida Aquática

LD = Limite de Detecção

LQ = Limite de Quantificação

MD = Metal Dissolvido

MT = Metal Total

OD = Oxigênio Dissolvido

pH = Potencial Hidrogeniônico

RMS = Região Metropolitana de Sorocaba

SAD = South America Datum

SEAD = Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados

UC = Unidade de Conservação

SIG = Sistema de Informação Geográfica

SR = Sensoriamento Remoto

UGRHI = Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UNT = Unidade Nefelométrica de Turbidez

SIMONETTI, V. C. Correlação espacial e sazonal de parâmetros indicadores de qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Alto Sorocaba associadas ao uso do solo. 2018. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2018.

RESUMO

O avanço da degradação ambiental tem comprometido a qualidade de vida da população e os recursos naturais. A maioria das atividades antrópicas reflete negativamente causando diversos impactos ambientais, tais como alterações no uso da terra, alterações na qualidade da água, perda de florestas e biodiversidade. Diante do cenário atual, o sensoriamento remoto (SR) vem ganhando cada vez mais destaque ao que tange o monitoramento ambiental, por permitir a análise de vastas áreas e diversos aspectos ambientais. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo a avaliação sazonal da qualidade da água a partir da análise de parâmetros físico-químicos e biológicos da água bem como a análise espacial da área de estudo. A área de estudo está inserida na Bacia Hidrográfica do Alto Sorocaba, sendo o Rio Una juntamente com os Rios Sorocabuçu e Sorocamirim que se convergem, constituindo o reservatório de Itupararanga, principal manancial de abastecimento de água do município de Sorocaba. Devido sua importância, a área foi instituída por lei como sendo Área de Proteção Ambiental (APA), tendo seus usos regulamentados. A metodologia utilizada consistiu na análise de parâmetros físicos, químicos e biológicos da água através de sonda multiparâmetros e análises laboratoriais. A análise espacial consistiu na geração de diferentes informações cartográficas que, por meio de análise multicritério, determinaram as classes de fragilidade e classes de risco das áreas de preservação permanente da APA Itupararanga. Os resultados indicaram que o Índice de Qualidade da Água (IQA) esteve na categoria Bom e Excelente em todos os pontos amostrados. O Índice de Estado Trófico (IET) foi categorizado como Hipereutrófico em todos os pontos. O Índice de Vida Aquática (IVA) realizado no período chuvoso foi classificado como Péssimo para o rio Sorocabuçu e Ruim para os demais pontos amostrados. A análise da Fragilidade Ambiental da APA revelou que 53,15% está inserida na categoria Muito Baixa e Baixa Fragilidade, enquanto 46,85% apresenta-se nas classes Média, Alta e Muita Fragilidade. No tocante às áreas de APP, às classes Muito Baixa e Baixa representaram 63,93%, e as classes Média, Alta e Muito Alta, totalizaram 36,07%. A análise do uso e ocupação do solo revelou uma intensa atividade agrícola, correspondendo a uma extensão de 122,75 km². Quanto à análise das Classes de Riscos das APPs, foi possível inferir que 77,37% possuem cobertura vegetal. Os riscos obtidos indicaram que 15,46% das APPs apresentaram um risco Muito Baixo, Baixo (4,33), Médio (2,39%), Alto (0,42%) e Muito Alto (0,03%). A análise multivariada concernente aos Componentes Principais (ACP) revelou que os pontos amostrais não se distinguem em relação à sazonalidade. A ACP do uso do solo demonstrou forte correlação positiva entre as áreas agrícolas e o IET(P), fósforo total e resíduos totais. Entretanto, o estudo identificou que os maiores impactos advindos do uso do solo na APA Itupararanga são provenientes das grandes extensões agrícolas, resultado corroborado por meio dos altos valores tróficos obtidos no estudo.

Palavras-chave: Qualidade da Água. Sensoriamento Remoto. Área de Preservação Permanente. Fragilidade Ambiental.

SIMONETTI, V. C. Spatial and seasonal correlation of water quality indicators of the Alto Sorocaba Watershed associated with land use. 2018. 121 f. Dissertation (Master's degree Environmental Sciences) – Sorocaba Institute of Science and Technology, UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2018.

ABSTRACT

The advance of environmental degradation has compromised the quality of life of the population and natural resources. Most anthropogenic activities reflect negatively, causing diverse environmental impacts, such as changes in land use, changes in water quality, loss of forests and biodiversity. In view of the current scenario, remote sensing (SR) has been gaining more and more prominence in relation to environmental monitoring, since it allows the analysis of vast areas and several environmental aspects. In this context, the present study had as objective the seasonal evaluation of the water quality from the analysis of physical-chemical and biological parameters of the water as well as the spatial analysis of the study area. The study area is located in the Alto Sorocaba Hydrographic Basin, with the Rio Una along with the Sorocabuçu and Sorocamirim Rivers that converge, constituting the Itupararanga reservoir, the main source of water supply in the municipality of Sorocaba. Due to its importance, the area was established by law as an Environmental Protection Area (EPA), and its uses are regulated. The methodology used consisted of the analysis of physical, chemical and biological parameters of water through multiparameter probe and laboratory analysis. The spatial analysis consisted in the generation of different cartographic information that, through multicriteria analysis, determined the fragility classes and risk classes of the permanent preservation areas of the Itupararanga EPA. The results indicated that the Water Quality Index (WQI) was in the category Good and Excellent in all the points sampled. The Trophic State Index (TSI) was categorized as Hypereutrophic at all points. The index of aquatic life (IAL) in the rainy season presented high values, being poor for the river Sorocabuçu and Bad for the other points sampled. The analysis of the Environmental Fragility of the EPA revealed that 53.15% is inserted in the category Very Low and Low Fragility, while 46.85% presents in the classes Medium, High and Many Fragility. Regarding the Permanent Preservation Areas (PPA), the Very Low and Low classes accounted for 63.93% of the study, and the Medium, High and Very High classes totaled 36.07%. The analysis of land use and occupation revealed an intense agricultural activity, corresponding to an extension of 122.75 km². Regarding the analysis of the Risk Classes of PPAs, it was possible to infer that 77.37% have vegetal cover. Risks obtained indicated that 15.46% of PPAs presented Very Low, Low (4.33%), Medium (2.39%), High (0.42%) and Very High (0.03%). The multivariate analysis concerning the Principal Components (PCA) revealed that the sampling points do not differ in relation to the seasonality. The land use PCA showed a strong positive correlation between the agricultural areas and the TSI(P), total phosphorus and total residues. However, the study identified that the greatest impacts from the use of the soil in the Itupararanga EPA come from large agricultural areas, a result corroborated by the high trophic values obtained in the study.

Keywords: Water Quality. Remote Sensing, Permanent Preservation Area. Environmental Fragility.

1 INTRODUÇÃO

O avanço da degradação ambiental tem comprometido a qualidade de vida da população e dos recursos naturais. A maioria das atividades antrópicas reflete negativamente causando diversos impactos ambientais, tais como alterações no uso da terra, alterações na qualidade da água, perda de florestas e biodiversidade, entre outras.

As alterações no ambiente remontam aos primórdios da civilização, dentre os quais Marcondes (2005) relata a substituição das florestas pelo plantio agrícola no período Neolítico, compreendido entre 3 e 4 mil anos antes de Cristo. O desmatamento das florestas foi tão intenso no mundo todo, que muitos países industrializados não possuem mais florestas nativas. Infelizmente, o Brasil possui um passado sombrio e pouco amistoso com suas florestas. Alguns biomas, como a Mata Atlântica e Cerrado, foram quase extinguidos em sua totalidade, restando apenas alguns fragmentos que, apesar de serem protegidos por Leis, continuam sendo devastados até os dias atuais (TABARELLI et al., 2005). Os ciclos econômicos do Brasil, principalmente os concernentes aos municípios paulistas, foram fundamentados em processos de devastação da Mata Atlântica e do Cerrado (MANFREDINI et al., 2015).

Entretanto, a ocupação das terras no território nacional ocorreu, em grande maioria, pela proximidade dos rios, como forma de garantir a subsistência e também pela necessidade de navegação. No entanto, as ocupações de áreas que possuem elevadas vulnerabilidades ambientais ainda acontecem corriqueiramente, causando diversos impactos sócio-ambientais. Ainda, nesse contexto, a supressão das matas ciliares, também conhecidas como florestas ripárias e matas ribeirinhas, prejudica severamente a integridade dos recursos hídricos (AB'SABER, 2004).

A problemática relacionada à disponibilidade hídrica tem sido palco de diversos debates no mundo todo. O constante aumento populacional exige cada vez mais o consumo de recursos naturais e, diante deste panorama, os recursos hídricos encontram-se cada vez mais comprometidos, fazendo que essa sistemática resulte em diversos conflitos ambientais.

Na tentativa de conter o avanço da degradação ambiental no território nacional, foi instituído o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) pela Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que estabeleceu diferentes categorias de Unidades de Conservação (UC).

Nesse sentido, a Unidade de Conservação objeto deste estudo está inserida na categoria de Área de Proteção Ambiental (APA), denominada APA Itupararanga, sendo uma área que contempla um importante reservatório de água para abastecimento público, responsável pelo suprimento de água de, aproximadamente, um milhão de pessoas. Sua criação partiu de exigências do Comitê de Bacias do Sorocaba e Médio Tietê (SRMT -10) e de entidades e organização civis, que identificaram conflitos nos municípios inseridos na cabeceira do reservatório que despejavam indiscriminadamente esgotos domésticos em seus rios.

A APA foi instituída pela Lei Estadual nº 10.100/1998, com vistas a assegurar a manutenção da qualidade da água da represa, bem como à diversidade biológica e o ordenamento do uso e ocupação do solo. Posteriormente, às áreas de cabeceira foram incorporadas à APA e regulamentadas pela Lei Estadual nº 11.579/2003. A área da APA abrange cerca de oito municípios, como Votorantim, Alumínio, Mairinque, Ibiúna, São Roque, Piedade, Vargem Grande Paulista e Cotia, possuindo um território de 93.403,69 hectares, dos quais 2.723,04 são ocupados pela represa (BEU; MISATO; HAHN, 2011).

Contudo, esse atraso na regulamentação da APA trouxe diversos impactos negativos relacionados ao uso e ocupação do solo no entorno do manancial, o que proporcionou o desenvolvimento de diversas atividades prejudiciais no entorno do reservatório, principalmente ao que tange os despejos de efluentes domésticos, cultivos agrícolas, ecoturismo, parcelamento do solo e pesca predatória (BEU; MISATO; HAHN, 2011; POMPÊO et al., 2015; ROSA et al., 2015).

Tendo em vista a importância do reservatório como manancial de água para abastecimento público bem como sua biodiversidade, diversos estudos foram realizados com o intuito de avaliar a qualidade da água do reservatório de acordo com o uso e ocupação do solo do seu entorno, bem como as implicações nos organismos aquáticos, como os realizados por Beghelli et al. (2014); Bernardi (2011); Conceição et al. (2015); Frascareli et al. (2015); Salles et al. (2008); Sardinha et al. (2008); Pedrazzi et al. (2013); Rosa et al. (2015); Smith e Petrere (2008); Taniwaki et al. (2013).

De acordo com o exposto, e tendo em vista a necessidade do monitoramento constante dos recursos naturais à luz de sua preservação, o presente trabalho tem como objetivo central à avaliação sazonal da qualidade da água do reservatório de Itupararanga a partir da análise de parâmetros físico-químicos e biológicos da água bem como a análise espacial da área de estudo com vistas à classificação dos riscos atribuídos às matas ciliares de acordo com a fragilidade ambiental e uso e ocupação do solo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Poluição dos recursos hídricos

A água constitui um elemento essencial para que haja vida na terra. A relação do ser humano com água tem início desde a sua concepção, visto que possui, aproximadamente, 75% de água na constituição do corpo, sendo fundamental a todas as funções metabólicas do organismo. A água também possui uma relação intrínseca com todos os seres vivos que habitam o planeta (PIROLI, 2016; TORRES; MACHADO, 2012).

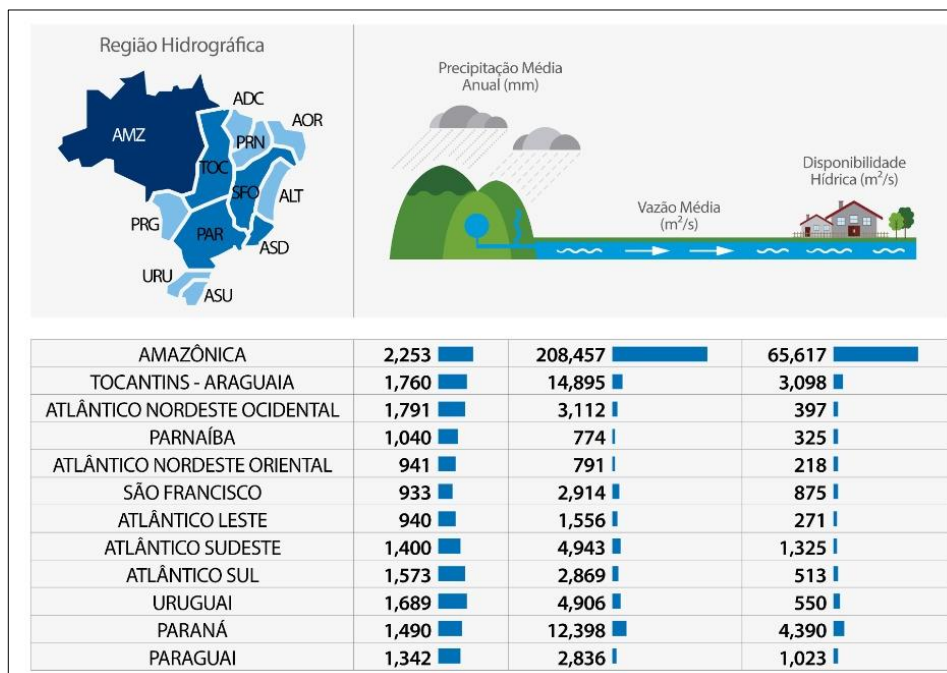
Contudo, embora haja um consenso comum sobre a importância da água como um bem fundamental, têm se observado ao longo das décadas uma constante degradação de sua qualidade, fato que impacta diretamente na sua disponibilidade. Isso ocorre por diversos fatores, tais como a falta de esgotamento sanitário nos centros urbanos, despejos industriais, lançamento e carreamento de resíduos aos corpos d'água proveniente das chuvas (JACOBI; CIBIM; LEÃO, 2015; PIROLI, 2016).

A preocupação ao que tange a qualidade dos recursos hídricos tem crescido de forma considerável no mundo todo. Nesse sentido, o Brasil vivenciou uma acentuada crise hídrica nos últimos anos, com episódios climáticos extremos e antagônicos, com eventos de chuvas excessivas no período compreendido entre 2010 e 2012, ao passo que, entre 2013 e 2016, houve um severo episódio de seca (SÃO PAULO, 2017).

O estado de São Paulo, devido sua grande densidade demográfica e complexo industrial, sentiu fortemente os reflexos da crise (GALVÃO; BERMANN, 2015). Os reservatórios da grande São Paulo chegaram a níveis alarmantes. A população vivenciou racionamentos intermitentes, e pela primeira vez na história foi utilizada a reserva técnica de água do fundo morto do Sistema Cantareira. Todavia, a situação não foi muito diferente nos demais municípios do estado, fato que trouxe seus reflexos até os dias atuais.

Apesar de o Brasil ser o país detentor de uma das maiores parcelas de água doce do planeta, a sua distribuição é bastante heterogênea, não atendendo à necessidade dos grandes aglomerados urbanos tanto em quantidade quanto em qualidade (SÃO PAULO, 2017). Assim, a Figura 1 ilustra a disponibilidade hídrica por região hidrográfica do país.

Figura 1. Valores de precipitação média, vazão média e disponibilidade hídrica por regiões hidrográficas



Fonte: Adaptado de SÃO PAULO (2017).

Assim, enquanto estados que possuem baixa densidade demográfica detêm grandes bacias hidrográficas, como é o caso da Bacia Amazônica, o Sudeste possui níveis escassos de água e bacias hidrográficas bastante comprometidas em termos de poluição e contaminação, devido ao elevado nível de aglomeração urbana, com altíssimo índice de densidade demográfica, como é o caso de São Paulo. Esse painel se estende ao longo do país, onde os demais estados também possuem diversos problemas relacionados à água e sua distribuição (GALVÃO; BERMANN, 2015; SÃO PAULO, 2017).

2.1.1 Fontes e rotas de aporte de contaminantes nos recursos hídricos

As fontes e rotas de aporte dos contaminantes químicos nos recursos hídricos podem ser oriundas de fontes pontuais, difusas, bem como fontes lineares, sendo de origem natural ou antrópica (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2004; SANTOS et al., 2012).

Dentre os poluentes aportados aos corpos d'água, destacam-se os metais devido ao alto grau de toxicidade aos seres vivos. Os metais, diferentemente dos demais poluentes orgânicos, não sofrem degradação, acumulando-se nos diversos compartimentos ambientais (SANTOS et al., 2012).

Alguns elementos em pequenas quantidades são essenciais aos organismos vivos atuando em diversas funções metabólicas; no entanto, altas concentrações podem acarretar toxicidade. Em contrapartida, alguns elementos não exercem nenhuma função metabólica nos organismos vivos, sendo prejudiciais mesmo se dispostos em mínimas concentrações (SANTOS et al., 2012; VON SPERLING, 2005).

A Tabela 1 ilustra os principais metais (essenciais e potencialmente tóxicos), bem como alguns elementos encontrados em diferentes processos industriais.

Tabela 1. Metais aportados aos sistemas aquáticos

Metais essenciais	Metais potencialmente tóxicos	Impurezas em fertilizantes	Impurezas em pesticidas	Impurezas em fungicidas
Sódio (Na)	Arsênio (As)	Cádmio (Cd)	Cobre (Cu)	Cobre (Cu)
Cobre (Cu)	Mercúrio (Hg)	Cromo (Cr)	Mercúrio (Hg)	Zinco (Zn)
Zinco (Zn)	Chumbo (Pb)	Molibdênio (Mo)	Chumbo (Pb)	Manganês (Mn)
Potássio (K)	Cádmio (Cd)	Chumbo (Pb)	Manganês (Mn)	
Cálcio (Ca)		Urânio (U)	Zinco (Zn)	
Ferro (Fe)		Vanádio (V)		

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2012).

Os elementos, tais como alumínio (Al) dissolvido, ferro (Fe) dissolvido e manganês (Mn) podem indicar também a intensificação de processos erosivos por meio de transporte de material advindo de fonte edáfica (OLIVEIRA; HORN, 2013).

Dentre as espécies metálicas, alguns elementos que podem ser potencialmente tóxicos quando depositados em grandes quantidades nos corpos d'água, interferindo em diversos processos metabólicos nos organismos aquáticos, podendo sofrer bioacumulação e biomagnificação nas cadeias tróficas, tais como cádmio, mercúrio e chumbo pelo alto potencial de toxicidade (SANTOS et al., 2012).

A Legislação CONAMA 357/05 determina os valores máximos para os elementos potencialmente tóxicos aos sistemas aquáticos de acordo com a classe de cada corpo hídrico. Assim, os limites estabelecidos para os corpos d'água inseridos nas classes 1, 2 e 3 foram expressos na Tabela 2.

Tabela 2. Limites preconizados pela Resolução CONAMA 357/05 para os metais potencialmente tóxicos

Metal	Máxima concentração (mg/L)	
	Classes 1 e 2	Classe 3
Cádmio (Cd)	0,0010	0,0100
Cobre dissolvido (Cu)	0,0090	0,0130
Cromo (Cr)	0,0500	0,0500
Manganês (Mn)	0,1000	0,5000
Zinco (Zn)	0,1800	5,0000
Mercúrio (Hg)	0,0002	0,0020
Níquel (Ni)	0,0250	0,0250
Chumbo (Pb)	0,0100	0,0330

Fonte: Resolução CONAMA 357/2005.

2.2 Áreas protegidas para conservação ambiental

As áreas protegidas instituídas legalmente possuem fundamental importância ao que tange a conservação dos recursos naturais, sendo denominadas Unidades de Conservação (UC) (BRASIL, 2000). No Brasil, a administração dessas áreas é realizada pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), instituída pela Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, que estabeleceu doze categorias de Conservação (UC), sendo divididas em dois grupos, segundo o Art. 7º do Capítulo III:

- *Unidades de Conservação de Proteção Integral*

O objetivo das áreas instituídas na categoria de proteção integral é a preservação da natureza, onde apenas os usos indiretos dos recursos naturais são permitidos. Assim, pertencem a essa categoria, segundo BRASIL (2000): Estação Ecológica; Reserva Biológica; Parque Nacional; Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre.

- *Unidades de Conservação de Uso Sustentável*

Essa categoria visa compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela de seus recursos naturais (BRASIL, 2000), compreendendo as seguintes categorias: Área de Proteção Ambiental; Área de Relevante Interesse Ecológico; Floresta Nacional; Reserva Extrativista; Reserva da Fauna; Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural. Ainda, no Art. 4º da Lei é atribuído ao SNUC uma série de objetivos que visam à proteção, conservação e restauração dos ecossistemas naturais em sua totalidade.

O Brasil é o país que detém uma série de legislações ambientais que visam à proteção dos recursos naturais. De acordo com Neumann e Loch (2002), os instrumentos legais utilizados mundialmente consistem em dois modelos, sendo instrumentos regulatórios, tidos como instrumentos de comando e controle, que consistem na fomentação de uma série de normas e regulamentações que, caso não sejam cumpridas, podem ser passíveis de penalidades. E o segundo grupo consiste em políticas que utilizam instrumentos de incentivos econômicos ou incentivos de mercado, que podem aumentar a competitividade de mercado e engendrar o desenvolvimento e a sustentabilidade (MAGRINI; MARCO, 2002).

Entre os instrumentos de comando e controle, destaca-se a instituição do Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 1934) com o surgimento da ideia que classificava as florestas em seu Artigo 3º como sendo: protetoras, remanescentes, modelo e de rendimento. De acordo com Borges et al. (2011), as florestas protetoras já era o prenúncio das florestas de preservação permanente instituídas pelo Código Florestal de 1965 (BRASIL, 1965), representando umas das leis mais importantes concernentes à preservação e conservação hidrológica e ecológica. Para tanto, em 2012 houve uma reformulação do Código Florestal, sendo instituído o Novo Código Florestal pela Lei 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012) que em seu artigo 1º (BRASIL, 2012), estabelece normas gerais para: Proteção da vegetação, Áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal; Exploração florestal, suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais; Controle e prevenção dos incêndios florestais, e instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos.

O Capítulo II do Novo Código Florestal que trata das áreas de Preservação Permanente como sendo “as faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular” (BRASIL, 2012), estabelece as larguras mínimas a serem respeitadas, sendo: 30 metros (cursos d’água menores de 10 m de largura); 50 metros (cursos d’água de 10 a 50 m de largura); 100 metros (cursos d’água de 50 a 200 m de largura); 200 metros (cursos d’água de 200 a 600 m de largura); 500 metros (cursos d’água com largura superior a 600 m).

Contudo, o Novo Código Florestal foi alvo de muita crítica, principalmente por parte da comunidade científica, com o discurso de que havia o favorecimento dos produtores rurais por meio da regulamentação da Reserva Legal, que, de modo geral, favorece o desmatamento da cobertura vegetal situadas em áreas de APPs dentro das propriedades rurais, desde que sejam respeitadas as normas estabelecidas no Capítulo IV (BRASIL, 2012).

2.3 Uso e ocupação do solo e suas implicações

O constante crescimento populacional e os recursos necessários para manter o elevado nível de desenvolvimento da sociedade tem ocasionado uma crescente degradação dos recursos naturais. Isso se deve à quantidade de recursos que são necessários para manter o padrão da sociedade atual, pautado em consumismo excessivo de bens materiais e recursos (MACIEL et al., 2011).

Nesse sentido, os processos relacionados a ocupação do solo nas cidades é bastante conflituoso, devido ao acentuado processo de urbanização inerente às grandes e médias cidades, apresentando assim, problemas de diversas ordens e grandezas (ANGELIS; LOBODA, 2005; BRITO; SOUZA, 2005; PEREIRA; BISSANI, 2017).

O modelo de ocupação que contempla a transferência de grandes massas populacionais do campo para os centros urbanos se reverbera em diversos países e continentes, tais como o Japão, Inglaterra, Estados Unidos, além de outros países pertencentes ao continente europeu, que possuem graus de urbanização entre 85% e 95% (BRITO; SOUZA, 2005).

Outro aspecto importante do processo de urbanização é concernente à extrapolação dos limites urbano-rural. Os autores Caiado e Santos (2003) analisaram a expansão da ocupação urbana nos municípios do estado de São Paulo, e verificaram que a diversidade de usos atuais da terra já não pode ser definida pelo modelo adotado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), fato que preconiza o fim da dicotomia urbano-rural, segundo os autores. Isso se deve ao fato de cada vez mais serem utilizadas áreas rurais para construções urbanas e industriais

Todavia, o modelo de ocupação das terras adotado traz diversas implicações. De acordo com Spinelli et al. (2016), o crescimento populacional exacerbado das cidades tem impossibilitado a resiliência dos ecossistemas naturais presentes no ambiente urbano. Ainda, Tundisi e Matsumura-Tundisi (2011) atribui à degradação dos ambientes aquáticos dois principais fatores, como o crescimento populacional e a crescente urbanização dos espaços naturais.

Dentre os impactos causados pela urbanização destaca-se a formação das ilhas de calor, devido alterações no balanço energético e alterações no microclima das cidades (MACIEL et al., 2011). Outro fator importante que impacta diretamente na qualidade ambiental dos ambientes urbanos refere-se à diminuição das áreas verdes ocasionadas pela retirada da vegetação para construção civil e pavimentações. Segundo Gomes e Queiroz (2011), a ausência

de cobertura vegetal impacta na qualidade de vida da população pelas limitações das funções ecológicas, estéticas e econômicas.

2.3.1 Contaminação ambiental de acordo com o uso e ocupação do solo

Os recursos hídricos encontram-se cada vez mais fragilizados em decorrência das atividades antrópicas. A impermeabilização das zonas urbanas decorrentes da mudança do uso do solo, bem como o desmatamento de fragmentos florestais e áreas de proteção permanente (APP) impactam diretamente na qualidade bem como na quantidade dos recursos hídricos (GOONETILLEKE et al., 2005).

Todavia, diversos pesquisadores apontam o escoamento de águas superficiais como uma das principais formas de introdução de elementos físicos, químicos e biológicos nos corpos aquáticos, causando diversos efeitos deletérios nos ecossistemas aquáticos (BARBOSA; FERNANDES; DAVID, 2012; GOONETILLEKE et al., 2005; REVITT; ELLIS, 2016).

Nesse sentido, diversos estudos vêm sendo realizados de modo a avaliar a influência das atividades antrópicas no ambiente devido os possíveis riscos de bioacumulação e biomagnificação de elementos tóxicos nas cadeias alimentares de organismos aquáticos (CROTEAU et al., 2005).

2.4 Sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento ambiental

Diante do cenário atual no qual as atividades antrópicas têm influenciado amplamente na qualidade do ambiente, uma área que vêm ganhando cada vez mais destaque e possui importantes aplicações ao que tange o monitoramento ambiental são as análises via sensoriamento remoto (SR), pois permitem a avaliação de vastas áreas e diversos aspectos ambientais (GURGEL, 2000; LANG; BLASCHKE, 2009; SILVA et al., 2016; SILVA et al., 2017b).

O constante avanço tecnológico permite que sejam criados softwares capazes de executar tarefas complexas com extrema exatidão, trabalhando uma infinidade de dados simultaneamente (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012). Do mesmo modo, os satélites são cada vez mais aperfeiçoados, proporcionando qualidade de imagem de altíssima resolução. Para tanto, a partir do tratamento das informações em softwares e hardwares específicos, é possível analisar os fenômenos estudados e correlacioná-lo espacialmente (LOURENÇO et al., 2012; SILVA et al., 2016; SILVA et al., 2017a).

Apesar da vasta gama de regulações ambientais com vistas à proteção dos recursos naturais, a contaminação ambiental ocorre em níveis acelerados na maior parte do planeta. Nesse sentido, o uso do sensoriamento remoto (SR) tem sido uma ferramenta eficaz e cada vez mais utilizada para fins de monitoramento ambiental. As tendências espaciais relacionadas às fontes de emissões têm sido objeto de diversos estudos com o intuito de se observar a influência das fontes emissárias nas concentrações dos poluentes (GOONETILLEKE, 2005).

De acordo com Silva et al. (2017a), o monitoramento permite assegurar o uso sustentável dos recursos naturais. Nesse sentido, a aplicabilidade do SR na gestão dos recursos hídricos com vistas à qualidade da água é de extrema relevância e tem sido cada vez mais empregado, uma vez que surgem novas tecnologias e melhoramentos dos satélites no decorrer do tempo, enquanto as análises decorrentes de amostragens *in situ* são bastante onerosas e nem sempre traduzem as reais condições do ambiente (Silva et al., 2017b).

O monitoramento ambiental possibilita uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos, possibilitando avaliar os ecossistemas aquáticos, tanto do ponto de vista qualitativo quanto quantitativo, bem como inferir sobre as situações futuras desses ambientes (HANISCH; FREIRE-NORDI, 2015; PSILOVIKOS, 2005). A Tabela 3 apresenta uma síntese dos estudos compilados por Dörnhöfer e Oppelt (2016) com vistas ao monitoramento ambiental de lagos via sensoriamento remoto.

Tabela 3. Variáveis analisadas em lagos via sensoriamento remoto

Propriedades	Variáveis de resposta	Indicador de sensoriamento remoto
Transparência	Carbono orgânico dissolvido (COD)	Coloração decorrente da matéria orgânica
Biota	Turbidez	Material particulado em suspensão Turbidez
	Profundidade do disco de Secchi	Profundidade do disco de Secchi
	Proliferação de algas	Profundidade da zona eufótica Clorofila-a (Chl-a) (fitoplâncton) Phycocyanin (cianobactérias)
	Fenologia	Tempo de Chl-a
	Composição de espécies	Vegetação aquática; sedimento
Hidrologia	Nível da água	Batimetria
Temperatura	Temperatura epilimnética	Temperatura superficial

Fonte: Adaptado de Dörnhöfer; Oppelt (2016).

Entretanto, os avanços das novas tecnologias e ferramentas de monitoramento ambiental, utilizadas em conjunto com os dados obtidos *in situ* e das estações de monitoramento, aumentam a eficiência do monitoramento ambiental no que concerne a escala temporal e espacial (CREPANI et al., 2001; DORIGO et al., 2007).

2.5 Índices e indicadores de qualidade das águas

A partir da década de 70 houve uma intensa preocupação com instrumentos que pudessem servir de suporte para a tomada de decisões e planejamento urbano (NASCIMENTO, 2012). Nesse sentido, o monitoramento dos corpos d'água no estado de São Paulo é realizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que utiliza índices e indicadores desde 1975, tais como o índice de qualidade das águas (IQA), adaptado de estudos realizados na década de 70 pela National Sanitation Foundation (NSF), que permitem uma avaliação integrada de nove parâmetros de qualidade da água considerados relevantes para fins de abastecimento público, tais como oxigênio dissolvido (OD), coliformes fecais (CF), potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total (NT), fósforo total (FT), temperatura (Temp), turbidez (Turb) e resíduos totais (RT).

Outro importante índice amplamente utilizado consiste no índice do estado trófico (IET), que possibilita a classificação de diferentes graus de trofia nos corpos d'água, sendo proposto por Carlson (1977), que realizou diversos estudos em ambientes temperados.

De modo a adaptar o referido índice para os ambientes de climas tropicais e subtropicais, Toledo Jr. et al. (1983) e Toledo Jr. (1990) apresentaram algumas adaptações e modificações, visto as particularidades do clima dos países com temperaturas mais elevadas, como no Brasil.

Ainda, outros autores também propuseram adaptações do índice com o intuito de melhorar a sua acurácia, como os propostos por Lamparelli (2004). Para tanto, o IET contempla às variáveis referentes à clorofila *a* e fósforo total. Segundo Esteves (2011), o constante aporte de nutrientes nos ambientes provoca alteração das suas características, afetando o uso destes recursos, tais como o abastecimento público bem como a vida aquática devido à ocorrência de fenômenos de eutrofização.

De modo a ampliar o monitoramento dos corpos d'água, a partir de 2002, a CETESB passou a utilizar índices mais específicos para cada uso correspondente ao recurso hídrico; deste modo, foi possível avaliar os usos múltiplos da água de acordo com suas especificidades. Nesse

sentido, o presente estudo também buscou avaliar o índice de vida aquática (IVA), que permite inferir sobre a qualidade das águas para fins de proteção da fauna e flora aquáticas. Deste modo, o índice considera a presença bem como a concentração de contaminantes químicos que possam impactar nos organismos aquáticos, sendo estes distribuídos em dois grupos representados pelas variáveis essenciais (VE) e substâncias tóxicas (ST). As variáveis são agrupadas no Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática (IPMCA) e no Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr. (1990) (CETESB, 2007).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo central do estudo teve vistas à avaliação sazonal da qualidade da água do reservatório de Itupararanga a partir da análise de parâmetros físico-químicos e biológicos da água, bem como a análise espacial da área de estudo para obtenção de um painel geral da qualidade da água dos afluentes inseridos na Área de Proteção Ambiental (APA) Itupararanga por meio da identificação dos fatores que podem influenciar na qualidade da água, como a análise das áreas de preservação permanente (APP) da APA marginais aos cursos de água.

3.2 Objetivos específicos

- Analisar a qualidade da água por meio de índices propostos pela CETESB, tais como índice de qualidade da água (IQA), índice de estado trófico (IET), índice de variáveis mínimas para a preservação da vida aquática (IPMCA), índice de vida aquática (IVA) e outros parâmetros relevantes de qualidade de água;
- A partir dos valores obtidos nos índices e parâmetros analisados, discutir se atendem à legislação;
- Análise da altitude, declividade e fragilidade ambiental da APA Itupararanga;
- Mapeamento das áreas agrícolas por meio de interpretação visual de imagens para elaboração de mapa de uso e ocupação do solo da APA Itupararanga, a partir da retificação da base de dados fornecidas pela Coordenadoria de Planejamento Ambiental do Estado de São Paulo (CPLA);
- Análise das áreas de riscos das áreas de preservação permanente (APP) marginais aos cursos de água da APA Itupararanga por meio da sobreposição de diferentes planos de informação e análise multicriterial;
- Tratamento estatístico para verificação das correlações entre as variáveis de qualidade de água e índices de qualidade; correlação das variáveis com o uso e ocupação do solo e em função da sazonalidade.

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo (Figura 2) está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10 - SMT) compreendendo os afluentes da sub-Bacia do Alto Sorocaba, sendo o Rio Una juntamente com os Rios Sorocabuçu e o Sorocamirim que se convergem, constituindo o principal reservatório de captação de água do município de Sorocaba, o reservatório de Itupararanga, dando origem ao rio Sorocaba. A Bacia Hidrográfica do Alto Sorocaba possui uma área de 929 km² (PEDRAZZI et al., 2014).

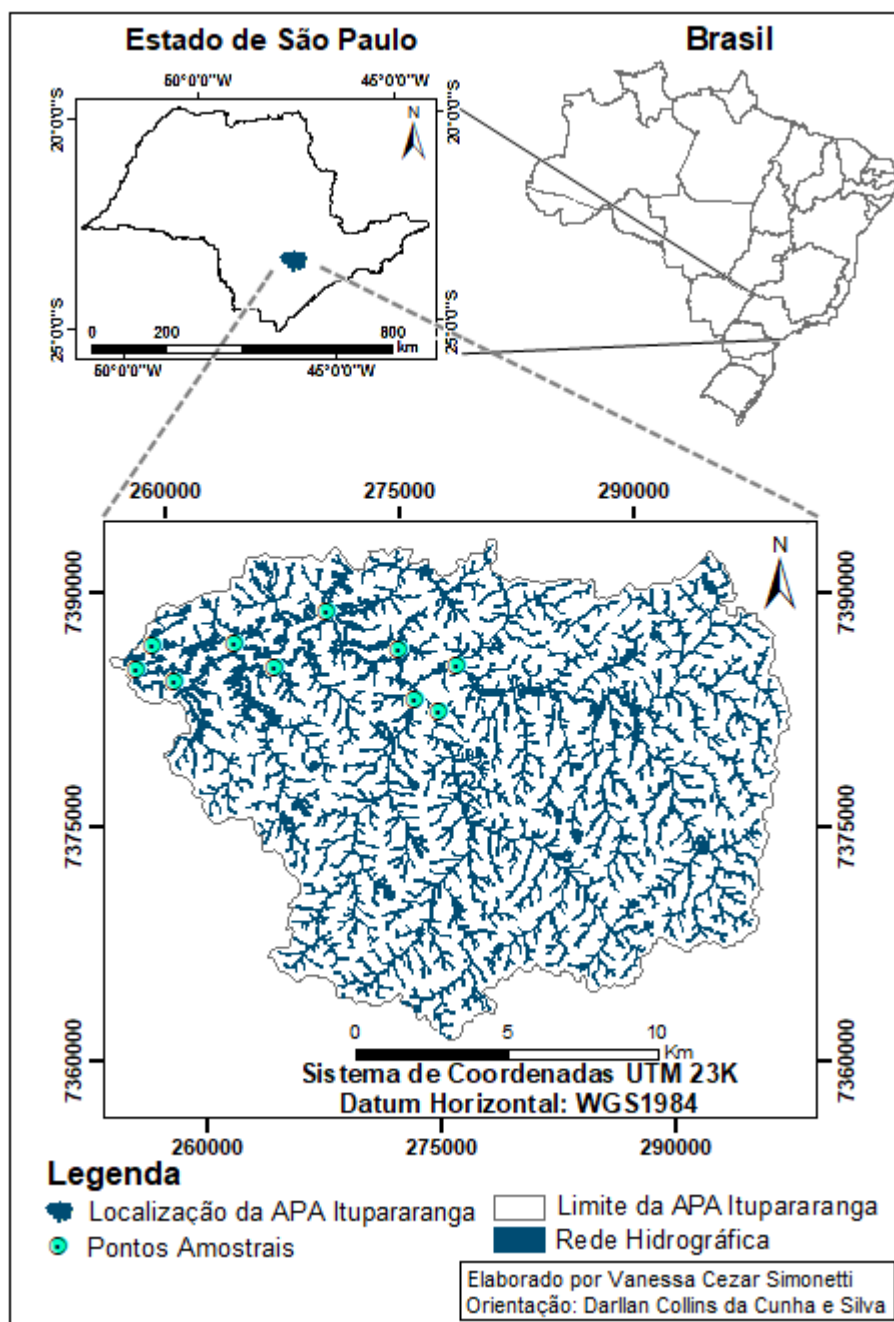
O reservatório está localizado no alto curso do rio Sorocaba, sob concessão da Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), estando inserido no Aquífero Cristalino (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010).

O clima predominante é de verão chuvoso e inverno com estiagem, apresentando uma pluviosidade média anual de 1.492 mm, no qual janeiro representa o mês com maior precipitação, sendo 248 mm e agosto o mês mais seco, com 43 mm. A vegetação é composta pelos domínios de Floresta Ombrófila Densa. A economia da bacia é pautada na produção agrícola, sendo constituída em sua maioria por pequenas propriedades rurais (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010; ROSA et al., 2015; SALLES et al., 2008).

Quanto aos aspectos geomorfológicos, a Bacia Hidrográfica está situada nos limites do Planalto Atlântico e Depressão Periférica, com classes representadas por Escarpas Festonadas Mares de Morros, Mesas Basálticas Morros com Serras Restritas, Morros Paralelos, Morros de Topos Achatados e Planícies Aluviais (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010).

Os aspectos litológicos são constituídos por dois domínios principais, sendo o São Roque, representado por metassedimentos e metabásicas, e Embu, representado pelos gnaisses. Ainda, estes Domínios apresentam diversas outras associações. Quanto aos aspectos litológicos, são representados por três classes principais, sendo Argissolo, Cambissolo e Latossolo (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010).

Figura 2. Localização da área de estudo



Fonte: Elaboração própria.

A localização dos pontos amostrais bem como as respectivas coordenadas geográficas foram representadas na Tabela 4.

Tabela 4. Coordenadas geográficas dos pontos amostrais da APA Itupararanga

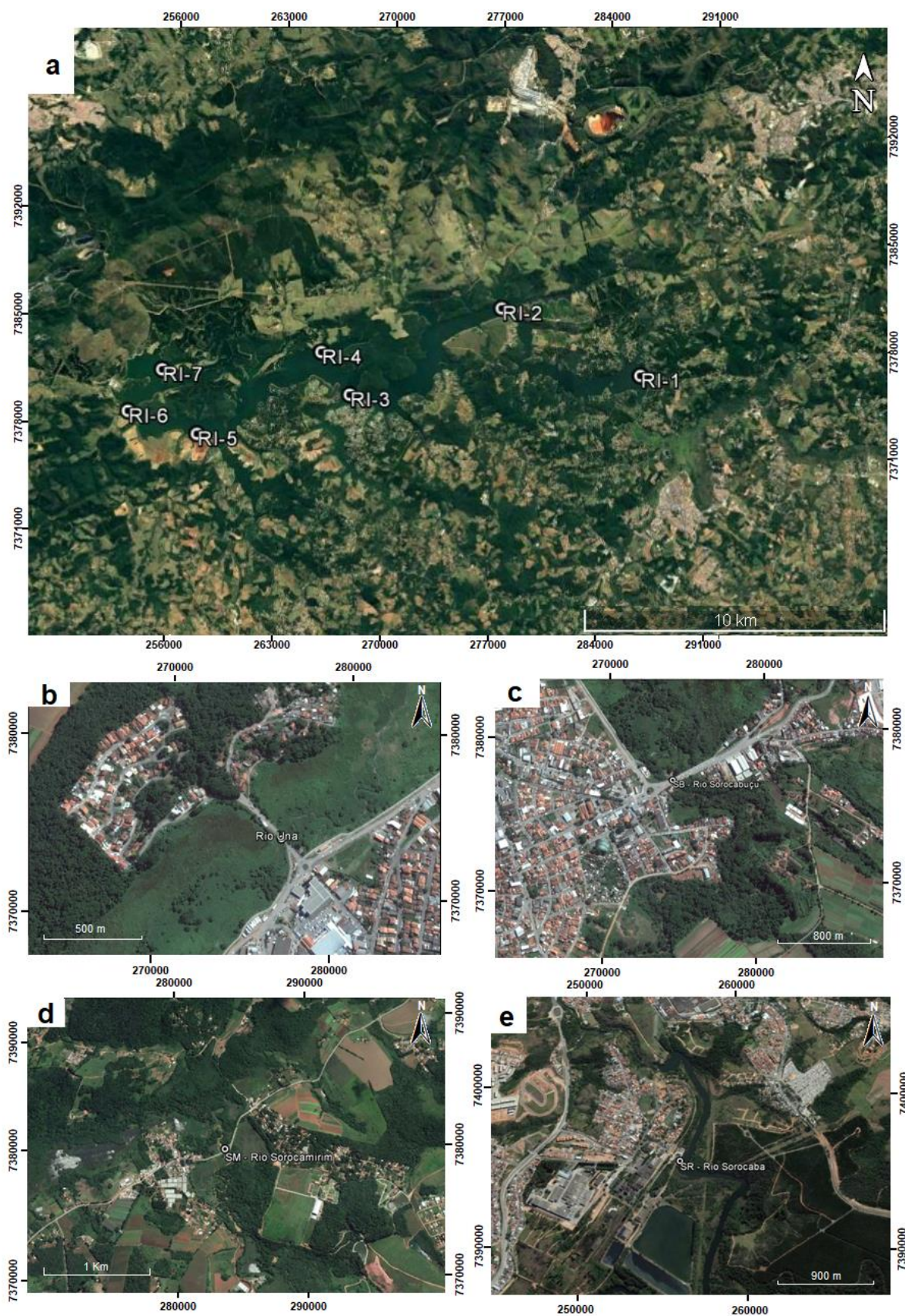
Corpo d'água	Pontos amostrais	
	Sigla	Coordenada (UTM)
Rio Una	Una	273247 E - 7382837 N
Rio Sorocabuçu	Sb	274538 E - 7381871 N
Rio Sorocamirim	Sm	276672 E - 7385460 N
Reservatório de Itupararanga	RI-1	272405 E - 7385425 N
	RI-2	270728 E - 7389390 N
	RI-3	262721 E - 7385604 N
	RI-4	261745 E - 7387038 N
	RI-5	257614 E - 7384245 N
	RI-6	255252 E - 7384972 N
	RI-7	256418 E - 7386293 N
Rio Sorocaba	Soro	250907 E - 7392655 N

Fonte: Elaboração própria.

4.2 Justificativa dos pontos amostrais

A seleção dos pontos amostrais foi realizada de modo a refletir os principais impactos ocasionados pelo aporte de substâncias aos contribuintes formadores da represa de Itupararanga. Os pontos amostrais foram distribuídos na cabeceira da represa, compreendendo os rios formadores do reservatório, sendo o rio Una (Figura 3b), Sorocabuçu (Figura 3c) e Sorocamirim (Figura 3d). Também foram analisados sete pontos distribuídos ao longo do reservatório, contemplando o exutório dos rios formadores (RI-1) até a barragem (RI-7) (Figura 3a). Também foi analisado o alto curso do rio Sorocaba (Figura 3e), para obtenção de uma análise espacial detalhada da qualidade da água, bem como os impactos advindos do uso e ocupação do solo da área objeto deste estudo. A coordenadas geográficas foram obtidas por meio do *Global System Position* (GPS).

Figura 3. Pontos amostrais obtidos na APA Itupararanga



Fonte: Google Earth (2017).

4.3 Amostragem

As amostras de água foram coletadas de acordo com as campanhas pré-estabelecidas no item 3.1, na profundidade de 0-30 cm da lâmina d'água por meio de um balde plástico, ambientado com água do próprio local antes da coleta, segundo Brandão et al. (2011) e armazenadas em frascos de polietileno novos, de alta resistência. A amostragem constitui uma etapa de extrema importância, sendo que interferências podem comprometer os resultados do estudo.

4.4 Materiais utilizados

Para realização da pesquisa foram utilizados os materiais descritos no Quadro 1.

Quadro 1. Equipamentos, materiais e vidrarias utilizados

Equipamentos e Materiais	Marca	Modelos e Especificações
Balão Volumétrico	*	Volumes variados
Balança analítica - 0,0001g (precisão)	SHIMADZU	220
Balde Plástico	*	20 L
Béquer	*	Volumes variados
Bomba de Vácuo	TECNAL	TE-058
Capela para Exaustão de Gases	FORT LINE	BR-CA 100
Centrífuga de Laboratório	FANEN	Centrifugue
Chapa de Aquecimento	TECNAL	TE-018
Dessecador	*	*
Erlenmeyer	*	Volumes variados
Espectrofotômetro	HACH	DR2800
Fitas de pH	MILLIPORE	*
Galões de Polietileno (alta resistência)	*	5 - 10 - 20 L
GPS	GARMIN	*
ICP-OES	AGILENT	720 series
Incubadora BOD	CIENLAB	Q315M
Kitassato	*	1 L
Membrana 0,45 µm	MILLIPORE	*
Micropipetas Automáticas	GILSON	Volumes variados
Oxímetro	ALFAKIT	*
Pipetas e Pipetadores	*	Volumes variados
Pissetas	*	Plásticas
Provetas	*	Volumes variados
Software para processamento de dados	ArcGis	10.3
Sonda Multiparâmetros	ORIBA	Série U-50

Legenda: (*) Não especificado.

Os reagentes utilizados no estudo foram descritos no Quadro 2.

Quadro 2. Reagentes utilizados

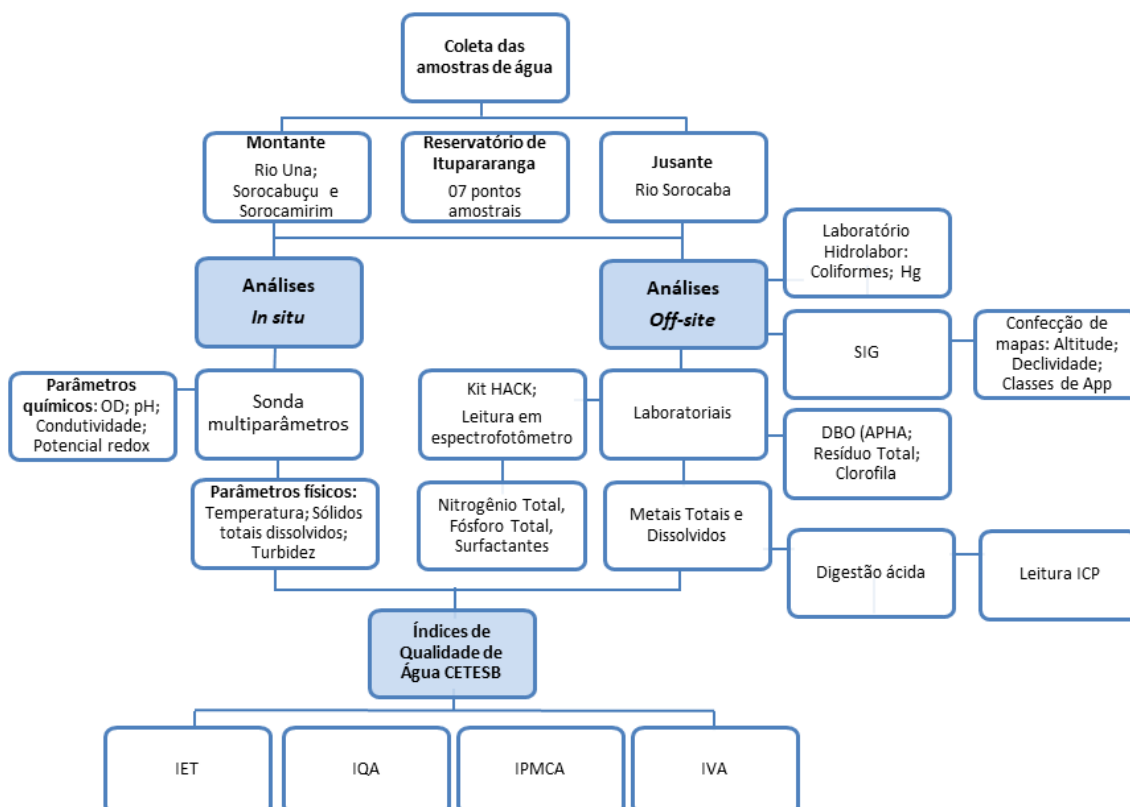
Reagentes	Marca
Ácido Clorídrico Concentrado (37%)	SYNTH
Ácido Nítrico Concentrado (65%)	SYNTH
Ácido Sulfúrico (98%)	SYNTH
Água Deionizada / Ultrapura e Millique	*
Detergente	EXTRAN (5%)
Padrão Multielementar para ICP	SPECSOL
Peróxido de Hidrogênio (35%)	ECIBRA
Kit Test'n Tube® para Determinação de PT	HACH
Kit Test'n Tube® para Determinação de NT	HACH
Reagente para Análise de Surfactantes	HACH

Legenda: (*) Não especificado.

4.5 Métodos utilizados no estudo

Os métodos e análises contemplados no estudo foram expressos no fluxograma (Figura 4).

Figura 4. Fluxograma dos métodos e análises realizadas no estudo



Fonte: Elaboração própria

4.5.1 Análises *in-situ*

Os parâmetros referentes ao potencial hidrogeniônico (pH), temperatura (Temp – °C), condutividade elétrica (Cond - $\mu\text{S}/\text{cm}$), oxigênio dissolvido (OD - mg/L), potencial redox (PR – m/V) e turbidez (Turb - NTU) foram obtidos *in situ* por meio de sonda multiparâmetros da marca Horiba série U-50. Assim, o equipamento foi devidamente calibrado com soluções-padrão de alta pureza, de modo a expressar maior confiabilidade nos valores obtidos.

4.5.2 Análises *off-site*

As amostras foram processadas no laboratório de química e microbiologia da Unesp-ICTS. Também foram realizadas análises no laboratório do Parque Tecnológico de Sorocaba e Universidade de Sorocaba (Núcleo de Estudos ambientais - NEAs). Foram enviadas amostras ao laboratório Hidrolabor de Sorocaba para realização das análises de mercúrio (Hg); coliformes totais e termotolerantes.

4.6 Índices e indicadores de qualidade das águas utilizados

4.6.1 Índice de qualidade das águas (IQA)

O IQA é um índice utilizado no monitoramento da qualidade da água utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), sendo importante por favorecer uma avaliação integrada de nove parâmetros de qualidade da água considerados relevantes para fins de abastecimento público, conforme expressos na Tabela 5.

Tabela 5. Pesos dos parâmetros analisados pelo Índice de Qualidade das Águas (IQA)

Parâmetro	Unidade	Peso (wi)
Oxigênio dissolvido (OD)	% OD	0,17
Coliformes fecais	NMP/100 mL	0,15
pH	-	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	mg/L	0,10
Nitrogênio total	mg/L N	0,10
Fósforo total	mg/L P	0,10
Temperatura	°C	0,10
Turbidez	UNT	0,08
Resíduos totais	mg/L	0,08

Fonte: Adaptado de CETESB (2007).

Sendo assim, a partir de uma equação matemática, o IQA é calculado pelo produto ponderado dos parâmetros estabelecidos na Tabela 1, sendo um número compreendido entre 0 e 100. A Tabela 6 expressa os níveis de qualidade da água.

Tabela 6. Níveis de Qualidade das Águas do IQA

Nível de Qualidade	Faixa
Excelente	$79 < \text{IQA} \leq 100$
Bom	$51 < \text{IQA} \leq 79$
Médio	$36 < \text{IQA} \leq 51$
Ruim	$19 < \text{IQA} \leq 36$
Muito Ruim	$\text{IQA} \leq 19$

Fonte: CETESB (2007).

O parâmetro referente à demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foi realizado em replicata para cada ponto amostral, de acordo com o *Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater* (APHA, 2005), utilizando-se frascos âmbar previamente esterilizados, onde as amostras foram incubadas em estufa à temperatura de 20 °C por cinco dias (DBO_{5,20}). No ato da coleta foi aferido o OD inicial através de um oxímetro portátil. Posteriormente, os frascos foram mantidos refrigerados até serem transportados ao laboratório, onde foram encubados. Transcorrido esse período, foi realizada a aferição do OD final e a quantificação adquirida a partir da diferença dos valores de OD final e inicial (OD inicial – OD final = DBO) onde os valores foram expressos em mg/L.

A análise dos resíduos sólidos totais (RT) foi realizada a partir da pesagem de 100 mL da amostra de água bruta, medidos em balão volumétrico de 100 mL. Após, o béquer foi levado à estufa na temperatura de 100 °C até a evaporação total da água. Em seguida, o material foi disposto no dessecador a fim de ser resfriado, para posterior pesagem. A leitura dos resíduos totais foi dada pela diferença entre o peso inicial e o final (RT = peso final - peso inicial) em mg/L.

4.6.2 Índice de Estado Trófico (IET)

O Índice do Estado Trófico (IET) possibilita a classificação de diferentes graus de trofia nos corpos d'água. Segundo Esteves (2011), o constante aporte de nutrientes nos ambientes provoca alteração das suas características, afetando o uso destes recursos, tais como o

abastecimento público bem como a vida aquática devido à ocorrência de fenômenos de eutrofização. O IET contempla às variáveis referentes à clorofila-a (Cl-a) e fósforo total (FT). Para classificação dos diferentes níveis tróficos do meio aquático, Lamparelli (2004) partindo de adaptações de estudos realizados pela CETESB, através de equações matemáticas, atribuiu diferentes pesos para obtenção dos níveis tróficos expressos na Tabela 7.

Tabela 7. Classificação do Índice de Estado Trófico (IET)

Estado Trófico	Ponderação
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	$IET > 67$

Fonte: Lamparelli (2004).

Para determinação do fósforo total (PT) que compõe o IET foi realizada a digestão por meio de reagentes do kit HACH para PT com detecção de 0,06 a 3,5 mg/L PO_4^{3-} ou 0,02 a 1,10 mg/L P); a leitura foi realizada em espectrofotômetro Hach DR 2800 (método 8190).

O nitrogênio total (NT) foi determinado com reagentes do kit HACH para NT, de acordo com a digestão por ácido persulfato (método 10071), com detecção entre a 0,5 a 25,0 mg/L N (LR), sendo a leitura realizada em espectrofotômetro HACH DR 2800.

O Índice de Estado Trófico (IET) foi calculado de acordo com Lamparelli (2004), sendo utilizadas as Equações (1) e (2) para as amostras dos rios e as Equações (3) e (4) para as amostras do reservatório.

$$IET (Chla) = 10x \left(6 - \left(\frac{-0,7 - 0,6x(\ln CL)}{\ln} 2 \right) \right) - 20 \quad (1)$$

$$IET (PT) = 10x \left(6 - \left(\frac{0,42 - 0,36x(\ln PT)}{\ln} 2 \right) \right) - 20 \quad (2)$$

$$IET (CL) = 10x \left(6 - \left(\frac{0,92 - 0,34x(\ln CL)}{\ln} 2 \right) \right) \quad (3)$$

$$IET (PT) = 10x \left(6 - \left(1,77 - \frac{0,42x(\ln PT)}{\ln 2} \right) \right) \quad (4)$$

Sendo:

PT é a concentração de fósforo total expressa em $\mu\text{g/L}$;

Chla é a concentração de clorofila expressa em $\mu\text{g/L}$ e Ln é o logaritmo natural.

A quantificação da clorofila-a foi realizada de acordo com método espectrofotométrico, utilizado por Lorenzen (1967) e Wetzel e Likens (1991) via extração por acetona após maceração. As amostras foram filtradas através de filtros de microfibras de vidro Ap 40 Whatman e, após, o filtro depositado num frasco e macerado com uso de um pistilo de porcelana, onde foram acrescentados lentamente 10 mL de acetona 90% previamente alcalinizada e mantida sob refrigeração. O volume macerado foi colocado em tubos Falcon de 10 mL que foram embrulhados em papel alumínio e levados à geladeira por 12 horas. Decorrido este período, os tubos Falcon foram centrifugados a 3000 rpm por 10 minutos. Então, o sobrenadante transferido para cubetas de 10 mm onde foi realizada a leitura da absorbância no comprimento de onda em 665 e 750 nm (sem acidificação), contra o branco contendo acetona 90%. Após, a amostra foi acidificada com HCl 1M e a leitura da absorbância foi repetida.

Em posse dos valores obtidos nas etapas descritas acima, foi realizado o cálculo a partir da Equação (5), utilizado para rios, de acordo com a Cetesb (2009):

$$\text{Chla } (\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}) = (K) \times (F) \times (E_{665_0} - E_{665_a}) \times (v) / (V) \times (Z) \quad (5)$$

Sendo:

E_{665_0} é a absorbância corrigida da turbidez a 665 nm antes da acidificação, sendo:

igual a $A_{665_0} - A_{750_0}$, em que A é o valor da absorbância;

E_{665_a} é a absorbância corrigida da turbidez a 665 nm após a acidificação, sendo igual a $A_{665_a} - A_{750_a}$;

K é o coeficiente de absorção da clorofila a, sendo igual a 11,0;

F é o fator da redução da absorbância a concentração da clorofila inicial, sendo $1,7/0,7 = 2,43$;

v é o volume do extrato em mL;

V é o volume da água filtrada em L;

Z é o comprimento do passo óptico da cubeta em cm.

4.6.3 Índice de Vida Aquática (IVA)

O índice de vida aquática permite inferir sobre a qualidade das águas para fins de proteção da fauna e flora aquáticas. Deste modo, o índice considera a presença bem como a concentração de contaminantes químicos que possam impactar nos organismos aquáticos; no entanto, são analisados dois grupos representado pelas variáveis essenciais (VE) e substâncias tóxicas (ST) dispostas no Quadro 3.

4.6.3.1 Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática (IPMCA)

As variáveis são agrupadas no Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática (IPMCA) e no Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson modificado por Toledo (1990) (CETESB, 2007). As classes de IVA e as respectivas ponderações são expressas na Tabela 8.

Quadro 3. Variáveis e ponderações do Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática (IPMCA)

Grupos	Variáveis	Níveis	Faixa de variação	Ponderação
Variáveis Essenciais (VE)	OD (mg/L)	A	$\leq 5,0$	1
		B	3,0 a 5,0	2
		C	$< 3,0$	3
	pH	A	6,0 a 9,0	1
		B	5,0 a $< 6,0$ e $> 9,0$ a 9,5	2
		C	$< 5,0$ e $> 9,5$	3
	Toxicidade	A	Não tóxico	1
		B	Efeito crônico	2
		C	Efeito agudo	3
Substância Tóxicas (ST)	Cádmio (mg/L)	A	$\leq 0,001$	1
		B	$> 0,001$ a 0,005	2
		C	$> 0,005$	3
	Cromo (mg/L)	A	$\leq 0,05$	1
		B	$> 0,005$ a 1,0	2
		C	$> 1,00$	3
	Cobre dissolvido (mg/L)	A	$\leq 0,009$	1
		B	$> 0,009$ a 0,005	2
		C	$> 0,05$	3
Chumbo total	A	$\leq 0,01$	1	

		<i>continuação</i>		
Substância Tóxicas (ST)	Mercúrio (mg/L)	B	$> 0,01$ a $0,08$	2
		C	$> 0,08$	3
		A	$\leq 0,0002$	1
	Niquel (mg/L)	B	$> 0,0002$ a $0,001$	2
		C	$> 0,001$	3
		A	$\leq 0,025$	1
	Surfactantes (mg/L)	B	$> 0,025$ a $0,160$	2
		C	$> 0,160$	3
		A	$\leq 0,5$	1
	Zinco (mg/L)	B	$> 0,5$ a $1,0$	2
		C	$> 1,0$	3
		A	$\leq 0,18$	1
		B	$> 0,18$ a $1,0$	2
		C	$> 1,0$	3

Fonte: CETESB (2007).

O valor atribuído ao IPMCA varia de 1 a 9, e subdivide-se em quatro faixas de qualidade (Tabela 8).

Tabela 8. Classificação do Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática (IPMCA)

Categoria	Ponderação
Boa	1
Regular	2
Ruim	3 e 4
Péssima	≥ 6

Fonte: CETESB (2007).

O cálculo também considera o índice de estado trófico (IET), conforme as ponderações da Tabela 9.

Tabela 9. Classificação do Índice de Estado Trófico (IET)

Estado Trófico	Ponderação
Ultraoligotrófico	0,5
Oligotrófico	1
Mesotrófico	2
Eutrófico	3
Supereutrófico	4
Hipereutrófico	5

Fonte: CETESB (2007).

A partir das ponderações supracitadas é possível classificar o índice de vida aquática (IVA) a partir da Tabela 10.

Tabela 10. Classificação do Índice de Vida Aquática (IVA)

Categoria	Ponderação
Ótima	$IVA \leq 2,5$
Boa	$2,6 \leq IVA \leq 3,3$
Regular	$3,4 \leq IVA \leq 4,5$
Ruim	$4,6 \leq IVA \leq 6,7$
Péssima	$IVA \geq 6,8$

Fonte: CETESB (2007).

4.6.4 Análise de Metais

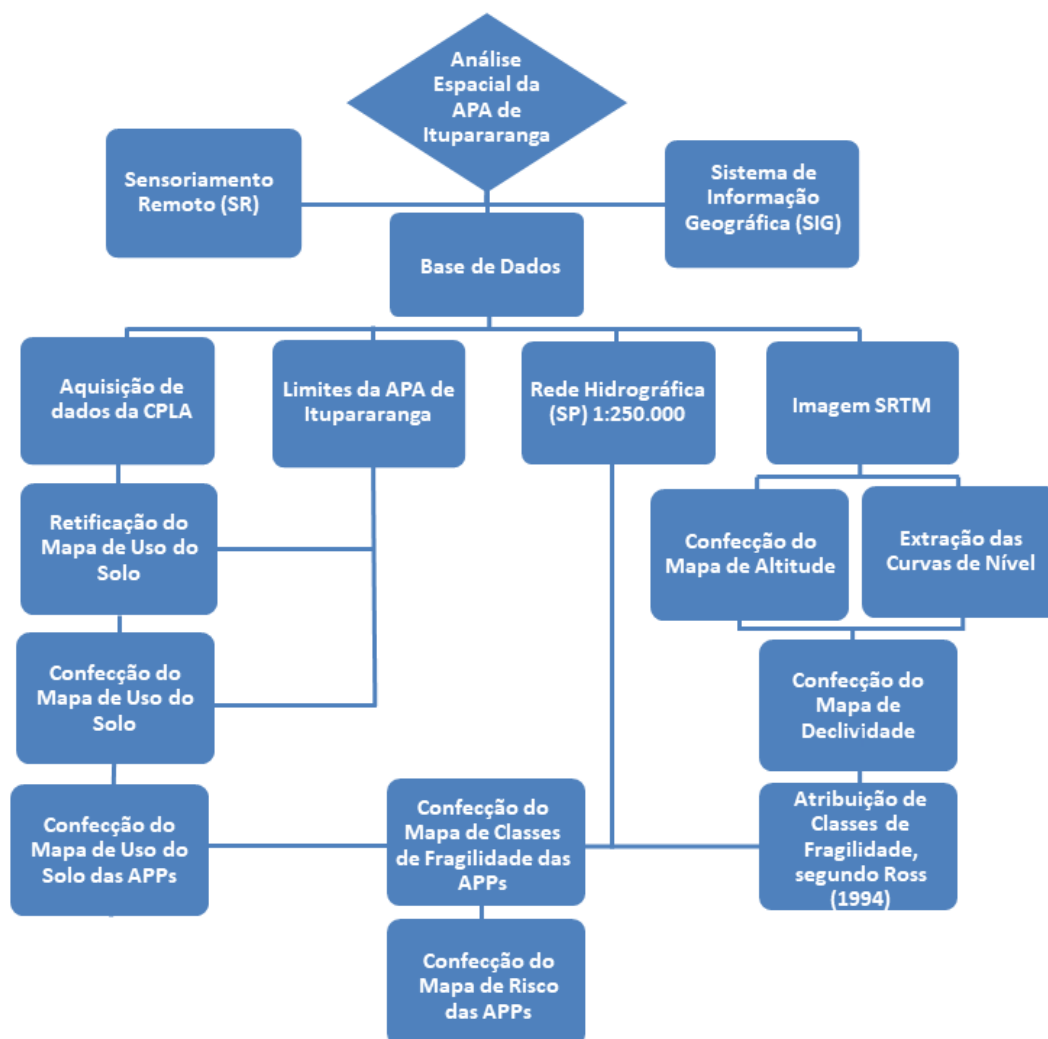
Para análise dos metais totais (MT) presentes na água, as amostras coletadas foram acidificadas com HNO₃ concentrado a fim de se obter uma redução do pH abaixo de 2, segundo *Standard Methods* (APHA, 1998). A determinação dos metais nas amostras de água foi realizada de acordo com a metodologia adaptada da EPA US (1992), que descreve os métodos de digestão das amostras, necessária para que ocorra a oxidação da matéria orgânica e a liberação dos íons metálicos para a solução.

A quantificação dos elementos presentes nas amostras foi realizada por meio de técnicas de Espectroscopia de Emissão Atômica por Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES séries 700 Agilent Technologies). Segundo Petry (2005), esta técnica de quantificação é amplamente utilizada na detecção de baixas concentrações de metais e metaloides pelo fato de possuir boa sensibilidade e também permitir analisar um maior número de elementos devido às elevadas temperaturas do atomizador.

4.7 Análise espacial da Área de Proteção Ambiental (APA) Itupararanga

Foi realizada a análise espacial da área de estudo a partir de técnicas de geoprocessamento associadas a sensoriamento remoto (SR) e sistema de informação geográfica (SIG). Assim, foi possível inferir sobre diversos aspectos ambientais da APA Itupararanga. A partir da referida análise, foram confeccionados diferentes mapas para auxiliar no diagnóstico da área de estudo (Figura 5).

Figura 5. Fluxograma da metodologia utilizada para análise espacial da APA Itupararanga



Fonte: Elaboração própria.

O mapa de Altitude da APA de Itupararanga foi confeccionado a partir de imagens extraídas do satélite *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) obtidas da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA).

A partir do mapa de Altitude da APA, foram extraídas as curvas de nível por meio de ferramentas disponíveis pelo software ArcGis 10.4.1. Em posse do mapa de Declividade, foram estabelecidas diferentes classes de declividade, segundo a metodologia proposta por Ross (1994), para estabelecer classes de fragilidade ambiental, sendo atribuídos diferentes pesos para as respectivas classes (Tabela 11).

Tabela 11. Classes de declividade

Valores	Categoria	Elevação
1	Muito fraco	abaixo de 6%
2	Fraco	de 6 a 12%
3	Médio	de 12 a 20%
4	Forte	de 20 a 30%
5	Muito forte	acima de 30%

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

O mapa do uso e ocupação do solo da APA Itupararanga foi confeccionado a partir da retificação dos mapas de Unidades Homogêneas de uso e ocupação do solo urbano (UHCT) e de Cobertura da Terra do Estado de São Paulo, disponibilizados pela Coordenadoria de Planejamento Ambiental do Estado de São Paulo (CPLA) na escala de 1:100.000. Os mapas da CPLA foram confeccionados com imagens de alta resolução ortorretificadas do satélite SPOT (2010); imagens de RapidEye (5m de resolução) e ortofotos de 2011 (1m de resolução) disponibilizadas pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A.

A retificação do mapa foi conduzida em diferentes etapas. Inicialmente, foi realizada a reclassificação das tipologias identificadas pela CPLA em dez novas classes de usos, de modo a atender aos objetivos do estudo. A segunda etapa consistiu na retificação das áreas agrícolas da APA, sendo realizado por meio da identificação visual de imagens orbitais (ano de 2017) disponibilizadas pelo software Google Earth, onde após serem identificadas e extraídas, foram exportadas para o software ArcGis 10.4.1 e sobrepostas ao mapa de uso do solo para retificação.

A atribuição de valores para as classes de uso do solo foi realizada de acordo com as possíveis ameaças eminentes aos corpos d'água, sendo o peso 0 o menor valor atribuído por

não oferecer riscos, estando nessa categoria todas as classes de matas (cobertura arbórea; cobertura herbácea arbustiva e área verde urbana) e os próprios corpos d'água. O peso 3 foi atribuído à área urbana e área desocupada, sendo designado o peso 3 devido os possíveis danos aos corpos d'água provenientes das atividades antrópicas. A contaminação dos corpos aquáticos pode ocorrer por conta do escoamento superficial resultante da precipitação atmosférica, que pode conter elementos tóxicos e contaminantes ambientais (SANTOS et al., 2012). O maior valor (peso 5) foram atribuídos às áreas agrícolas, loteamentos e solo exposto, que podem impactar diretamente nos corpos d'água através do arraste de sedimentos e materiais particulado (SILVA et al., 2016; SILVA et al., 2017). Assim, as informações provenientes de cada uma das classes foram dispostas na Tabela 12.

Tabela 12. Classes de usos do solo da APA de Ituparanga

Valor	Classes	Caracterização
0	Cobertura arbórea	Inclui as formações predominantemente arbóreas (floresta estacional semidecídua e cerrado), incluindo as matas ciliares, floresta estacional, além das florestas plantadas, como pinus e eucalipto).
0	Cobertura herbácea arbustiva	Inclui áreas cobertas por espécies forrageiras (vegetação de gramíneas e leguminosas) e áreas de pasto.
0	Área verde urbana	Inclui as áreas verdes públicas, como parques e praças.
0	Corpo d'água	Inclui os cursos d'água, como rios, riachos e canais), além de lagos e represas.
1	Área úmida	Inclui áreas com vegetação predominantemente aquática.
3	Área ocupada	Inclui áreas residenciais, comerciais, industriais, áreas pavimentadas (sistema viário). Também inclui áreas edificadas, como chácaras residenciais e sítios distantes da zona urbana.
3	Área desocupada	Inclui áreas destinadas às futuras ocupações urbanas, como áreas com terraplanagem.
3	Loteamento	Inclui áreas com presença ou não de pavimentação, em estágio de implantação/construção.
5	Solo exposto	Inclui áreas com forte intervenção antrópica e áreas com processos erosivos cujo solo apresenta alta vulnerabilidade.
5	Área agrícola	Inclui todas as áreas de cultivo agrícola, incluindo as categorias de culturas temporárias, semiperenes e perenes.

Fonte: Elaboração própria.

4.7.1 Mapa de Classes de Risco das Áreas de Preservação Permanente (APP) da APA Itupararanga

Os planos de informação gerados com as classificações das classes de fragilidade e usos do solo foram recortados dentro dos limites das APPs contidas na APA para identificar os distintos usos do solo, gerando como produto final, um mapa de risco das APPs que serviu de subsídio para inferir sobre o estado de conservação das áreas de APP marginais aos cursos de água contidos na APA.

Para tanto, foi realizada uma análise multicritério que consistiu na sobreposição dos dois planos de informação, onde novos valores foram calculados por meio de uma operação algébrica de mapas de acordo com a Equação (6).

$$ICR = \frac{CF \times US}{25} \quad (6)$$

Sendo:

US é o plano de informação referente ao mapa de uso e ocupação do solo;

CF é o plano de informação referente ao mapa de classes de fragilidade;

ICR é o plano de informação com o Indicador das Classes de Risco das APPs.

Uma vez que todos os valores variavam de 1 a 5, com exceção do mapa de uso e ocupação do solo que apresentava valor igual a 0 atribuídos para as áreas com presença de vegetação, o valor máximo verificado na multiplicação foi igual a 5 e o menor valor igual a 0, portanto, quando os valores finais são divididos por 25, temos os valores do Indicador de Classes de Risco variando de 0 a 1.

Os valores correspondentes às Classes de Risco foram categorizados quanto ao grau de risco de carreamento de sedimentos aos corpos d'água em função da ausência de mata ciliar bem como os diferentes usos do solo em suas extensões, considerando a distância preconizada pelo Novo Código Florestal (2012), que determina uma faixa marginal de APP de 100 metros para reservatórios com fins de abastecimento público e 30 metros para rios com menos de 10 metros de extensão. Assim, a Tabela 13 ilustra as amplitudes concernentes as 5 respectivas classes de riscos.

Tabela 13. Classificação do Indicador das Classes de Risco das matas ciliares da APA de Ituparanga

Indicador das classes de risco (ICR)	
Valor	Classe
0,01 a 0,20	Muito baixo
0,21 a 0,40	Baixo
0,41 a 0,60	Médio
0,61 a 0,80	Alto
0,81 a 1,00	Muito alto

Fonte: Elaboração própria.

A confecção dos mapas, bem como os cálculos matriciais necessários para a obtenção das classes de riscos foram realizados por meio do software ArcGIS versão 10.4.1.

4.8 Tratamento estatístico dos dados

A modelagem estatística dos dados foi realizada por meio da técnica estatística multivariada, sendo realizada a análise de componentes principais (ACP) dos períodos distintos, sendo o chuvoso (dezembro de 2016) e seco (julho de 2017), sendo utilizado o software PAST 2.17.

Para tanto, foram realizadas as correlações sazonais dos pontos amostrados com os parâmetros de qualidade de água; correlação sazonal dos pontos amostrados com o índice de qualidade de água (IQA), índice de estado trófico (IET), índice de estado trófico do fósforo total IET(PT) e índice de estado trófico da clorofila IET(CL); e correlação sazonal dos pontos amostrados com o uso e ocupação do solo.

Pelo fato das variáveis analisadas no estudo possuírem diferentes escalas e unidades, foi realizada a padronização dos dados por meio da média total e desvio padrão de cada variável e período amostrado.

4.9 Coleta de dados

O estudo foi conduzido em dois períodos distintos, sendo a primeira campanha realizada no período chuvoso (dezembro de 2016), e a segunda campanha no período seco, compreendendo (agosto de 2017). Deste modo, foi possível a avaliação sazonal da qualidade da água na área de estudo.

4.10 Etapas da coleta e preservação das amostras

As amostras foram coletadas e, posteriormente, preservadas atendendo aos critérios estabelecidos pelo guia nacional de coleta e preservação de amostras da CETESB (Brandão, 2011). O registro fotográfico das etapas de preservação pode ser identificado na Figura 6.

Figura 6. Etapas da coleta e preservação das amostras



Fonte: Elaboração própria.

4.11 Descarte de resíduos

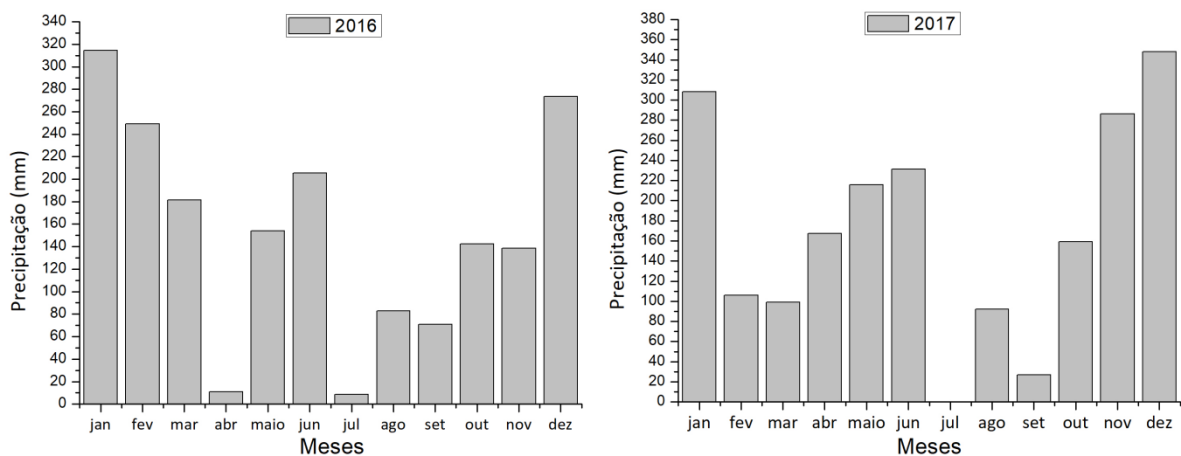
Todos os resíduos provenientes da pesquisa foram devidamente acondicionados e identificados quando impedidos de descarte direto por ultrapassar os limites estabelecidos pela legislação vigente e, posteriormente, encaminhados à Comissão de Resíduos da UNESP - Campus Sorocaba, onde foram neutralizados (quando necessário) e posteriormente descartados, seguindo todas as normas institucionais da UNESP.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Alto Sorocaba

Os parâmetros referentes à qualidade da água superficial da área delimitada para estudo foram investigados em dois períodos distintos, sendo seco e chuvoso, sendo analisadas as variáveis físicas, químicas, hidrobiológicas e microbiológicas da água dos principais afluentes da Bacia Hidrográfica do Alto Sorocaba. Os valores de precipitação mensal e anual dos períodos analisados foram fornecidos pela Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), sendo ilustrados na Figura 7.

Figura 7. Histograma da distribuição das chuvas do reservatório nos períodos estudados



Fonte: Elaboração própria.

Os valores mensais e anuais de precipitação podem ser observados na Tabela 14.

Tabela 14. Valores de precipitação mensais e anual do período de estudo

Ano	Mês	n	\bar{X}	s	CV	Mín	Max	Dias de chuva
2016	Janeiro	31	10,1	17,2	169,8	0	54,0	13
	Fevereiro	29	8,6	14,9	173,3	0	68,5	17
	Março	31	5,9	14,2	240,1	0	73,5	13
	Abril	30	0,4	1,4	363,3	0	6,0	2
	Mai	31	4,0	10,1	251,8	0	37,0	8
	Junho	30	7,1	16,9	238,5	0	0,0	7
	Julho	31	0,3	1,3	454,1	0	7,5	2
	Agosto	31	2,1	7,8	366,5	0	33,5	6
	Setembro	30	2,4	8,4	342,3	0	44,0	4

Ano	Mês	n	\bar{X}	s	CV	Min	Max	Dias de chuva
	Outubro	31	4,9	9,2	188,2	0	38,0	11
	Novembro	30	4,8	9,3	195,7	0	39,0	11
	Dezembro	31	9,2	14,8	160,9	0	65,0	13
Precipitação anual (mm) de 2016								1832,5
2017	Janeiro	31	9,0	16,2	180,5	0	69,0	21
	Fevereiro	28	3,8	6,6	174,7	0	27,0	9
	Março	31	3,4	6,8	197,8	0	28,0	9
	Abril	30	5,8	15,0	259,6	0	63,0	5
	Maiο	31	7,4	18,9	254,4	0	71,8	9
	Junho	30	8,0	20,8	260,3	0	90,3	11
	Julho	31	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0
	Agosto	31	3,2	9,0	283,7	0	49,0	9
	Setembro	30	0,5	3,3	691,9	0	14,0	2
	Outubro	31	5,0	9,5	188,9	0	41,8	14
	Novembro	30	9,9	15,7	158,9	0	58,0	15
	Dezembro	31	9,5	23,7	250,8	0	111,0	14
Precipitação anual (mm) de 2017								2039,75

Legenda: n - amostra. \bar{X} - média. s - desvio-padrão. CV - coeficiente de variação. Min - valor mínimo; Max - valor máximo.

Os resultados apresentados na Figura (7) e Tabela (14) revelaram que o ano de 2016, respectivo ao período chuvoso contemplado no estudo, houve uma precipitação média anual de 1832,5 mm, sendo que no mês de dezembro houve uma precipitação média de 9,2 mm, com desvio padrão igual a 14,8 e coeficiente de variação de 160,9%. O valor mínimo de precipitação para o mês foi de 0 mm e o valor mais alto foi igual a 65 mm.

O período seco, representado pelo mês de julho/agosto no estudo, apresentou uma precipitação média mensal de 0 mm para julho e 3,2 para agosto. O desvio padrão encontrado no período foi de 0 para julho e 9 para agosto e o coeficiente de variação foi de 0% e 283,7%, respectivamente. Para o mês de julho os valores mínimos e máximos de precipitação foram de 0 mm e, para o mês de agosto, os valores foram 0 e 49 mm. Já a precipitação anual para o ano de 2017 foi de 2039,75 mm.

De acordo com Guandique et al. (2015), os estudos concernentes a precipitação anual em bacias hidrográficas constitui um fator determinante no sentido de verificar os fatores relacionados a demanda de irrigação nas áreas de cultivos agrícolas, estimativas para abastecimento de água para a população e para usos industriais, além da influência de diluição dos poluentes aportados aos corpos d'água.

A Tabela 15 apresenta a síntese dos parâmetros de qualidade da água analisados na Bacia do Alto Sorocaba.

Tabela 15. Síntese dos parâmetros de qualidade da água analisados em dois períodos distintos

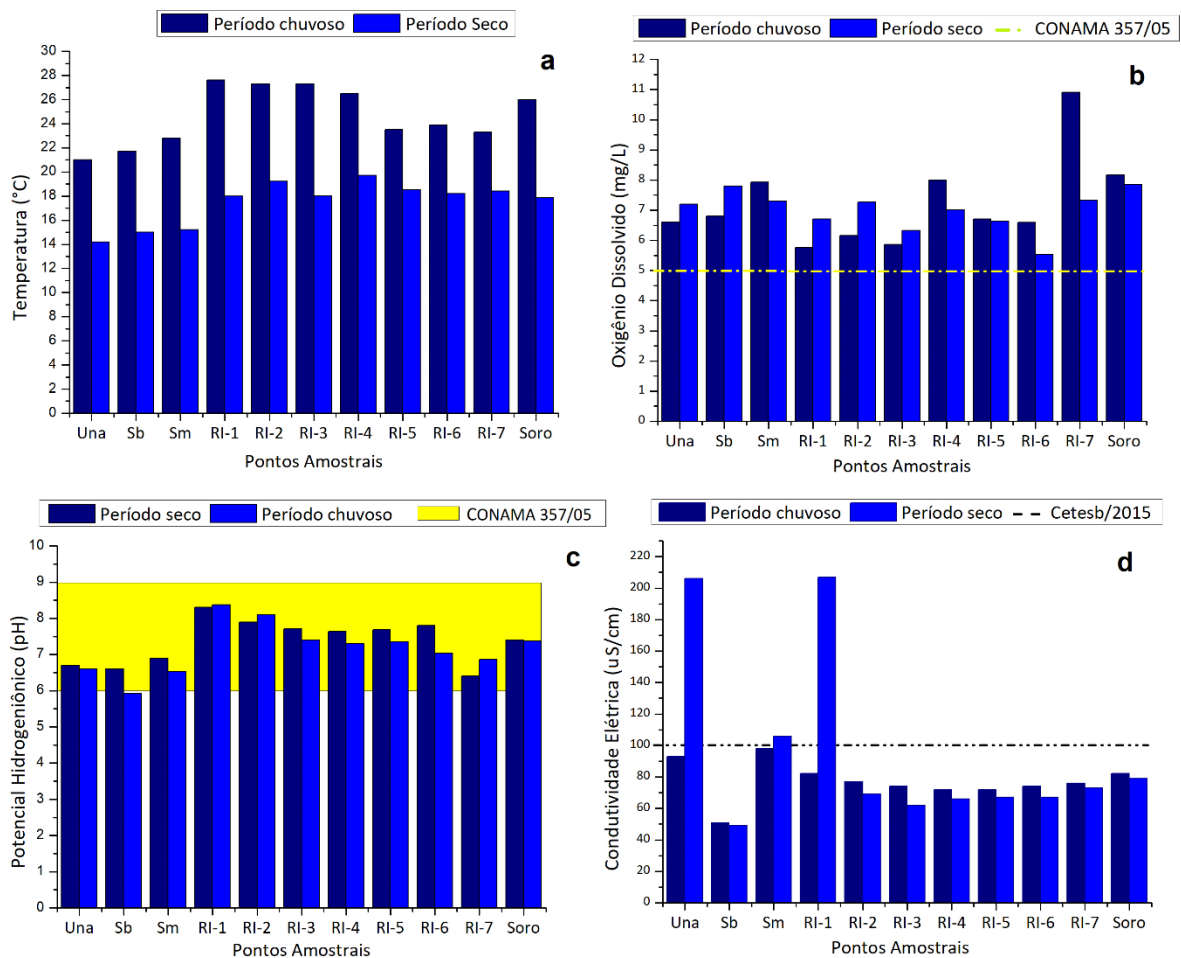
Parâmetros	Amplitude Chuvoso	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Amplitude Seco	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Conama 357/05
OD (mg/L)	10,90 - 5,77	7,42	1,46	20	7,85 - 5,53	7,42	1,46	20	≥ 5
Temp (°C)	27,60 - 21,00	24,63	2,28	9	19,70 - 14,21	17,49	1,74	10	-
pH	8,38 - 5,93	7,17	0,67	9	8,30 - 6,40	7,36	0,59	8	6 a 9
Cond (uS)	98,00 - 51,00	77,36	11,64	15	207,00 - 49,00	95,55	53,95	56	≤ 100*
Turb (UNT)	77,00 - 13,00	23,33	17,35	74	11,70 - 4,50	8,86	1,91	22	≤ 100
STD (mg/L)	64,00 - 33,00	48,18	7,40	15	134,00 - 32,00	54,55	26,60	49	500,00
Pot. Redox (m/v)	216,00 - 77,00	163,45	40,52	25	285,00 - 126,00	197,91	48,78	25	-
Col. Totais (NMP/100 mL)	1601,00 - 2,00	416,71	613,49	147	3500,00 - 1,79	865,88	1386,2	160	Até 1.000 em 100 mL
Col. Termo (NMP/100 mL)	1601,00 - 1,79	188,73	457,33	242	2200,00 - 1,79	343,44	652,78	190	Até 1.000 em 100 mL
DBO (mg/L)	2,59 - 0,03	0,78	0,66	85	2,14 - 0,37	1,45	0,52	36	≤ 5
Clorofila-a (ug/L)	21,38 - 0,91	9,11	5,86	64	9,62 - 0,33	5,77	3,86	67	< 30,00
PT (mg/L)	0,20 - 0,02	0,08	0,08	98	0,74 - 0,04	0,18	0,19	103	0,030 (1) 0,050 (2)
NT (mg/L)	8,40 - 0,17	2,23	2,59	116	1,50 - 0,25	0,65	0,46	70	**
Surf (mg/L)	0,28 - 0,05	0,13	0,07	57	0,12 - 0,05	0,08	0,02	19	0,500

Legenda: CV (%): Coeficiente de variação. (*) CETESB, 2009. ⁽¹⁾ Limites estabelecidos para ambientes lênticos. ⁽²⁾ Limites estabelecidos para ambientes intermediários e tributários provenientes de ambientes lênticos. (**) Parâmetro variável em função do pH.

Para uma melhor representação dos resultados, foram confeccionados gráficos no software Origin Pro-8 que permitem a visualização dos resultados obtidos nos diferentes corpos d'água inseridos na APA em dois períodos distintos.

A Figura 8 (a), (b), (c) e (d) ilustra os resultados obtidos para os parâmetros referentes à temperatura (Temp), oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (Cond) da água.

Figura 8. Valores dos parâmetros físico-químicos da água dos pontos amostrais em dois períodos distintos



Fonte: Elaboração própria.

A partir da Figura 8 (a) é possível verificar que a temperatura sofreu alteração ao longo dos pontos amostrais, isso se deve aos fatores climáticos tais como a radiação solar proveniente dos períodos diurnos e sazonalidade, bem como fatores relacionados à profundidade do corpo d'água, altitude e latitude. A temperatura influencia diretamente nas reações físico-químicas dos corpos d'água e nos processos metabólicos dos organismos aquáticos (ESTEVES, 2011).

Nesse sentido, os pontos amostrais que apresentaram os maiores valores de temperatura foram o RI-2, RI-3 e RI-4, inseridos no reservatório. O ponto localizado no rio Sorocaba, a jusante da barragem, também apresentou um valor mais elevado se comparado aos demais.

O parâmetro referente ao oxigênio dissolvido (OD) (Figura 8b) pode ser considerado um dos mais importantes gases dissolvidos associados à dinâmica dos ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 2011). Nesse sentido, é possível observar um elevado valor de OD no ponto amostral próximo à barragem do reservatório (RI-7). O ponto localizado na diluição dos rios formadores (RI-1) foi o que apresentou o menor valor de oxigênio (5,77 mg/L). Esse fato pode ser atribuído às elevadas taxas de matéria orgânica advindas dos rios formadores do reservatório, pois no processo de estabilização da matéria orgânica são consumidas altas taxas de OD. Os pontos a jusante RI-2 e RI-3 também apresentam valores baixos, sendo, respectivamente, 6,16 e 5,86 mg/L. Entretanto, a partir do RI-4 os valores de OD aumentam, chegando a 10,9 no RI-7, portanto, todos os pontos apresentaram valores dentro do estabelecido pela resolução CONAMA 357/05 (≥ 5 mg/L).

A solubilidade do OD nos corpos d'água varia, principalmente, em função da temperatura, pressão e salinidade, ainda a taxa de reaeração desse gás depende de aspectos hidráulicos relacionados com a velocidade dos ambientes aquáticos (ESTEVES, 2011; ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2004; VON SPERLING, 2005). Ainda, de acordo com os autores, esse parâmetro é essencial para os organismos aeróbios, pois esses organismos fazem uso do oxigênio nos processos provenientes da estabilização da matéria orgânica. No entanto, baixas concentrações de OD podem levar a mortandade de peixes e outros organismos aquáticos. Contudo, elevados valores de OD em ambientes lênticos podem indicar condições de eutrofização, pois as algas fotossintetizantes introduzem OD para o meio aquático; sendo assim, esse parâmetro por si só não reflete a qualidade da água do corpo d'água.

Quanto ao potencial hidrogeniônico (pH) representado na Figura 8 (c), o ponto amostral Sb foi o único que apresentou um valor bem próximo ao mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05, sendo 5,97. Valores baixos de pH podem ser indicativos de desequilíbrios ambientais, uma vez que influencia diretamente na fisiologia de muitas espécies (ESTEVES, 2011). Do mesmo modo, altos valores de pH podem favorecer a precipitação de alguns metais pesados na coluna d'água, dentre outras implicações.

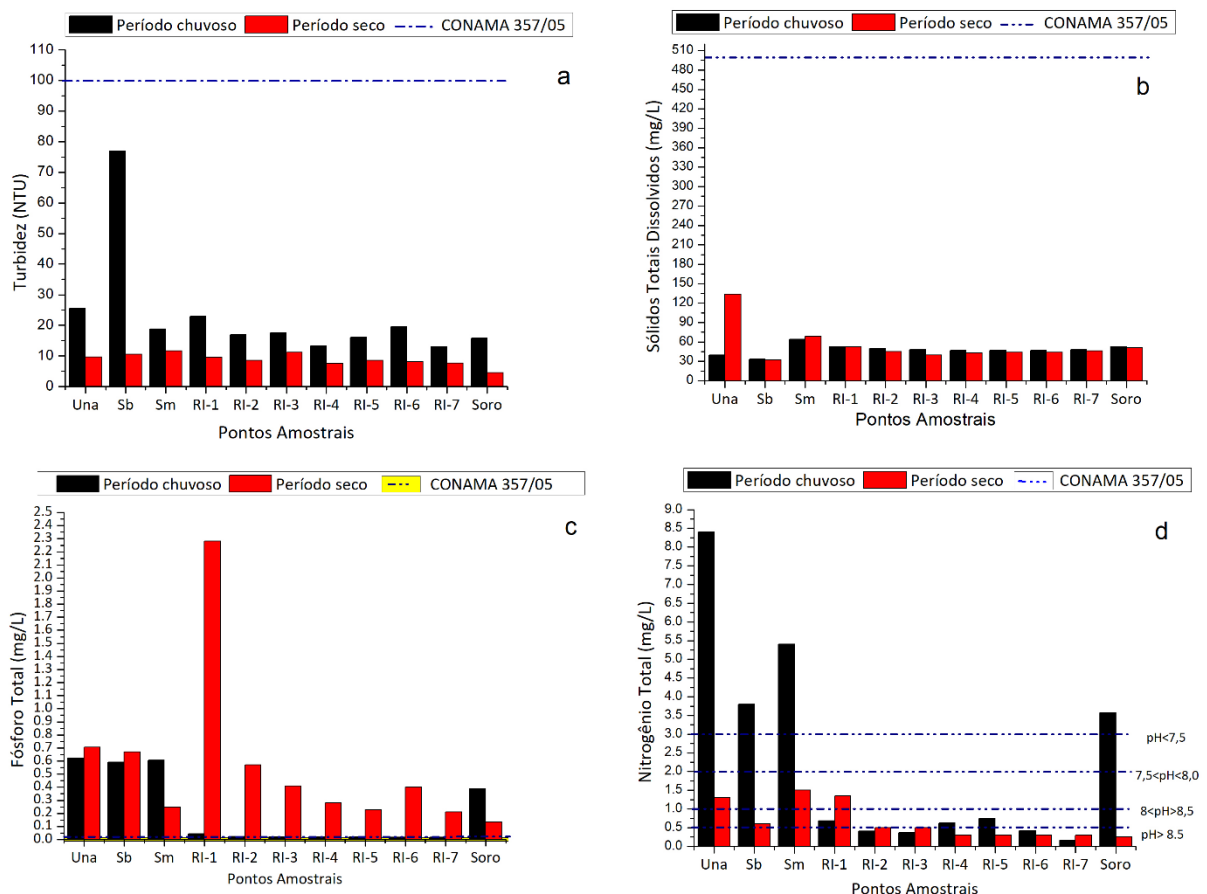
Os pontos amostrais RI-1 e RI-2 apresentaram os valores mais elevados, sendo, respectivamente, 8,38 e 8,1. Entretanto, de modo geral, todos os pontos amostrais apresentaram-se dentro dos limites preconizados pela Resolução CONAMA 357/05.

A condutividade elétrica (Cond) (Figura 8d) apresentou valores abaixo do recomendado pela Cetesb (2009) em todos os pontos amostrais, sendo inferiores a 100 μ S/cm. O ponto Sm apresentou o maior valor de Cond, sendo 98 μ S/cm. Os pontos Una, RI-1 e Soro

também apresentaram valores mais elevados. A Cond expressa a quantidade de sais presentes na água, podendo inferir sobre a poluição dos corpos d'água uma vez que está associado à quantidade de sólidos dissolvidos na água (ESTEVEES, 2011; ROSA et al., 2015; SOUZA et al, 2012).

Tendo em vista as complexas interações presentes na água, é importante abranger o maior número de variáveis possíveis, de modo a inferir sobre sua qualidade. Nesse sentido, também foram analisados os parâmetros referentes à turbidez (Turb), sólidos totais dissolvidos (STD), fósforo total (FT) e nitrogênio total (NT), conforme apresentado na Figura 9 (a), (b), (c) e (d).

Figura 9. Resultados dos parâmetros de turbidez (Turb), sólidos totais dissolvidos (STD), fósforo total (PT) e nitrogênio total (NT)



Fonte: Elaboração própria.

A turbidez (Turb) refere-se às partículas orgânicas e inorgânicas presentes na água que interferem na passagem da luz, conferindo à água um aspecto turvo. Essas partículas podem ter origem de fontes naturais, provenientes de rochas e desagregados, além de fontes

antropogênicas, advindas de despejos domésticos e industriais (ESTEVEES, 2011; SOUZA et al, 2012; VON SPERLING, 2005).

Todavia, a partir da Figura 9 (a) foi possível observar que todos os pontos amostrais apresentaram valores abaixo de 30 (NTU), com exceção do Sb que obteve 77 (NTU). No entanto, apesar do valor mais elevado do SB, todos os pontos mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05 de até 100 NTU.

Os sólidos totais dissolvidos (STD) dos pontos amostrais apresentaram valores bem abaixo do determinado pela resolução CONAMA 357/05, conforme ilustrado na Figura 9 (b). Os STD representam um parâmetro que exerce grande impacto nos organismos aquáticos. Com exceção dos gases dissolvidos, qualquer contaminante que aporte os corpos d'água agrega a eles partículas sólidas. Valores elevados podem ocasionar significativos danos aos peixes, por exemplo, prejudicando a desova e a disponibilidade de alimentos. Ainda podem desencadear processos de decomposição anaeróbia nos corpos d'água por sedimentação de material orgânico e bactérias no fundo dos rios (ESTEVEES, 2011; ROSA et al., 2012; VON SPERLING, 2005).

Os resultados provenientes das análises de fósforo total (FT) foram expressos na Figura 9 (c). O FT é aportado aos corpos d'água por meio de fontes antropogênicas, tais como despejos domésticos e industriais, fertilizantes, defensivos agrícolas e matéria orgânica fecal (ROSA et al., 2015; SOUZA et al, 2012; VON SPERLING, 2005). Dentre as formas que se apresentam no ambiente aquático, destaca-se o ortofosfato, fósforo orgânico e polifosfato, sendo o ortofosfato a forma mais assimilável pelos organismos aquáticos e os polifosfatos moléculas mais complexas (VON SPERLING, 2005).

Os resultados revelaram altos valores nos rios formadores do reservatório de Itupararanga, sendo, respectivamente, 0,625, 0,590 e 0,605 mg/L. A Resolução CONAMA 357/05 atribui valores de 0,030 mg/L P para corpos d'água Classe 2 inseridos em ambiente lântico, e 0,050 mg/L P para corpos d'água com ambientes intermediários e tributários diretos de ambiente lântico. Sendo assim, os valores obtidos nos pontos amostrais Una, Sb e Sm estão acima do permitido pela legislação.

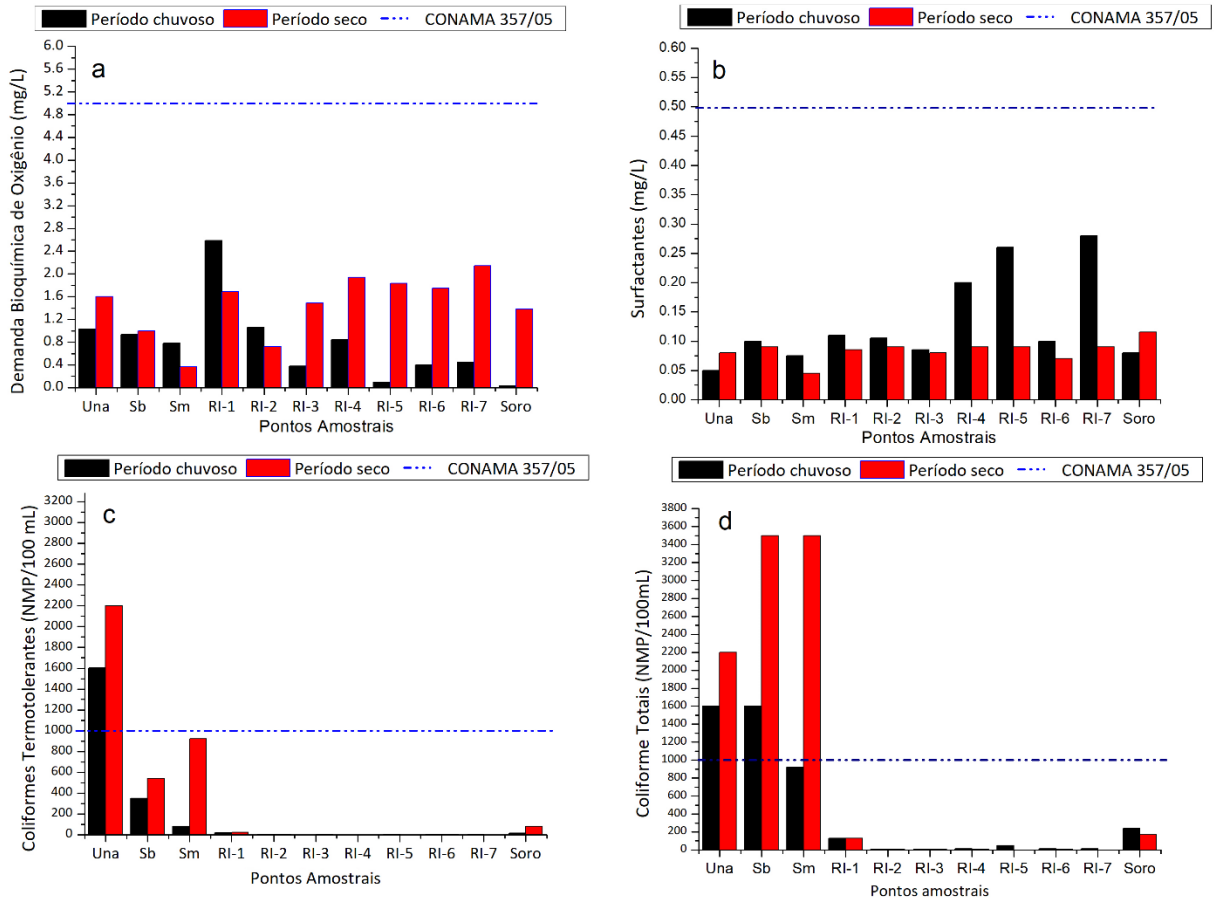
Elevados valores não conferem problemas de ordem sanitária aos corpos d'água; no entanto, o fósforo é um elemento essencial para o crescimento de organismos fotossintetizantes, sendo um importante agente no processo de eutrofização dos ambientes aquáticos (CETESB, 2009; ESTEVEES, 2011; VON SPERLING, 2005).

Estudos realizados por Conceição et al. (2011) avaliaram a composição química das águas pluviais na Bacia Hidrográfica do Alto Sorocaba e constataram uma alta deposição de fosfatos e nitratos advindos de material particulado resultantes de atividades agrícolas na bacia hidrográfica. Os autores alertaram para os potenciais riscos de eutrofização dos corpos d'água devido os altos valores encontrados para esses elementos.

O nitrogênio, assim como o fósforo, é um elemento essencial para os organismos aquáticos, podendo atuar como um elemento limitante à produção primária (ESTEVES, 2011). A introdução por vias antrópicas nos ambientes aquáticos se dá por meio de despejos industriais, matéria orgânica fecal e, principalmente, pelo esgotamento sanitário nos corpos d'água. A Figura 9 (d) ilustra os valores de nitrogênio total (NT) encontrados nos pontos amostrais. O N se apresenta em diversas formas no ambiente aquático e, segundo Von Sperling (2005) a forma predominante pode indicar o grau de poluição no ambiente.

Dentre os pontos amostrados, os rios formadores do reservatório apresentaram elevados valores de NT, destacando o rio Una com 8,4 mg/L, e rio Sorocamirim com 5,4 mg/L no período chuvoso, enquanto o rio Sorocabuçu apresentou 3,8 mg/L. No período seco os maiores valores observados foram no rio Una (1,3 mg/L) e rio Sorocamirim, com 1,5 mg/L. Os pontos amostrais inseridos no reservatório apresentaram uma variação entre 0,166 e 0,745 mg/L no período chuvoso. Já no período seco, a variação no reservatório foi de 1,35 mg/L para o ponto inserido na diluição (RI-1), enquanto o menor valor foi de 0,3 mg/L. De acordo com a Resolução CONAMA 357/05, os valores máximos de nitrogênio total amoniacal variam em razão do pH.

Figura 10. Resultados dos parâmetros de demanda bioquímica de oxigênio, surfactantes, coliformes termotolerantes e coliformes totais obtidos sazonalmente



Fonte: Elaboração própria.

Em relação à demanda bioquímica de oxigênio (DBO), o ponto amostral que apresentou o maior valor foi o RI-1 (Figura 10a), inserido no ponto amostral localizado na diluição dos rios formadores dentro do reservatório. Esse ponto amostral, por se tratar da confluência dos rios Una, Sorocabuçu e Sorocamirim, recebe uma elevada carga orgânica.

Segundo Von Sperling (2005), a análise da DBO representa a quantidade indireta de matéria orgânica presente no corpo d'água, e proporciona uma estimativa da quantidade de OD que será consumida para que ocorra a estabilização da matéria orgânica. Deste modo, todos os pontos amostrais apresentaram-se dentro dos valores preconizados pela Resolução CONAMA 357/05.

O estudo também contemplou a análise de surfactantes nos pontos amostrais (Figura 10b), que consistem em substâncias ativas ao azul de metileno (CETESB, 2009). A concentração máxima determinada pela Resolução CONAMA 357/05 da substância é de 0,500

mg/L. Sendo assim, nenhum ponto amostral obteve valor superior ao preconizado pela legislação.

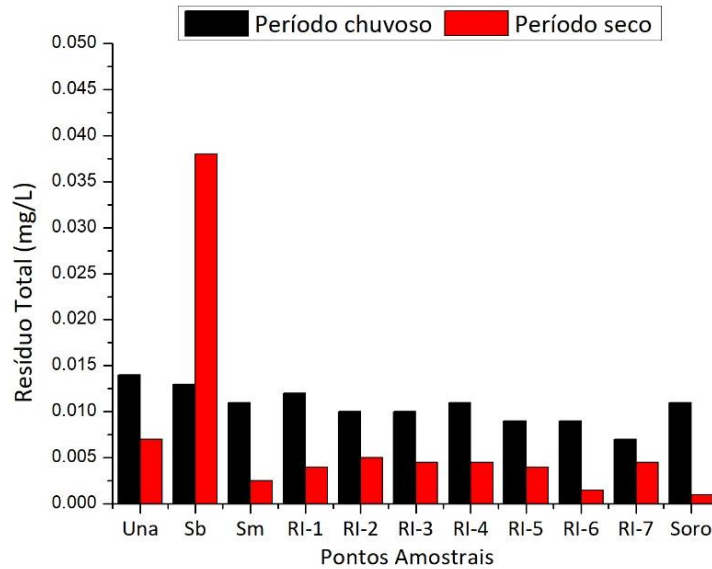
O uso abundante de detergentes pela população confere aos surfactantes um potencial risco para a biota, devido sua toxicidade. Também podem comprometer a quantidade de oxigênio dos corpos d'água quando em grande quantidade, uma vez que esses elementos alteram a tensão superficial da água, influenciando também na permeabilidade da luz nesses ambientes; contribuem para a eutrofização dos ambientes aquáticos, devido à elevada carga de compostos fosfatados presentes na formulação de alguns detergentes (SANTOS et al., 2012). Ainda, causam diversos problemas às estações de tratamento de esgoto, aumentando significativamente o custo de operação das estações (SANTOS et al., 2012).

Os parâmetros microbiológicos expressos na Figura 10 (c) e (d) também foram analisados e os resultados demonstraram que os pontos amostrais inseridos na cabeceira do reservatório, ou seja, o rio Una, Sorocabuçu e Sorocamirim apresentaram os valores mais elevados de coliformes totais e coliformes termotolerantes. Já os pontos inseridos no reservatório apresentaram valores significativamente mais baixos, com exceção do RI-1, que recebe a carga dos rios formadores. A jusante do reservatório, o rio Sorocaba apresentou o valor de 240 NMP/100 mL. Todavia, para os pontos inseridos na cabeceira do reservatório, o Una apresentou valores de coliformes termotolerantes superiores a 1600 NMP/100 mL, ficando acima do permitido pela Resolução CONAMA 357/05. O Sb apresentou 350 NMP/100 mL e o Sm 79 NMP/100 mL.

Foi possível observar um grande aporte de matéria orgânica fecal no reservatório por conta dos seus rios formadores, fato que é sugestivo do despejo de efluentes domésticos pelos municípios inseridos na cabeceira da APA Itupararanga. No entanto, Apesar dos elevados valores, é possível observar que o reservatório está conseguindo realizar a depuração desse material ao longo de sua extensão, pois todos os pontos amostrados dentro do reservatório apresentaram baixos valores de coliformes totais e termotolerantes no período chuvoso.

Também foram analisados os resíduos totais (RT) presentes na água (Figura 11).

Figura 11. Resíduo total dos pontos amostrais do período chuvoso



Fonte: Elaboração própria.

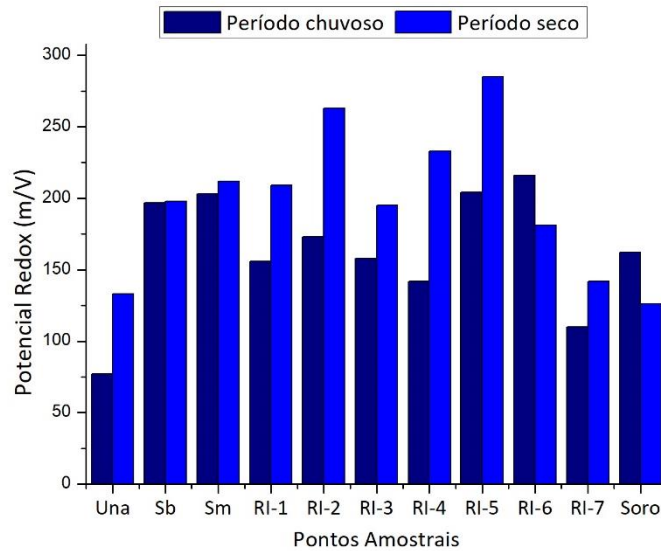
Os resultados apresentaram, em sua maioria, valores decrescentes ao longo do perfil dos pontos amostrais (Figura 11).

Deste modo, o Una apresentou o maior valor de RT, sendo 0,0014 enquanto o RI-7, o ponto mais próximo à barragem do reservatório de Itupararanga apresentou o menor valor. De acordo com a Cetesb (2009), valores baixos de resíduos podem indicar que a origem do material seja proveniente de fontes autóctones.

O perfil dos pontos amostrais demonstrou uma tendência decrescente dos valores partindo dos rios formadores Una e Sb. No entanto, na convergência dos rios formadores e diluição no reservatório, representado pelo RI-1, houve novamente um aumento de RT. Contudo, ao longo dos pontos amostrais distribuídos no reservatório, o ponto próximo à barragem (RI-7) apresentou o menor valor dentre os demais (0,007 mg/L).

A capacidade de transferência de elétrons em ambientes aquáticos está associada às condições biogeoquímicas dos sedimentos e das substâncias presentes no meio (ESTEVEZ, 2011). Sendo assim, o potencial redox expressa a capacidade de oxi-redução do ambiente. Os resultados do potencial redox estão representados na Figura 12.

Figura 12. Resultados sazonais obtidos para a variável potencial redox

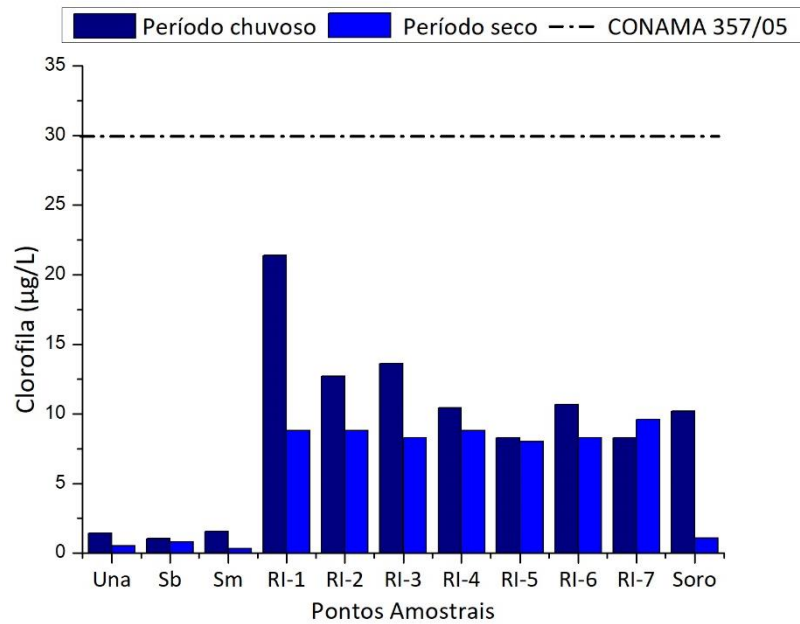


Fonte: Elaboração própria.

Os resultados evidenciaram um significativo contraste nos valores obtidos, sendo o Una o ponto amostral com menor valor (77 m/V) entre os rios formadores, e os pontos RI-5 e RI-6 inseridos no reservatório apresentaram elevados valores de potencial redox, sendo, respectivamente, 204 e 216 m/V. Todavia, o ponto próximo à barragem apresentou um decréscimo no seu valor (110 m/V), voltando a subir no ponto inserido no rio Sorocaba (Soro), com 162 m/V. De acordo com Esteves (2011), as fortes interferências que ocorrem no ambiente natural fazem com que o potencial redox possua um papel importante na identificação dos processos de oxi-redução do meio aquático; no entanto, as variáveis Temp e OD também regem grande parte desses processos, o que torna difícil qualquer inferência a partir desta variável.

A clorofila *a* é a variável mais importante na caracterização do estado trófico dos ambientes aquáticos por se tratar de um dos principais pigmentos responsáveis pela fotossíntese, sendo amplamente utilizada, por representar a biomassa algal (ESTEVES, 2011). Os resultados dos parâmetros de clorofila foram dispostos na Figura 13.

Figura 13. Resultados sazonais de clorofila-*a* dos pontos amostrais



Fonte: Elaboração própria.

Todos os pontos amostrais apresentaram valores abaixo do máximo permitido pela Resolução CONAMA 357/05. Os pontos inseridos em ambientes lóticos compreendendo os rios formadores do reservatório de Itupararanga apresentaram valores mais baixos. Contudo, a partir do represamento, os pontos amostrados tendem a aumentar, sendo o maior valor obtido no RI-1 com 21,38 µg/L, uma vez que recebe o despejo dos rios formadores.

Dentre os poluentes aportados aos corpos d'água, destacam-se os metais devido ao alto grau de toxicidade aos seres vivos pelo fato destes não sofrerem degradação no ambiente, resultando em sua bioacumulação (ROSA et al., 2015; SANTOS et al., 2012; VON SPERLING, 2005). Nesse sentido, foram analisados os metais considerados tóxicos à biota em altas concentrações, cujos resultados estão dispostos na Tabela 16.

Tabela 16. Resultados da análise de metais obtidos no período chuvoso

Ponto amostral	Hg	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	mg/L						
Una	<LD	ND	0,003	<LQ	<LQ	0,02	0,01
Sb	<LD	ND	0,004	<LQ	<LQ	<LQ	0,01
Sm	<LD	ND	0,004	<LQ	<LQ	<LQ	0,01
RI-1	<LD	ND	0,005	<LQ	<LQ	<LQ	0,01
RI-2	<LD	ND	0,005	<LQ	<LQ	<LQ	0,01
RI-3	<LD	ND	0,005	<LQ	<LQ	0,02	0,02
RI-4	<LD	ND	0,005	<LQ	<LQ	<LQ	0,01
RI-5	<LD	ND	0,006	<LQ	<LQ	0,07	0,01
RI-6	<LD	ND	0,004	<LQ	<LQ	0,02	0,00
RI-7	<LD	ND	0,004	<LQ	<LQ	<LQ	0,01
Soro	<LD	ND	0,003	<LQ	<LQ	<LQ	0,03
Conama 357/05	0,0002	0,001	0,005	0,009	0,025	0,01	0,09

Legenda: LD = Limite de detecção. ND = Não detectado.

Foi possível observar que o ponto amostral localizado na cabeceira (Una), e os pontos amostrais inseridos no reservatório, sendo RI-3, RI-5 e RI-6 apresentaram valores de Pb além do permitido pela Resolução CONAMA 357/05, cuja máxima concentração permitida é de 0,01 mg/L. O chumbo apresenta diversas características que o tornam um elemento muito empregado na indústria, para os mais variados fins (SANTOS et al., 2012). Sendo assim, o risco de aporte aos corpos de água ocorre por meio de lançamento de efluentes industriais e esgoto doméstico (VON SPERLING, 2006).

Estudo realizados por Rosa et al. (2015) também detectaram a presença de chumbo no reservatório no período compreendido entre 2007 e 2008. Os autores detectaram o elemento em todos os pontos amostrados; no entanto, os maiores valores foram obtidos no ponto amostrado próximo à barragem, fato sugerido pelos autores da decorrência do acúmulo do elemento ao longo do reservatório. Tais resultados corroboram com os obtidos neste estudo, onde as maiores concentrações do elemento foram detectadas no ponto amostral RI-5 (0,074 mg/L) e 0,02 mg/L no ponto RI-6.

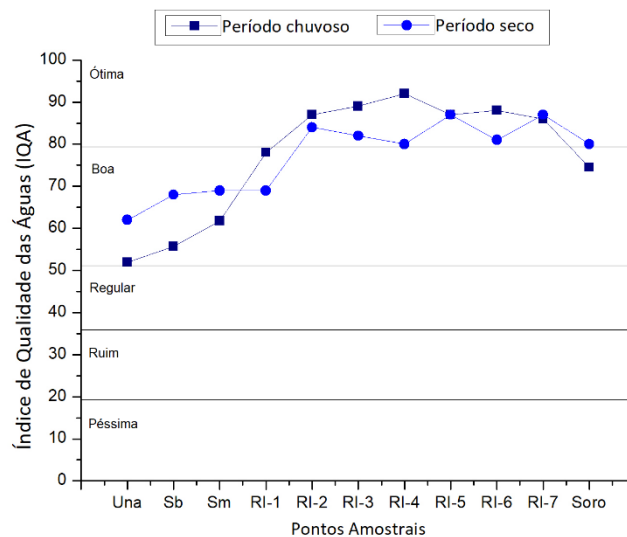
Para o cromo (Cr) apenas o RI-5 não esteve em conformidade com a legislação; no entanto, todos os pontos amostrados no reservatório apresentaram valores bem próximos ao máximo estabelecido pela legislação, portanto, o potencial risco desses pontos ultrapassarem os valores máximos permitidos é elevado, visto que o aporte desse elemento aos corpos d'água ocorre por diversos meios, uma vez que é empregado em larga escala em processos industriais, inclusive na composição de fertilizantes (SANTOS et al., 2012).

Os metais Hg e Cu estiveram abaixo do limite de detecção estabelecido pelo método. Já o elemento Cd não foi detectado em nenhum ponto amostrado. Já o zinco (Zn) apresentou valores abaixo do permitido pela legislação em todos os períodos amostrados.

5.2 Índices de qualidade de água obtidos no estudo

Em posse dos resultados dos parâmetros de qualidade da água apresentados, foram elaborados os índices de qualidade de água, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14. Resultados sazonais do Índice de Qualidade das Águas (IQA) dos pontos amostrais



Legenda: Nível de qualidade classificado como Ótima: $79 < IQA \leq 100$, Boa: $51 < IQA \leq 79$, Regular: $36 < IQA \leq 51$, Ruim: $19 < IQA \leq 36$, Muito Ruim: $IQA \leq 19$.

Os resultados revelaram que todos os pontos amostrais estão inseridos nas faixas consideradas Boa e Ótima para ambos os períodos estudados. No entanto, observou-se uma tendência crescente dos valores de IQA, partindo dos rios formadores (Una, Sorocabuçu e Sorocamirim) que apresentaram valores mais baixos em ambos os períodos, sendo $IQA=60$ para o Una e Sb, e $IQA=72$ para o Sm no período chuvoso. Já no período seco, o Una apresentou $IQA=62$, Sb um $IQA=68$ e Sm ($IQA=69$), demonstrando que no período chuvoso os rios formadores obtiveram valores mais baixos, devido a influência do escoamento superficial, com valores mais expressivos para o rio Una, sugestivo das interferências da alta urbanização, visto que o rio Una passa pela zona urbana do município de Ibiúna, assim como o trecho amostrado do rio Sorocabuçu.

Dentre os pontos amostrados no reservatório de Itupararanga (RI-1) a (RI-7), o ponto amostral (RI-1) foi o que apresentou valores mais baixos para ambos os períodos analisados, sendo IQA=78 para o período chuvoso e IQA=69 para o período seco. No período chuvoso, o IQA apresentou um valor crescente à jusante do ponto RI-1, que recebe toda a carga proveniente da diluição dos rios da cabeceira. No entanto, a partir do RI-5 o valor do IQA tende a decrescer ao sentido da barragem no período chuvoso, o que sugere a entrada de cargas poluidoras próximas aos pontos amostrais provenientes do uso do entorno.

No período seco é possível observar que o pior valor também foi no ponto amostral onde ocorre a diluição dos rios da cabeceira, seguida do ponto RI-2 que evidencia uma melhora significativa na qualidade e, na sequência dos pontos amostrados (RI-3) e (RI-4) sofreram um decréscimo nos valores, mas ainda permanecendo na categoria de qualidade denominada Boa. No ponto RI-5 os valores para ambos os períodos foi o mesmo (IQA=87), decrescendo à jusante no ponto RI-6 e apresentando melhora no ponto RI-7, próximo à barragem. Contudo, no ponto amostrado no rio Sorocaba (Soro), o valor de IQA tende a decrescer, apresentando IQA igual a 81 no período chuvoso e IQA igual a 80 no período seco.

Portanto, o IQA (Figura 14) apresentou valores distintos de acordo com a sazonalidade, nos quais os piores valores foram encontrados no período chuvoso, fato que pode ser atribuído ao escoamento superficial ocasionado pelas chuvas, que aportam diversas substâncias aos corpos d'água provenientes dos usos do solo decorrentes do entorno. No entanto, os resultados obtidos de IQA apresentaram prevalência da categoria Boa para os rios formadores e ponto de confluência (RI-1) e Ótima para os pontos (RI-2) a (RI-7) do reservatório.

Estudos realizados por Rosa et al. (2015) também avaliaram o IQA do reservatório de Itupararanga, encontrando resultados semelhantes aos obtidos no presente estudo. Nesse sentido, foram avaliados sete pontos amostrais compreendendo toda a extensão do reservatório e, assim como neste estudo, os piores valores foram obtidos no ponto amostral próximo à confluência dos rios formadores no reservatório no período chuvoso. Entretanto, os autores não identificaram uma distribuição espacial e sazonal expressiva para o IQA e, de modo geral, o índice apresentou resultados satisfatórios para o abastecimento público.

Estudos semelhantes foram realizados por Cunha et al. (2013) no sentido de avaliar a influência sazonal dos parâmetros de qualidade da água na lagoa Caiubá, localizada no Rio Grande do Sul, em uma bacia hidrográfica com elevada atividade agrícola. Os autores encontraram valores de IQA classificados como Excelente no verão, inverno e primavera,

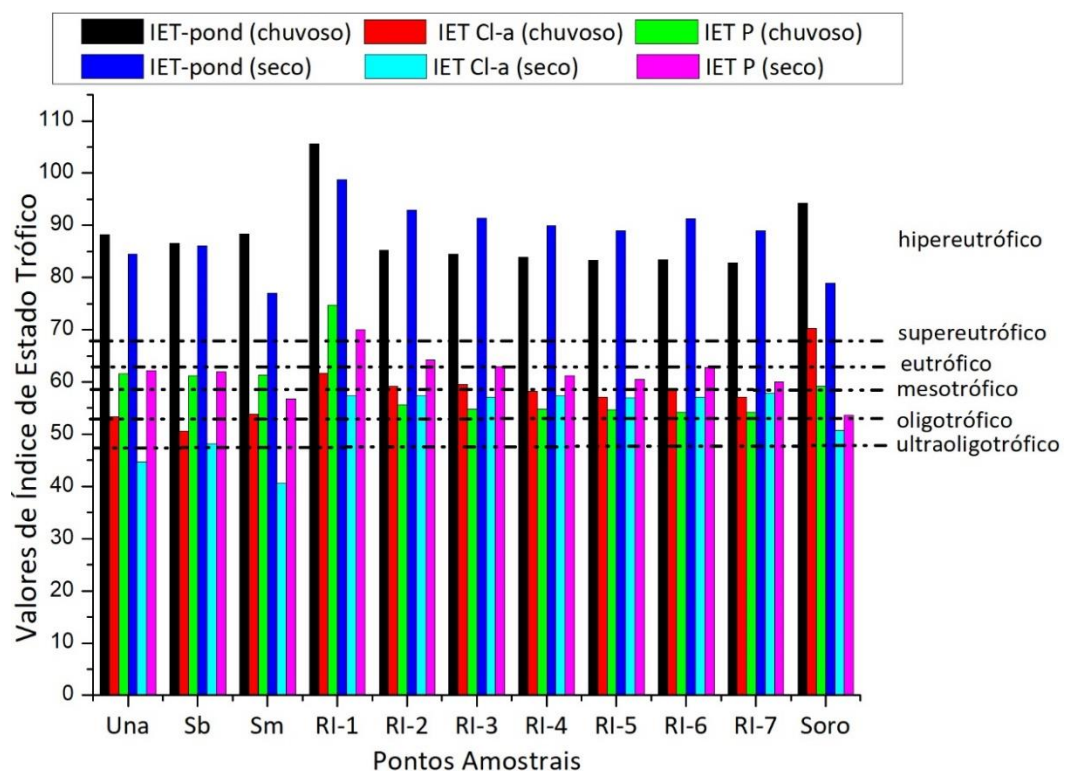
enquanto no outono o IQA foi enquadrado na categoria de Boa qualidade. Entretanto, os valores encontrados pelos autores foram muito semelhantes aos encontrados neste estudo.

Contudo, assim como Cunha et al. (2013) e Lopes et al. (2008) verificaram em seus estudos, o IQA pode mascarar a qualidade da água, uma vez que um parâmetro isolado que se apresente em desconformidade com a legislação, pode ser facilmente equalizado pelo índice, não refletindo assim o real estado de qualidade da água. Esse fato também foi constatado no presente estudo, uma vez que os índices referentes ao estado trófico e índice de vida aquática apresentaram resultados bastante preocupantes, como será visto a seguir.

A eutrofização é um problema que ocorre em escala global, ocasionada pelo crescimento excessivo das plantas aquáticas que podem ser classificadas em dois grupos distintos, sendo plantas aquáticas planctônicas, que se movem conforme a corrente superficial do ambiente aquático (THOMAN; MILLER, 1987). Já as plantas fixas consistem em plantas enraizadas ou que se apresentam aderidas, sendo representadas pelas algas bêmicas (VON SPERLING, 2005).

Os resultados do índice de estado trófico foram apresentados mediante as variáveis de clorofila (IET (Cl-a) e fósforo (IET (P), e podem ser observados na Figura 15.

Figura 15. Resultados sazonais do Índice de Estado Trófico (IET) dos pontos amostrais



Legenda: Valores atribuídos ao índice de estado trófico (média): ultraoligotrófico = $IET \leq 47$, Oligotrófico = $47 < IET \leq 52$, Mesotrófico = $52 < IET \leq 59$, Eutrófico = $59 < IET \leq 63$, Supereutrófico = $63 < IET \leq 67$, Hipereutrófico = $IET > 67$.

O índice de estado trófico (IET) apresentou altos valores em todos os pontos amostrais, sendo todos classificados, de acordo com a CETESB (2009), como hipereutróficos. Entretanto, o ponto RI-1, inserido na confluência dos rios Una, Sorocabuçu e Sorocamirim dentro do reservatório, apresentou os maiores valores para ambos os períodos estudados, sendo IET igual a 106 no período chuvoso, e IET igual a 99 no período seco. Os valores mais elevados de IET prevaleceram no período seco para todos os pontos do reservatório, enquanto os pontos inseridos na cabeceira e no rio Sorocaba apresentaram valores mais elevados no período chuvoso.

Ainda, na Figura 15, é possível observar valores predominantes do IET do fósforo (IET (P) em relação ao IET da clorofila (IET (cl-a) para os pontos da cabeceira (Una, Sb, Sm) e RI-1 em ambos os períodos estudados. Nos pontos do reservatório respectivo ao período chuvoso, os valores de clorofila foram superiores ao de fósforo em todos os pontos amostrados. Já no período seco, a situação foi inversa, onde todos os pontos do reservatório apresentaram valores superiores para o IET do fósforo.

Diversos autores avaliaram a razão do nitrogênio e fósforo (N:P) de modo a inferir sobre a limitação da produção primária em ambientes aquáticos, como Guildford e Hecky (2000), Kratzer e Brezonik (1981), Smith (1982) e Vidal e Capelo Neto (2014), entre outros, que atribuíram a valores inferiores a 10 obtidos da razão entre N:P em lagos tropicais e temperados, como produtividade limitada por nitrogênio, e valores iguais ou acima de 21, sendo característicos de limitação por fósforo. Ainda, os valores intermediários são indicativos de co-limitação entre o N e P nesses ambientes.

Nesse sentido, os resultados obtidos por Frascareli et al. (2015) no reservatório de Itupararanga, identificaram uma baixa relação de N:P para os pontos amostrados no reservatório no período compreendido entre abril e setembro de 2013, sendo menores que 10, ou seja, valores indicativos de limitação por nitrogênio. Contudo, os valores obtidos da razão N:P no presente estudo apresentaram uma significativa distinção em relação ao período sazonal, sendo que no período seco, houve uma predominância da razão $N:P < 10$. Já no período chuvoso, houve uma predominância de valores com razão $N:P > 21$, indicando uma limitação por fósforo no crescimento primário, além de valores intermediários em 04 pontos amostrados no período chuvoso, indicativos de co-limitação entre o N e P.

Nesse sentido, são necessárias medidas que contenham o excesso de nutrientes aportados nos pontos amostrais objeto deste estudo, visto que o IET pode comprometer a qualidade da água desses ambientes, pois o excesso desses nutrientes, principalmente o nitrogênio e o fósforo, são propícios para o crescimento e desenvolvimento de algas unicelulares denominadas cianobactérias, que podem causar inúmeros problemas para o abastecimento de água (ESTEVES, 2011).

Estudos anteriores realizados no reservatório já apontavam o aumento crescente do estado trófico da água do reservatório, como os realizados por

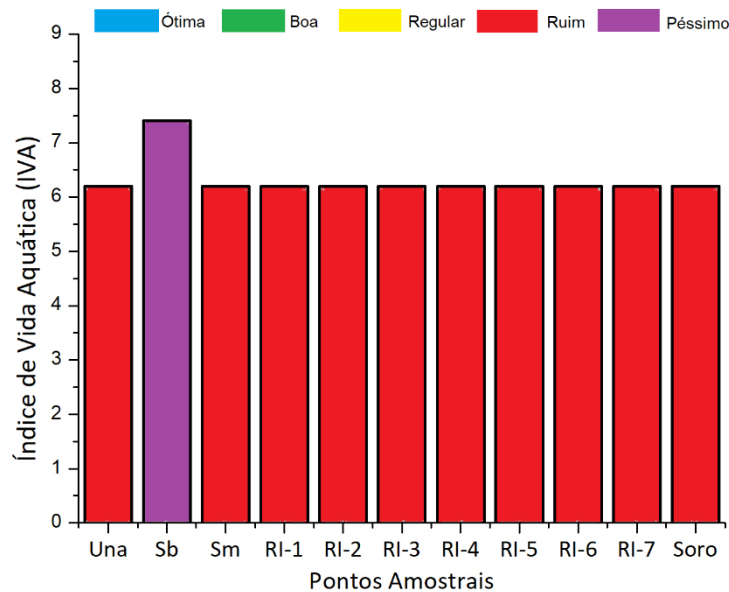
Taniwaki et al. (2013), Pedrazzi et al. (2014), Frascareli et al. (2015) e Rosa et al. (2015), assim como os relatórios anuais publicados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) também apontam o crescimento crescente dos níveis de trofia do reservatório.

Todavia, os resultados apresentados sugerem fortes impactos advindos dos diversos usos do solo no entorno do reservatório de Itupararanga bem como nos pontos amostrados na cabeceira, nos principais rios formadores, como o Una, Sorocabuçu e Sorocamirim.

5.3 Índice de Vida Aquática (IVA)

A partir do índice de vida aquática proposto pela CETESB foi possível inferir sobre os aspectos toxicológicos dos corpos d'água analisados bem como o grau de trofia. A Figura 16 expressa os resultados obtidos no estudo.

Figura 16. Resultados do Índice de Vida Aquática (IVA) dos pontos amostrais do período chuvoso

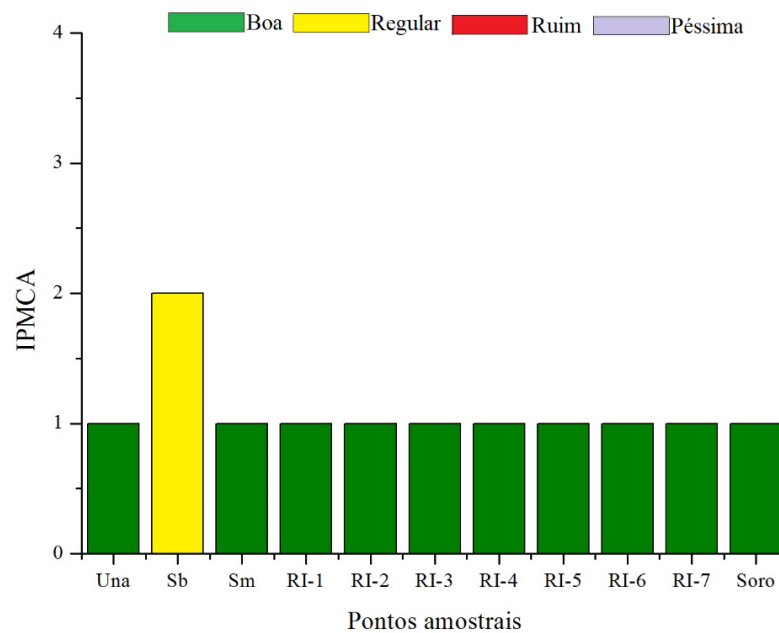


Legenda: Ótima: $IVA \leq 2,5$. Boa: $2,6 \leq IVA \leq 3,3$. Regular: $3,4 \leq IVA \leq 4,5$. Ruim: $4,6 \leq IVA \leq 6,7$. Péssima: $IVA \geq 6,8$

Os pontos amostrados apresentaram valores de IVA concernentes à categoria Ruim para todos os pontos, com exceção do Sb, que obteve o pior resultado, sendo classificado como Péssimo. Os altos valores encontrados justificam-se pelo fato do índice integrar em seu cálculo os valores atribuídos ao índice de estado trófico (IET). Sendo assim, diante dos resultados já apresentados na Figura 15, justifica-se o alto valor de IVA em todos os pontos amostrais, visto que o IET se apresentou hipereutrófico em todos os pontos.

O IVA é um índice que contempla algumas variáveis consideradas essenciais para os organismos aquáticos, tais como oxigênio dissolvido e potencial hidrogeniônico, levando em consideração, também, as substâncias consideradas tóxicas à biota em altas concentrações, que são agrupadas no Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática (IPMCA). Assim, o referido índice foi representado na Figura 17.

Figura 17. Resultados do Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática (IPMCA) dos pontos amostrais do período chuvoso



Fonte: Elaboração própria.

Diante do exposto, os índices que avaliam às condições do meio aquático para a biota apresentaram valores elevados, que alertam para a necessidade de medidas de contenção do aporte de substâncias tóxicas aos corpos d'água objetos desse estudo.

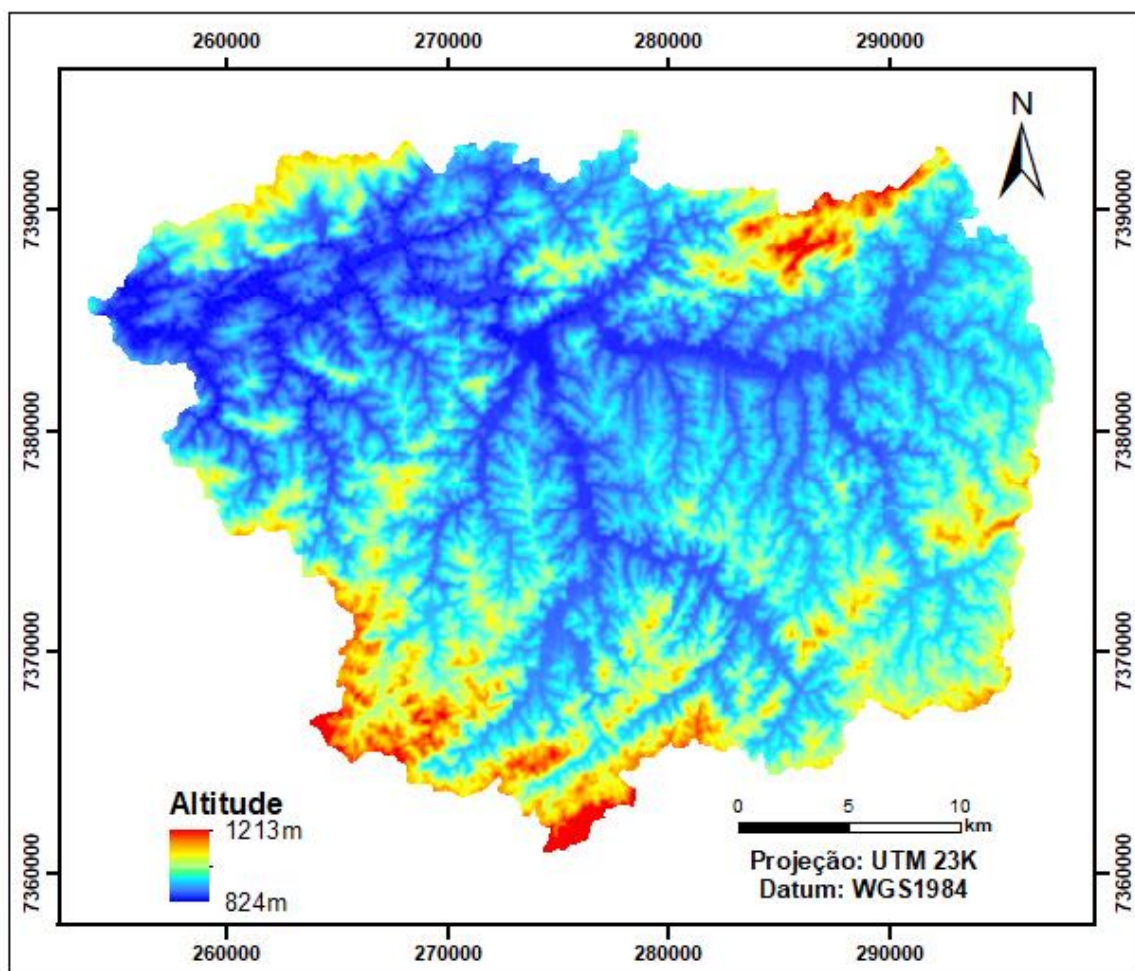
Sendo assim, a partir dos resultados apresentados e tendo em vista a importância da proteção dos recursos hídricos contidos na APA Itupararanga, os resultados possibilitaram inferir sobre o risco iminente do comprometimento da qualidade da água ao que tange os elevados níveis tróficos encontrados nos afluentes da cabeceira bem como no reservatório.

Portanto, recomenda-se o acompanhamento periódico da qualidade da água dos corpos d'água pertencentes à APA, além da elaboração de políticas públicas efetivas que visem à contenção do aporte de substâncias tóxicas, tais como despejo de efluentes domésticos que são lançados pelos municípios a montante do reservatório.

5.4 Geotecnologias como ferramenta de auxílio na análise ambiental da APA Itupararanga

Diante do avanço constante da degradação dos recursos naturais, o uso de tecnologias vem ganhando cada vez mais destaque no cenário ambiental, por se tratar de uma ferramenta que permite um amplo espectro de análises, com custos relativamente baixos se comparados às análises *in situ*, permitindo, assim, a caracterização de vastas áreas em um curto intervalo de tempo. Entretanto, a partir do uso de geotecnologias, foram analisados diversos aspectos ambientais da APA Itupararanga. Nesse sentido, foi confeccionado o mapa de Altitude (Figura 18) a partir de imagens extraídas do satélite *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

Figura 18. Mapa de altitude da APA de Itupararanga



Fonte: Elaboração própria.

A partir da Figura 18 foi possível verificar que a altitude da APA apresentou variações entre 824 e 1.213 metros, com uma variação média de 1.017 metros. Segundo Castro e Lopes

(2001), elevadas altitudes em bacias hidrográficas podem influenciar na quantidade de radiação solar recebida. A radiação influencia no balanço energético que, por sua vez, exerce influências diretas na temperatura, evapotranspiração e precipitação da bacia hidrográfica.

Tonello et al. (2006), estudando aspectos da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas no município de Guanhães (MG), encontrou valores médios de altitude de 955 metros. Estudos realizados por Oliveira et al. (2010) também utilizaram imagens de SRTM para caracterização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Salobra, no município de Terenos (MS). Os autores compararam os resultados obtidos na caracterização morfométrica com dados do satélite SRTM, comparando-os com resultados obtidos a partir de cartas topográficas, e encontraram valores bastante satisfatórios, concluindo que os estudos envolvendo o ambiente SIG e modelos digitais de elevação (MDE) possuem uma elevada acurácia.

Algumas características do relevo possibilitam inferir sobre a fragilidade da área, auxiliando na gestão e planejamento (SILVA et al., 2016). Dentre essas, encontra-se a declividade pelo fato de influenciar diretamente nas características do relevo. Nesse sentido, Ross (1994) estabeleceu faixas de declividades de modo a inferir sobre o potencial de fragilidade ambiental, conforme ilustrado na Tabela 17.

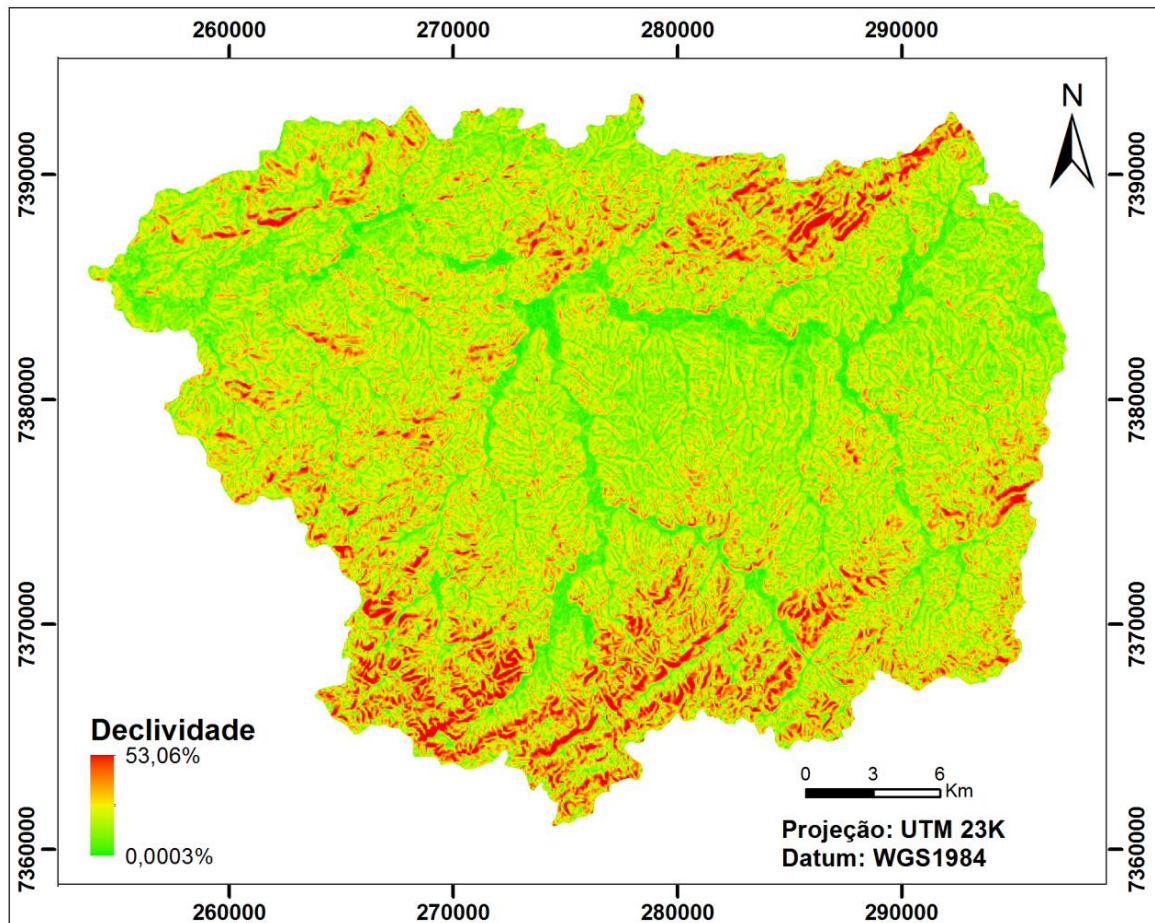
Tabela 17. Classes de declividade

Valores	Categoria	Elevação
1	Muito fraco	abaixo de 6%
2	Fraco	de 6 a 12%
3	Médio	de 12 a 20%
4	Forte	de 20 a 30%
5	Muito forte	acima de 30%

Fonte: Ross (1994).

Todavia, utilizando técnicas de geoprocessamento, foram confeccionados mapas que forneceram informações importantes na identificação das áreas mais vulneráveis da Área de Proteção Ambiental (APA) Itupararanga. Assim, a Figura 19 ilustra os valores de declividade da área de estudo.

Figura 19. Mapa de declividade da APA Itupararanga



Fonte: Elaboração própria.

A declividade variou de 0 a 53%, onde os valores próximos a 0 indicam a presença de corpos d'água, sendo as zonas mais baixas no relevo. As zonas com valores próximos a 53% indicam alto grau de declividade e podem acarretar danos aos recursos hídricos se não possuírem a vegetação preservada em virtude do arraste de sedimentos aos corpos d'água (SILVA et al., 2016; SILVA et al., 2017a).

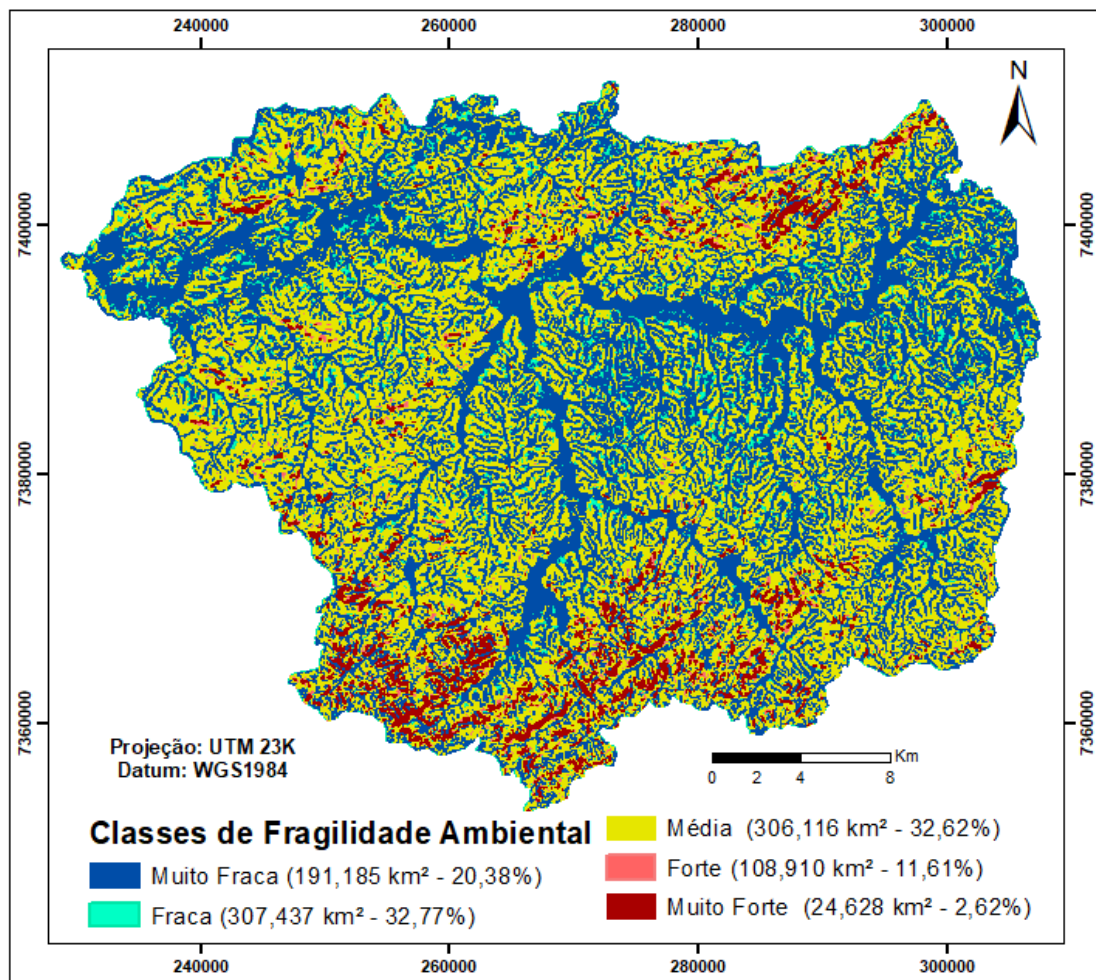
Todavia, o conhecimento do relevo é uma ferramenta importante para delimitação do uso e ocupação do solo. Como exemplo, às áreas com declividade acima de 30% (ROSS, 1994) não são aptas para cultivos agrícolas devido ao potencial arraste de sedimentos que podem ser ocasionados pelos deflúvios pluviais (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007).

A declividade exerce um papel muito importante no sentido de distribuição das águas provenientes do escoamento superficial e também das águas subterrâneas (TONELLO et al., 2006). Ainda, contribui com informações relevantes para o planejamento, fornecendo diretrizes para as ações territoriais (SILVA et al., 2016).

5.5 Análise da Fragilidade da Área de Proteção Ambiental (APA) Itupararanga

O monitoramento ambiental possibilita a análise de áreas que possuem pré-disposição a sofrer impactos ocasionados tanto por fenômenos naturais como antrópicos (SILVA et al., 2016). Deste modo, o conhecimento dos fatores que podem ocasionar a degradação de determinadas áreas é fundamental, pois permite à mitigação dos impactos bem como sua prevenção. A partir dos valores de altitude (Figura 18) e declividade (Figura 19), foi possível a elaboração de um mapa de Fragilidade da APA, permitindo a inferência das áreas mais vulneráveis de acordo com a suscetibilidade do relevo, conforme pode ser observado na Figura 20.

Figura 20. Mapa de Fragilidade da APA Itupararanga



Fonte: Elaboração própria.

O conhecimento das áreas mais frágeis de um determinado local possibilita a execução de políticas de gestão específicas, sendo mais eficazes no sentido de conter a degradação ambiental local, além de promover a melhoria e maior efetividade das ações de restauração e

recuperação ambiental (REIS; COSTA, 2017). De acordo com Li et al. (2006) a vulnerabilidade de uma área está intrinsicamente relacionada com seus fatores bióticos e abióticos.

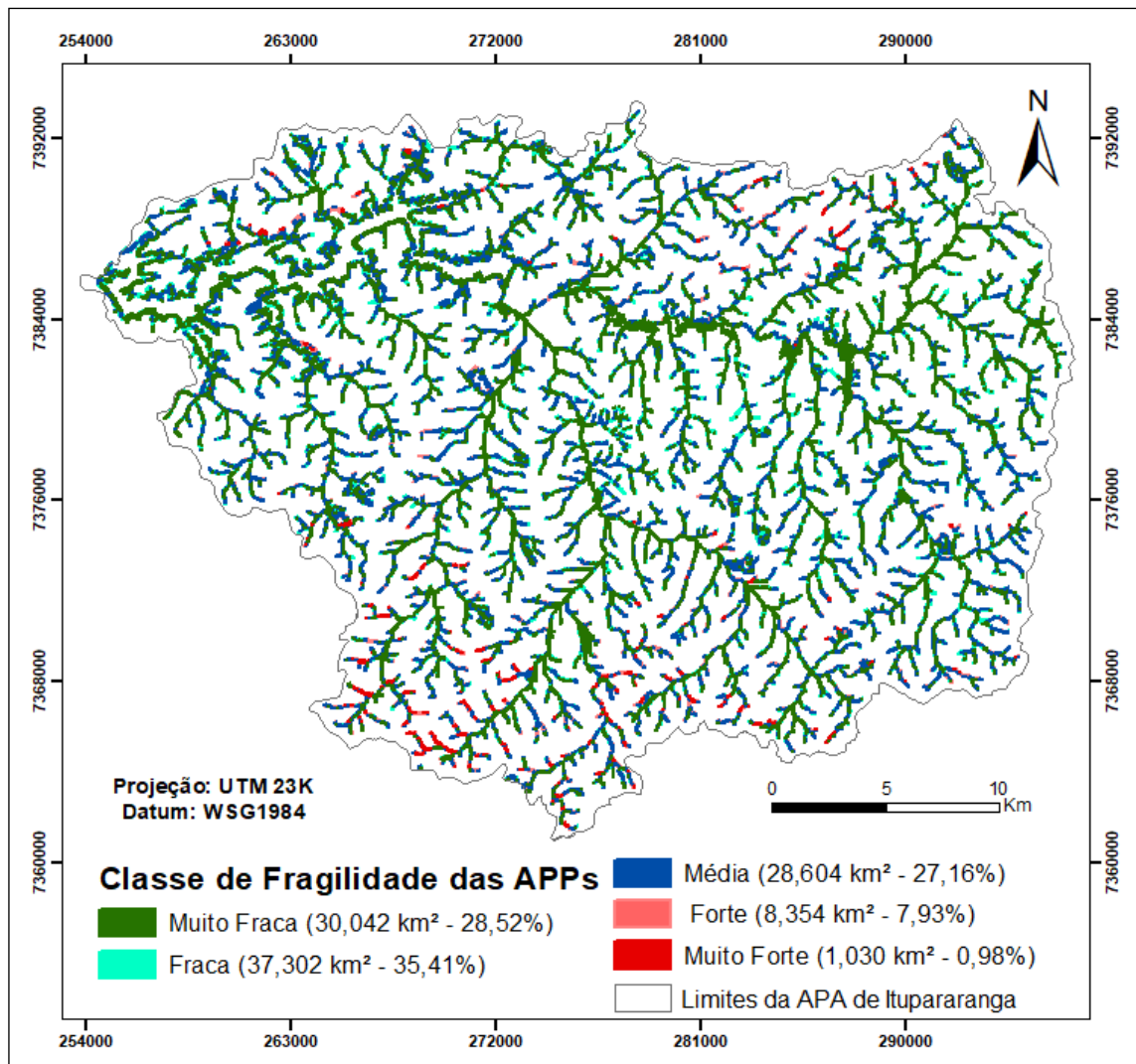
Segundo Tiecher et al. (2013), o manejo inadequado do solo em áreas de plantios agrícolas, associados aos eventos de precipitação, bem como o cultivo em áreas com elevada fragilidade ambiental condicionadas pelo relevo e tipos de solos, constituem uma das principais fontes de aporte de sedimentos às redes de drenagem de uma bacia hidrográfica. Nesse sentido, o entendimento e conhecimento desses aspectos do ambiente, são fundamentais para a criação de estratégias e práticas de cultivos sustentáveis.

5.6 Classes de Fragilidade das Áreas de Preservação Permanente (APPs) marginais aos cursos d'água da APA Itupararanga

A vegetação exerce fundamental importância ao que concerne à proteção dos recursos hídricos. A cobertura vegetal é responsável pela interceptação de grande parte da água das chuvas. Desta forma, os agregados dos solos são preservados, evitando o desencadeamento de processos erosivos (RODRIGUES; LEITÃO FILHO, 2009; TUCCI, 2013).

Sendo assim, em posse do mapa de Classes de Fragilidade da APA Itupararanga (Figura 20), foram identificadas as áreas de preservação permanente (APP) marginais aos cursos de água. Deste modo, foi possível inferir sobre as APPs mais suscetíveis a sofrerem impactos nos corpos d'água de acordo com o relevo, utilizando-se a sobreposição dos planos de informação de altitude e declividade da APA Itupararanga. As classes de fragilidade foram representadas na Figura 21.

Figura 21. Classes de Fragilidade das Áreas de Preservação Permanente da APA Itupararanga

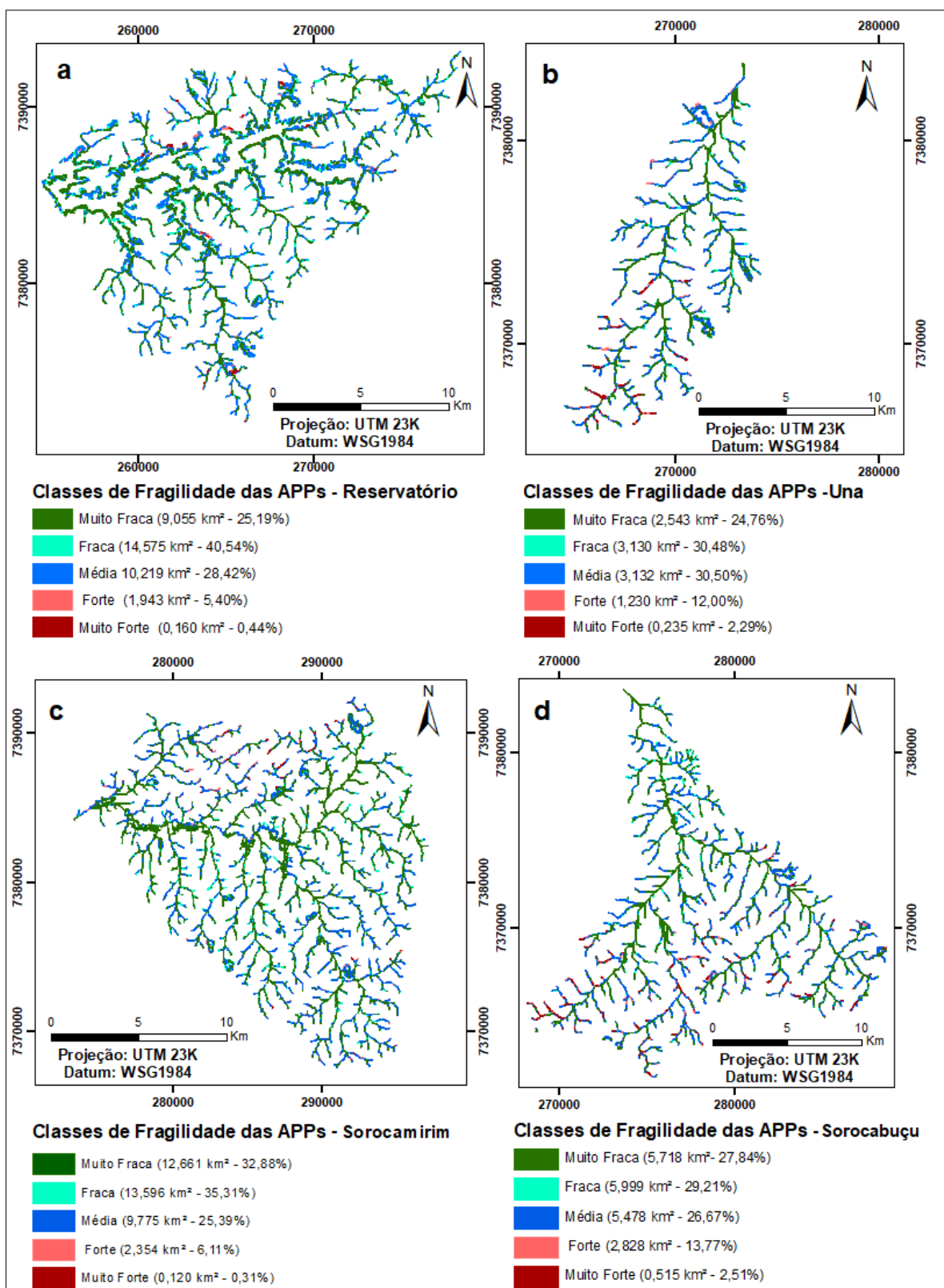


Fonte: Elaboração própria.

O estudo revelou que 64,8% da área estudada possui pouca propensão à ocorrência de processos erosivos, considerando, somente, o fator associado à declividade do local. É importante salientar que a proteção dos recursos hídricos depende de diversos aspectos, principalmente concernentes à vegetação das matas ciliares.

A Figura 21 revelou que as áreas que compreendem a classificação muito fraca (26,493 km²) e fraca (30,007 km²) representam as áreas com menor declividade, ou seja, as áreas que contemplam os cursos d'água. No entanto, as áreas classificadas como forte (7,068 km²) e muito forte (0,900 km²) apresentam maior concentração nas regiões norte e sul da área de estudo. Para melhor representação das classes de APP da área de estudo, as sub-bacias que compõem a APA Itupararanga foram analisadas separadamente, conforme ilustrado na Figura 22 (a) ao (d).

Figura 22. Classes de Fragilidade das APPs das sub-bacias da APA Ituparranga



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados demonstraram que 65,73% das APPs do reservatório (Figura 22a) apresentaram Muito Fraca e Fraca fragilidade ambiental. Já as APPs inseridas na sub-bacia do rio Sorocabuçu (Figura 22d) possuem 57% de classes denominadas Muito Fraca e Fraca. No entanto, 43% das classes estão inseridas na categoria média a muito forte, sendo que, a classe média e forte, computam, juntas, 40,4%. As Classes de Fragilidade das APPs do rio Sorocamirim (Figura 22c) apresentaram 68,3% das classes inseridas nas categorias Muito Fraca e Fraca. Enquanto a sub-bacia do rio Una (Figura 22b) apresentou 55,2% das classes inseridas nas categorias Muito Fraca e Fraca.

No entanto, há um considerável percentual da área inserida na categoria média (30,5%) e 14,3% inserida nas classes Forte e Muito Forte, o que requer uma atenção especial à área de estudo, visto que 40,8% apresenta um considerável risco de fragilidade ambiental. Nesse sentido, é importante que haja um manejo adequado do solo, evitando assim, o desencadeamento de feições erosivas nessas áreas apontadas como de maior fragilidade ambiental.

De acordo com Fonsêca et al. (2017), os ambientes inseridos em áreas fragilizadas naturalmente, ao sofrerem perturbações antrópicas, não conseguem restabelecer seu estado de resiliência, pois para isso seria necessário um tempo que é incompatível com a escala imposta pelo modelo de desenvolvimento atual.

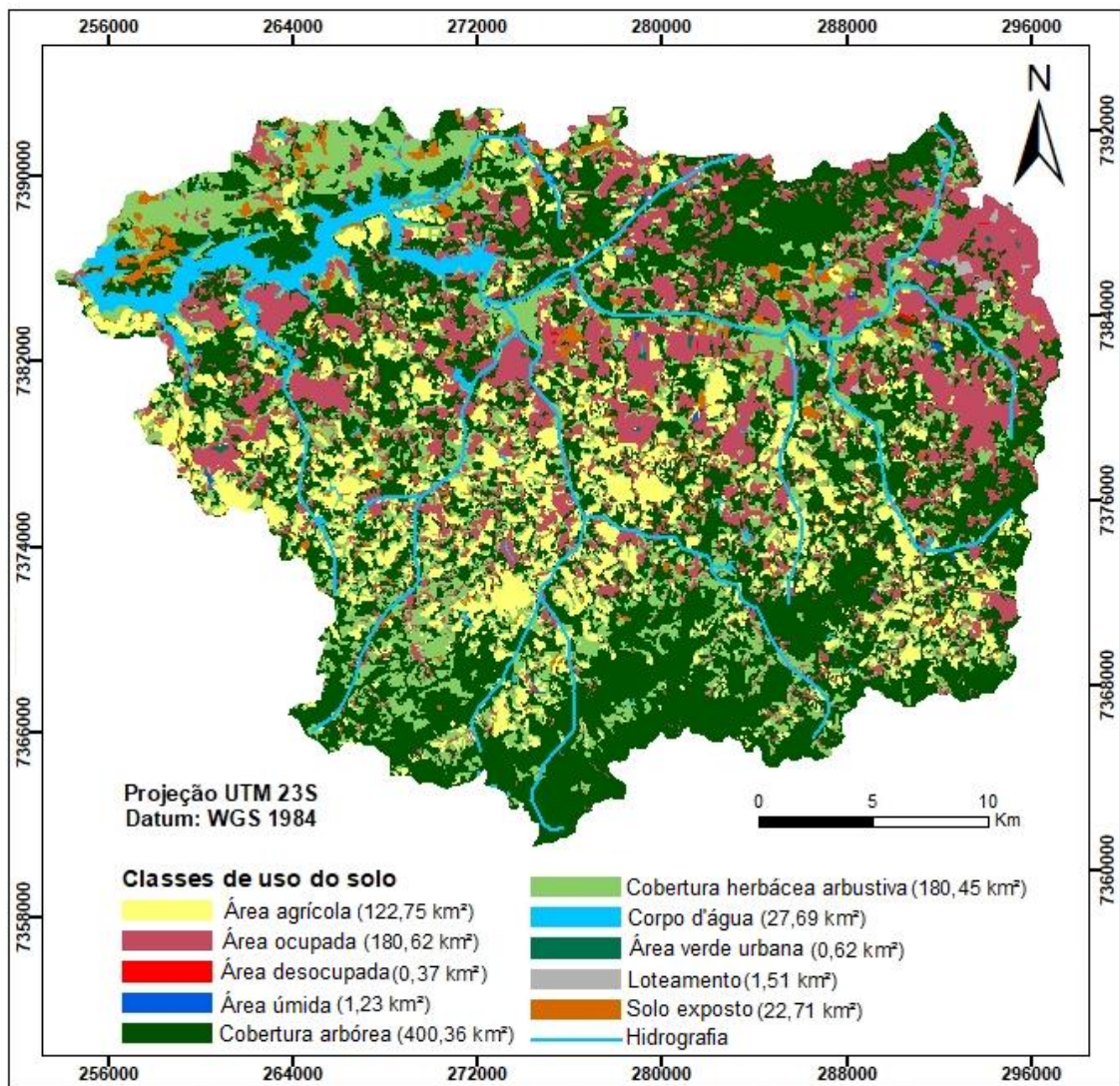
Estudos realizados por Reis e Costa (2017) avaliaram o relevo, como um dos aspectos abióticos da zona de amortecimento do Parque Estadual do Ibitipoca, em Minas Gerais. Os autores mapearam a vulnerabilidade das áreas de preservação permanente, utilizando técnicas de geoprocessamento que permitiram inferir sobre as áreas com maiores riscos a sofrerem perturbações antrópicas a partir do conhecimento do relevo, tipo de solo e usos do solo presentes na zona de amortecimento da Unidade de Conservação; deste modo, as áreas mais suscetíveis representaram 78% do estudo, resultado bastante crítico, visto que as áreas de APP são protegidas por lei e deveriam ter seu uso e ocupação restritos.

5.7 Mapa de uso do solo da APA de Itupararanga

O uso do solo traz diversas implicações na qualidade dos corpos hídricos. Assim, o uso da terra e às atividades antrópicas a elas relacionadas podem comprometer a qualidade bem como a disponibilidade de água tanto para o consumo humano quanto para a biota (POLETO, 2014).

O reservatório de Itupararanga apresenta suma importância para a região, envolvendo oito municípios que necessitam de sua água para abastecimento público. No entanto, seus usos múltiplos resultam em diversos conflitos (BEU; MISATO; HAHN, 2011). Partindo desta premissa, e com vistas a uma análise acurada que permitisse o entendimento dos aspectos que pudessem influenciar na qualidade ambiental da APA Itupararanga, além desencadear a deterioração da qualidade da água do reservatório, foi confeccionado o mapa de uso e ocupação do solo, a partir da retificação do mapa da CPLA com imagens de satélite de alta resolução espacial do ano de 2017 (Figura 23).

Figura 23. Mapa de Uso do Solo da APA de Itupararanga



Fonte: Elaboração própria.

Com vistas a uma melhor acurácia dos resultados, foram representadas na Tabela 18 as classes de usos do solo por sub-bacia presentes na APA Itupararanga.

Tabela 18. Análise quantitativa das classes de usos do solo distribuídas por sub-bacias presentes na APA Itupararanga

Classes de usos	Reservatório		Una		Sorocabuçu		Sorocamirim	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Agricultura	33,73	13,78	15,87	16,56	30,61	15,26	39,79	10,71
Área ocupada	34,11	15,30	16,93	16,63	18,78	9,36	103,06	27,74
Área desocupada	*	*	*	*	0,05	0,11	0,26	0,07
Área úmida	0,19	0,09	*	*	0,04	0,08	0,81	0,22
Cobertura arbórea	71,12	31,90	36,65	38,24	114,93	57,28	159,17	42,85
Cobertura herbácea-arbustiva	51,89	23,28	25,44	26,54	34,04	16,97	57,39	15,45
Corpo hídrico	25,04	11,23	0,61	0,64	0,49	0,24	1,35	0,36
Espaço verde urbano	0,17	0,08	*	*	0,09	0,05	0,35	0,10
Loteamento	0,08	0,03	*	*	0,04	0,02	1,39	0,37
Solo exposto	9,59	4,30	1,34	1,40	1,47	0,73	7,91	2,13

Legenda: * Não apresentaram valores significativos.

Os resultados (Figura 23) demonstraram que as classes agrícolas possuem uma extensão de 122,75 km², um valor altamente expressivo para a área que compreende a APA Itupararanga, tendo em vista os diversos impactos que podem ser ocasionados pelas práticas agrícolas. As porções agrícolas se estendem por toda área da APA, mas com maior intensidade na faixa central, principalmente nas sub-bacias do rio Una, com uma extensão de 15,87 km² de área agrícola e Sorocabuçu, com 30,61 km², bem como nas áreas próximas ao reservatório, com uma extensão de 33,73 km² (13,78%). No entanto, a sub-bacia que apresentou a maior extensão de áreas agrícolas foi o Sorocamirim, com 39,79 km², correspondendo a 10,71% das classes de usos agrícolas mapeadas na sub-bacia.

A APA está inserida em uma área predominantemente agrícola, com uso intensivo tanto às margens do reservatório como nas áreas de cabeceira. De acordo com o Plano de Manejo, que consiste no principal instrumento de gestão da APA, a atividade agrícola é composta predominantemente por pequenos produtores rurais, destacando os cultivos de olericulturas, como tomate, batata, morango, entre outras (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010). Nesse sentido, o município de Ibiúna é o maior em área territorial inserido na APA (Tabela 18), possuindo uma extensão de 1.058,082 km², com grande parte do seu território envolvendo atividades agrícolas (SALLES et al., 2008).

Estudos realizados por Tiecher et al. (2013) analisaram as fontes de sedimentos de uma bacia hidrográfica de cabeceira com predomínio agrícola, localizada no município de Júlio de Castilhos (RS), e verificaram que uma das principais causas de poluição difusa em bacias hidrográficas são provenientes do arraste de sedimentos de fontes agrícolas, devido à ausência de planejamento e técnicas adequadas de manejo do solo em áreas de lavouras. Nesse sentido, o presente estudo verificou grandes extensões de áreas agrícolas tanto nas sub-bacias de cabeceira quanto nas proximidades do reservatório de Itupararanga. Isso evidencia o potencial risco de poluição difusa que pode ocorrer na Bacia hidrográfica do Alto Sorocaba, caso não sejam adotadas técnicas eficientes de manejo e conservação do solo nessas áreas.

As áreas ocupadas (Figura 23) apresentaram uma extensão de 180,62 km², estendendo-se na faixa central da APA com maior adensamento a noroeste, onde se localiza o município de Vargem Grande Paulista, que, por sua vez, possui a maior extensão territorial inserida na APA (85,4%) (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010).

O referido município também apresenta a maior densidade demográfica (Tabela 18), sendo 1.012,10 hab/km². No estudo, as áreas ocupadas contemplam as áreas residenciais, comerciais, industriais e também as áreas pavimentadas (sistema viário), além das áreas edificadas, como chácaras residenciais e sítios distantes da zona urbana. A sub-bacia do Sorocamirim apresentou a maior extensão de áreas ocupadas da APA, com 103,06 km² de extensão. A bacia de drenagem do reservatório também apresentou uma grande extensão de áreas ocupadas, sendo 34,11 km². Já as sub-bacias do rio Una e Sorocabuçu apresentaram, respectivamente, 16,63 km² e 18,78 km².

De acordo com Poletto (2014), dentre as inúmeras interferências antrópicas presentes em uma bacia hidrográfica, os processos inerentes à urbanização resultam em significativas alterações em sua dinâmica hidrológica, interferindo no escoamento superficial, uma vez que vastas áreas são impermeabilizadas, aumentando a velocidade do fluxo de água, e podendo desencadear processos erosivos. Ainda, áreas urbanas diminuem a capacidade de infiltração da água no solo e reduzem a evapotranspiração, podendo interferir no regime de chuvas da bacia hidrográfica.

As áreas com cobertura arbórea apresentaram uma extensão de 400,36 km², distribuídas de forma bastante fragmentada em toda a extensão da APA. As zonas que apresentaram cobertura vegetal mais contínua estão situadas próximas aos limites inferiores da APA, na área instituída pelo Plano de Manejo (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010), como Zona de Conservação da Biodiversidade. Essa faixa bastante acentuada de cobertura arbórea está

inserida numa região de alta declividade, característicos dos limites de Bacias Hidrográficas, ou divisores de águas (TORRES; MACHADO, 2012).

Ainda, a extensa faixa de cobertura arbórea identificadas ao Sul da APA, segundo o Plano de Manejo (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010) constitui um corredor ecológico conectado ao Parque Estadual de Jurupará. De acordo com Oliveira et al. (2016), os corredores ecológicos são imprescindíveis ao que tange à preservação das espécies e manutenção da flora e fauna, possibilitando a troca genética e, conseqüente, perpetuação das espécies. Os autores ainda salientaram a importância dos corredores ecológicos na interconexão de Unidades de Conservação na Região Metropolitana de Sorocaba (RMS), devido ao alto grau de fragmentação florestal da região.

As áreas marginais ao reservatório também apresentaram uma considerável faixa de cobertura arbórea, fato que pode ser atribuído à legislação ambiental, que determina uma faixa mínima de 100 metros de área de preservação permanente (APP) para mananciais de água para abastecimento público (BRASIL, 2012). Ainda, as sub-bacias que apresentaram as maiores extensões de cobertura arbórea foram, respectivamente, a sub-bacia do Sorocamirim (159,17 km²), Sorocabuçu (114,93 km²), bacia do reservatório de Itupararanga (83,95 km²) e Una (36,65 km²).

É importante ressaltar que a cobertura arbórea mapeada no estudo não contemplou a distinção das diferentes tipologias florestais presentes na área; sendo assim, a cobertura arbórea da área apresenta vastas áreas de plantios de silvicultura.

Se por um lado as florestas plantadas com espécies exóticas evitam que novas áreas de florestas nativas sejam desmatadas; no entanto, há estudos que apontam para a pobreza de diversidade biológica nestas áreas, além de riscos de extinção de espécies uma vez que há uma forte interferência na dinâmica dos processos ecológicos (MIELKE et al., 2015). A APA Itupararanga abriga 60% dos remanescentes florestais da Bacia Hidrográfica do Sorocaba e Médio Tietê e está inserida em uma área de tensão ecológica (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010; SALLES et al., 2008).

As áreas com coberturas herbácea-arbustivas apresentam 180,45 km² de extensão e contemplam as formações de pastos, gramíneas e espécies forrageiras. As maiores extensões dessa classe de uso foram encontradas na bacia do reservatório de Itupararanga, com 51,89 km², ocupando 23,28% das classes mapeadas na sub-bacia. As faixas mais acentuadas foram

observadas na parte superior direita do reservatório. A sub-bacia do rio Sorocamirim apresentou 57,39 km² de extensão, enquanto o Sorocabuçu apresentou 34,04 km² e o Una 25,44 km².

As pastagens podem acarretar problemas de compactação dos solos e o desmatamento das áreas florestais. Ainda, segundo Cunha et al. (2013), a alteração da cobertura vegetal por áreas agrícolas e pastagens, podem ocasionar alterações climáticas em escala regional e até mesmo global provenientes de processos biogeoquímicos e biofísicos.

Os espaços verdes urbanos apresentaram uma ínfima extensão, totalizando 0,62 km² da APA. Isso infere sobre a ausência de áreas verdes nas cidades, fato que se reverbera na maioria dos municípios brasileiros. Nesse sentido, diversos estudos enfocam a importância das áreas verdes urbanas na contribuição da qualidade de vida da população, melhorando o conforto térmico, estabelecendo barreiras acústicas, além de prover alimentos à fauna que habita as zonas verdes das cidades (ALVES et al., 2013; CABRAL, 2013).

As classes de solo exposto apresentaram uma significativa extensão, compreendendo uma área de 22,71 km², distribuídas na sub-bacia do reservatório de Itupararanga, com uma área de 9,59 km². Já a sub-bacia do rio Sorocamirim apresentou 7,91 km². O solo exposto apresenta um risco iminente aos corpos d'água, uma vez que fica suscetível à erosão hídrica desencadeada pelas chuvas (POLETO, 2014).

Nesse sentido, o impacto das gotas de chuvas ocasiona a desagregação das partículas do solo e posterior carregamento destas para os corpos d'água (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012; STEFANOSKI et al., 2013). No entanto, essas partículas de sedimentos causam inúmeros danos aos organismos aquáticos, além do comprometimento da qualidade da água (ESTEVES, 2011; SALES et al., 2016; SMITH; PETRERE, 2000).

A exuberante beleza e alto potencial ecoturístico da APA Itupararanga impulsionam os investimentos imobiliários na região, sendo uma área bastante requisitada para construção de condomínios. Arestas na regulamentação do parcelamento do solo contribuem para o acentuado desenvolvimento de condomínios residenciais em seu entorno. Portanto, as políticas públicas propostas pelo Plano de Manejo da APA Itupararanga são bastante destoantes das ações efetivamente realizadas pelos municípios pertencentes à APA.

Considerando a importância da APA, diversos estudos foram realizados no sentido de analisar a influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água do manancial, como os realizados por Taniwaki et al. (2011) e (2013), que estudaram os impactos na qualidade e genotoxicidade da água advindos dos diversos usos do seu entorno, sendo identificados altos

níveis tróficos no reservatório, atribuídos, principalmente, pelas atividades agrícolas e ocupação urbana na Bacia do Alto Sorocaba.

Frascareli et al. (2015) identificaram uma heterogeneidade espacial e sazonal no reservatório de Itupararanga, atribuindo os elevados valores tróficos encontrados aos processos de ocupação e usos dos solos no entorno do reservatório.

Estudos realizados por Rosa et al. (2015) também identificaram impactos na qualidade da água nos estudos realizados para avaliação da sustentabilidade da represa de Itupararanga, e encontraram poluições advindas dos diversos usos do entorno, tais como lançamento de efluentes das cidades próximas, além de deflúvios agrícolas e urbanos que aportam o reservatório, deteriorando a qualidade da água e comprometendo seriamente os organismos aquáticos.

Por apresentar uma vasta área coberta por culturas agrícolas, os deflúvios agrícolas podem aportar compostos nitrogenados no curso d'água. As altas concentrações de N e P obtidos no estudo corroboram com os estudos já realizados no reservatório de Itupararanga, que apontam uma tendência crescente de bioacumulação desses compostos na água. A classe de uso do solo agrícola apresentou uma grande extensão e pulverização por toda APA, o que lhe confere um risco potencial de aporte de nutrientes provenientes das atividades agrícolas por meio de deflúvio pluvial, que pode arrastar sedimentos e material particulado para os corpos d'água, comprometendo ainda mais a sua qualidade. Ainda, esse fato pode ser agravado se as áreas ripárias não apresentarem suas matas ciliares preservadas.

Silva (2016) avaliou os nutrientes do solo da Bacia Hidrográfica do rio Una e constatou que grande parte do solo da área apresentou baixos valores de fósforo. O autor atribuiu esses resultados ao carreamento provocado por erosão hídrica na Bacia Hidrográfica, alertando para o potencial risco de eutrofização provocado por esse nutriente. Todavia, os resultados encontrados pelo autor corroboram com os elevados valores de fósforo encontrados em todos os pontos amostrados.

Os estudos realizados por Bernardi (2011) avaliaram os possíveis conflitos entre o zoneamento proposto nos planos diretores dos municípios pertencentes à APA e o plano de manejo, que constitui o documento oficial da APA, nos quais a autora encontrou diversas lacunas nos planos diretores dos referidos municípios. Nesse sentido, Vargem Grande Paulista sequer menciona a APA Itupararanga em seu plano diretor, o que sugere que as diretrizes

estabelecidas no plano de manejo no sentido de restringir às atividades que podem ser deletérias ao ambiente natural, não são cumpridas em sua totalidade.

Para ajudar na compreensão dos resultados e fornecer os principais aspectos dos municípios inseridos na APA Itupararanga, a Tabela 19 apresenta uma síntese de informações bem como seus respectivos aspectos que podem contribuir e influenciar na qualidade ambiental da área de estudo.

Tabela 19. Síntese de informações dos municípios pertencentes à APA Itupararanga

Municípios	População (2017*)	População urbana	Densidade demográfica	Área territorial	Área na APA	Área agrícola	Coleta esgoto	Tratamento esgoto	Eficiência	Carga poluidora (potencial)	Carga poluidora (remanescente)
	hab	hab	hab/km ²	km ²	km ²	km ²	%	%	%	Kg DBO/dia	
Vargem G. Paulista	50.346	49.542	1.012,10	42,489	85,45	0,70	29	28	80	2.675	2.501
Ibiúna	77.566	26.974	67,31	1058,082	52,33	55,50	40	100	90	1.457	933
São Roque	88.473	79.366	256,82	306,908	35,22	7,20	44	0	**	4.286	4.286
Votorantim	119.898	114.302	591,04	183,517	26,51	17,70	98	98	82	6.172	1.328
Cotia	237.750	*	620,81	323,994	24,79	2,30	81	*	**	**	**
Mairinque	46.567	37.166	205,53	210,149	24,50	6,90	75	0	**	2.007	2.007
Alumínio	18.324	15.262	201,28	83,660	20,01	9,70	68	0	**	824	824
Piedade	55.092	25.009	69,82	746,868	1,93	0	63	96	90	1.350	613

Legenda: * Estimativa do IBGE (2017). ** Número não informado.

Fonte: Adaptado de CETESB (2016); Fundação Florestal (2010); IBGE (2017).

A Tabela 19, expressa o percentual de coleta e tratamento de esgoto dos municípios, onde é possível verificar que, dentre os oito municípios contemplados pela APA, nenhum deles possui 100% de coleta e tratamento de esgoto. Nesse sentido, somente Votorantim contempla 98% de coleta e tratamento. No entanto, Vargem Grande Paulista que possui 85,45% de seu território inserido na APA (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010), coleta 29% do seu esgoto e trata 28% (CETESB, 2016).

O município de Ibiúna, apesar de apresentar somente 52,33% de seu território inserido na APA (Tabela 19), é o município que apresenta a maior extensão territorial, sendo 1058,082 km², e em termos de coleta de esgoto, também possui pouca representatividade, com apenas 40% de coleta. Segundo o Plano de Manejo, o município possui 55,5% de área agrícola inserida na APA, o que representa um altíssimo potencial poluidor. Ainda, cabe ressaltar que os municípios de Mairinque e Alumínio possuem, respectivamente, 75% e 68% de coleta de esgoto, porém, 0% de tratamento (CETESB, 2016).

O descompasso entre as ações propostas pelo zoneamento referido no Plano de Manejo da APA com vistas à conservação dos recursos naturais e as políticas públicas voltadas à gestão e desenvolvimento territorial que disciplinam os diferentes usos do solo dos municípios é bastante nítido, e deve ser acompanhado e monitorado para que não seja imposto o avanço contínuo da urbanização e atividades agrícolas nas zonas que possuem usos restritos.

A degradação da qualidade ambiental da APA se dá pela interação de diversos fatores que puderam ser identificados no presente estudo, principalmente os concernentes ao uso e ocupação do solo na APA Itupararanga. De acordo com Torres e Machado (2012), a qualidade ambiental de uma bacia de drenagem é o resultado da interação de todos os usos do solo que ocorrem na bacia hidrográfica e também o reflexo das ações voltadas ao planejamento e uso sustentável dos seus recursos naturais.

5.8 Mapa das Classes de Risco das APPs da APA de Itupararanga

As matas ciliares são formações vegetais que ocupam as margens dos cursos de água. Também são denominadas matas ripárias, florestas de galeria e matas ribeirinhas. O Brasil é detentor de uma infindável variedade de espécies arbóreas e subarbóreas características dessas áreas, possuindo uma imensa variedade florística (AB'SABER, 2004).

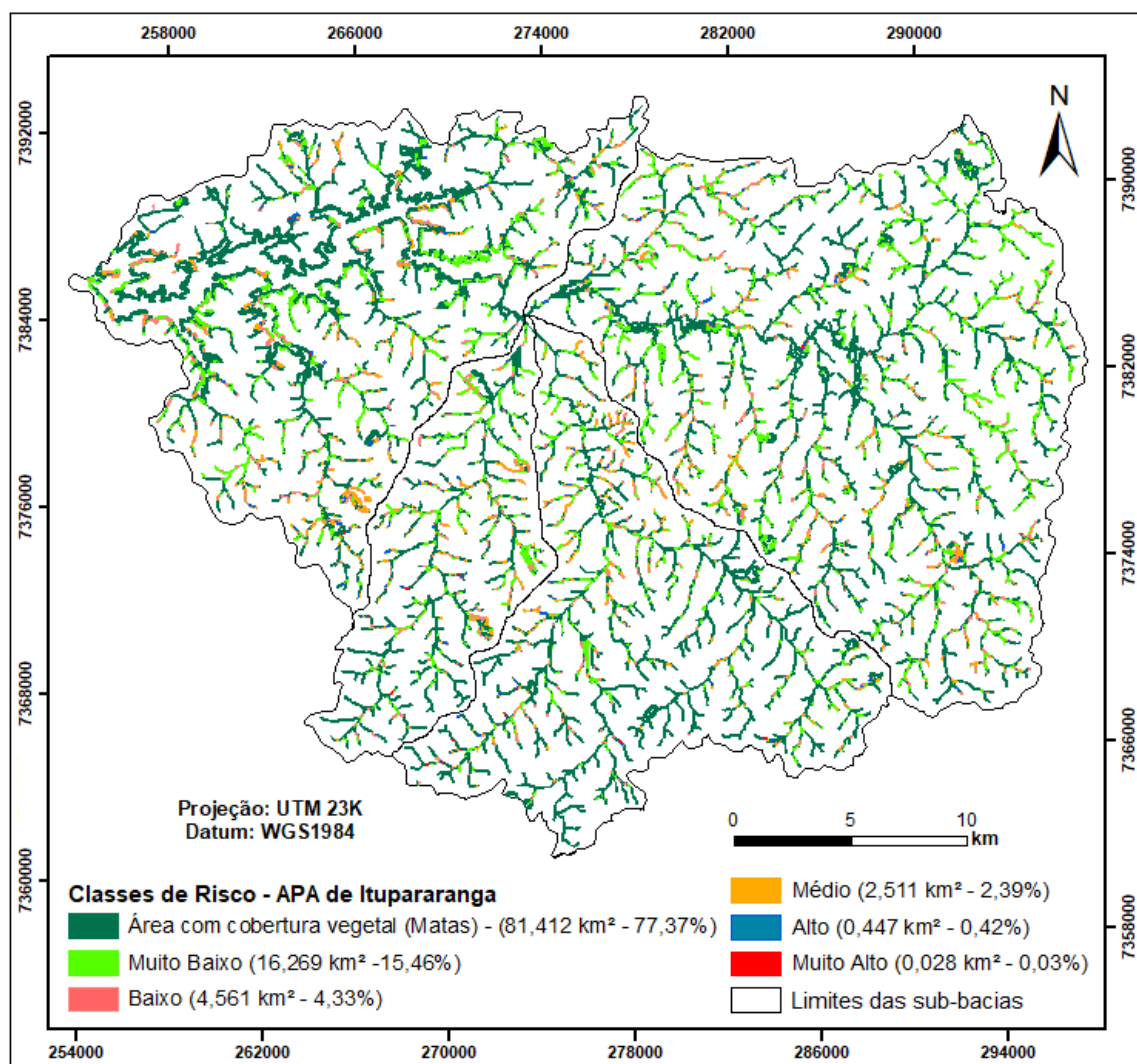
As áreas de preservação permanente (APPs) marginais aos cursos d'água desempenham um papel fundamental na proteção dos recursos hídricos. No entanto, essas áreas sofrem fortes

pressões antrópicas, sendo expostas a usos diversificados que comprometem seriamente o seu papel ecológico, pois além de atuar como uma manta detentora de impurezas que podem adentrar os corpos de água, também são imprescindíveis na manutenção da fauna, formando abrigos nas margens e proporcionando propágulos e sementes que subsidiam a alimentação dos peixes e organismos aquáticos (FONSÊCA et al., 2017; SMITH; PETRERE, 2000).

Também atuam na retenção de partículas e materiais coloidais que podem aportar os corpos aquáticos por meio do deflúvio superficial, protegendo a integridade do solo nas margens dos rios (SILVA et al., 2016).

Tendo em vista a importância das matas ciliares, foram analisadas as áreas de proteção permanente (APP) da APA Itupararanga marginais aos cursos d'água, a partir da sobreposição de diferentes planos de informação cartográfica, como as classes de APP e usos do solo, de modo que fosse obtido um painel geral das classes de riscos das áreas de APP, da APA Itupararanga. Os resultados foram dispostos nas Figuras (24), (25), (27), (29) e (31).

Figura 24. Classes de Risco das APPs da APA de Itupararanga



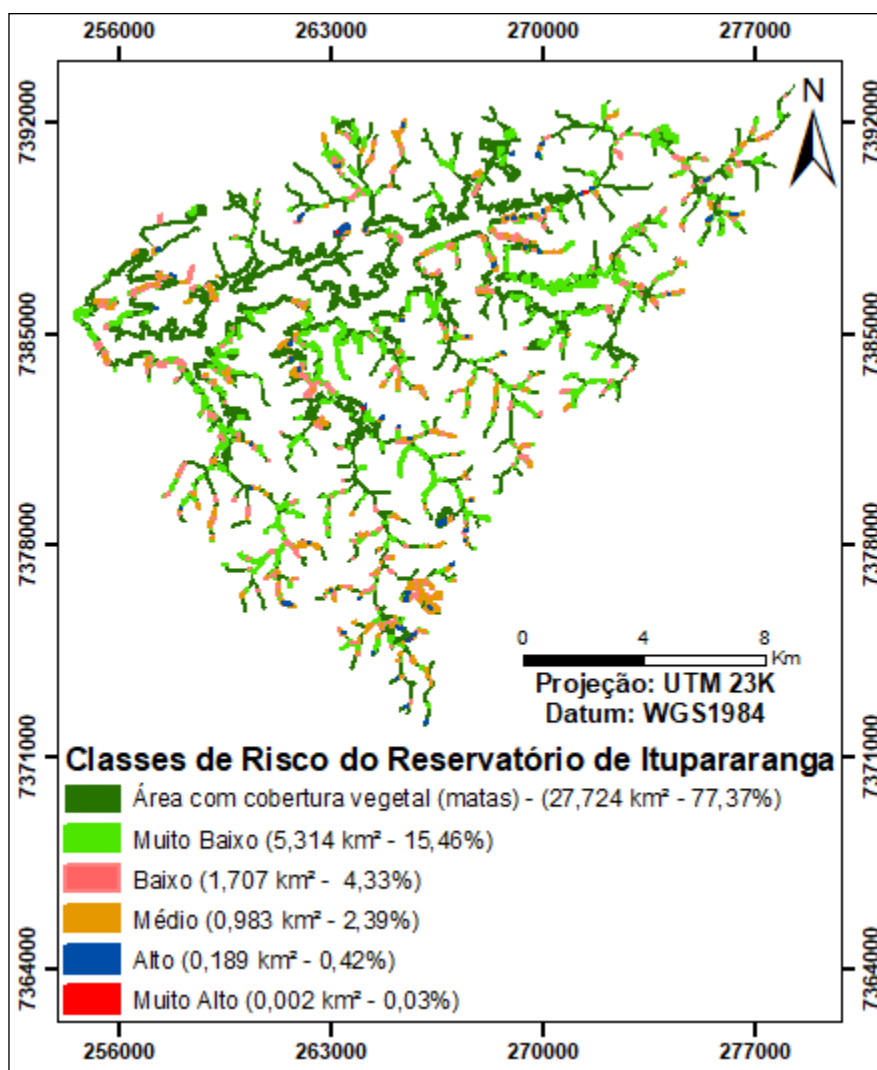
Fonte: Elaboração própria.

Com vistas ao melhoramento da visualização das áreas de preservação permanente, foi realizada a ampliação da escala real (1:250.000) em 1,5%. Ainda, para melhorar a interpretação e acurácia dos resultados, as classes de risco das APPs das sub-bacias da APA Itupararanga foram analisadas separadamente, conforme apresentado no sub-tópico a seguir.

5.9 Classes de Risco das APPs das sub-bacias da APA de Itupararanga

A Figura 25 ilustra os resultados obtidos no reservatório de Itupararanga.

Figura 25. Classes de risco das Áreas de Preservação Permanente do reservatório de Itupararanga

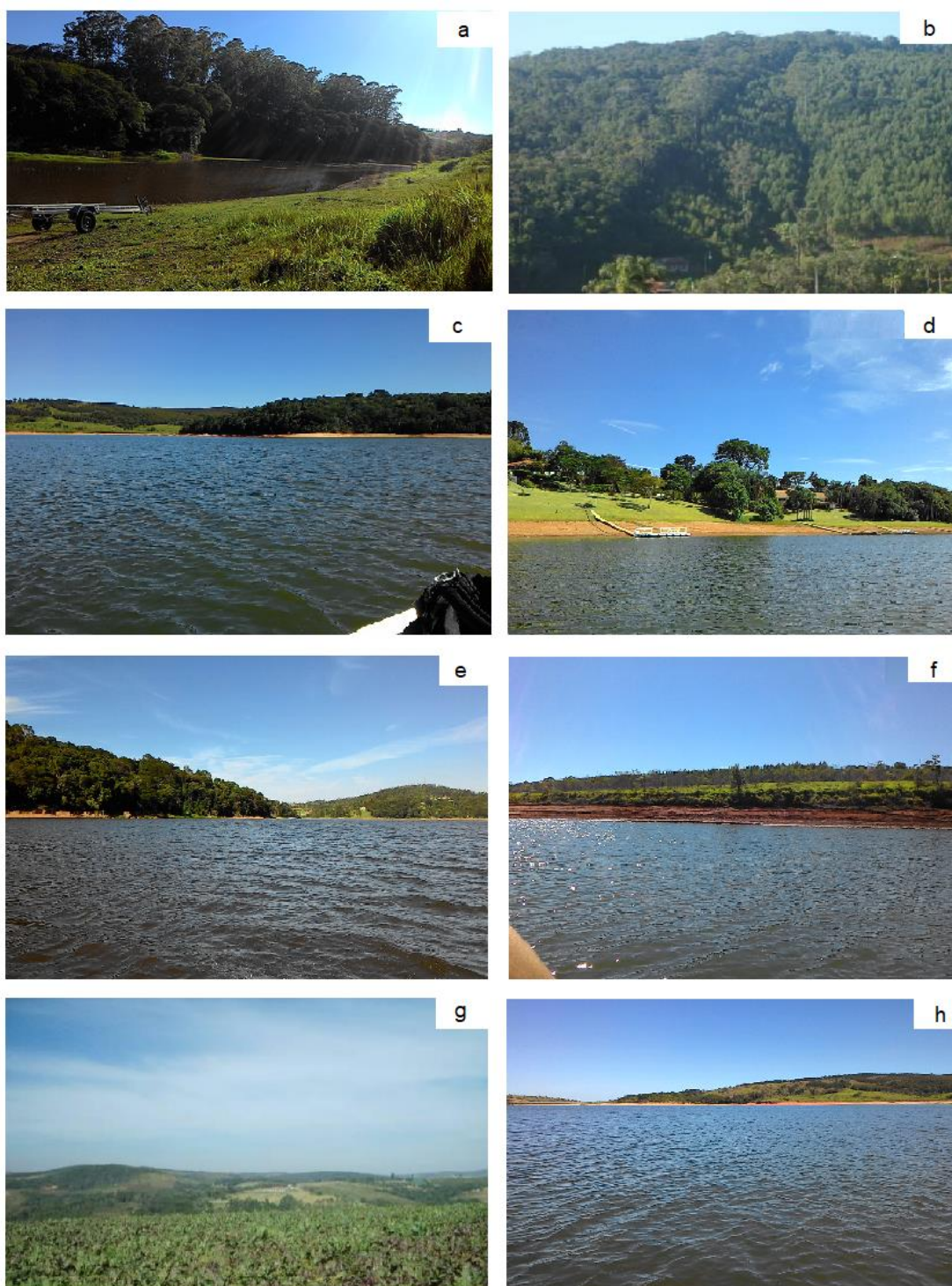


Fonte: Elaboração própria.

A partir da Figura 25 foi possível inferir que as áreas de preservação permanente possuem 77,37% de cobertura vegetal, com uma extensão equivalente a 27,724 km². Os riscos contemplados nas classes Muito Baixo e Baixo corresponderam a 19,79%. Já os riscos considerados Médio, Alto e Muito Alto, totalizaram 2,84%.

A Figura 26 (a) ao (h) ilustra o estado de conservação das margens dos pontos inspecionados *in loco*, sendo possível observar os diferentes usos às margens do reservatório.

Figura 26. Diferentes usos identificados no entorno do Reservatório de Itupararanga



Fonte: Acervo pessoal. Figuras (b) e (g) extraídas do Plano de Manejo (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010).

A partir da Figura 26 foram identificados diferentes usos do solo no entorno do reservatório de Itupararanga, dentre os quais destacam-se as coberturas herbácea-arbustivas Figura 26 (f); plantios de espécies exóticas (silvicultura) (b); fragmentos florestais preservados

(c) e (e); áreas de pastagem (h); cultivos agrícolas (g); áreas ocupadas por condomínio residenciais (d).

A partir da inspeção *in loco* de toda a extensão do reservatório foi possível verificar diferentes usos e ocupações do solo e diferentes níveis de potenciais impactos ambientais. De modo geral, às margens do reservatório apresentaram cobertura vegetal. No entanto, a vegetação não está preservada em grande parte do reservatório, visto que este apresenta vastas áreas de plantios de monocultura de pinus e eucalipto, atividade esta que apresenta grande representatividade na área (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010; SALLES et al., 2008).

Contudo, apesar desta vegetação cumprir algumas funções, tais como a preservação da integridade do solo Pereira e Rodrigues (2012), apresentam pouca diversidade biológica, o que impacta diretamente na diversidade da fauna e flora locais. Entretanto, as imagens apresentadas na Figura 25 corroboraram com o entendimento dos resultados encontrados na análise das classes de riscos das áreas de APP marginais do reservatório, que apresentaram 27,724 km² de cobertura vegetal, sendo 77,37% da área do estudo.

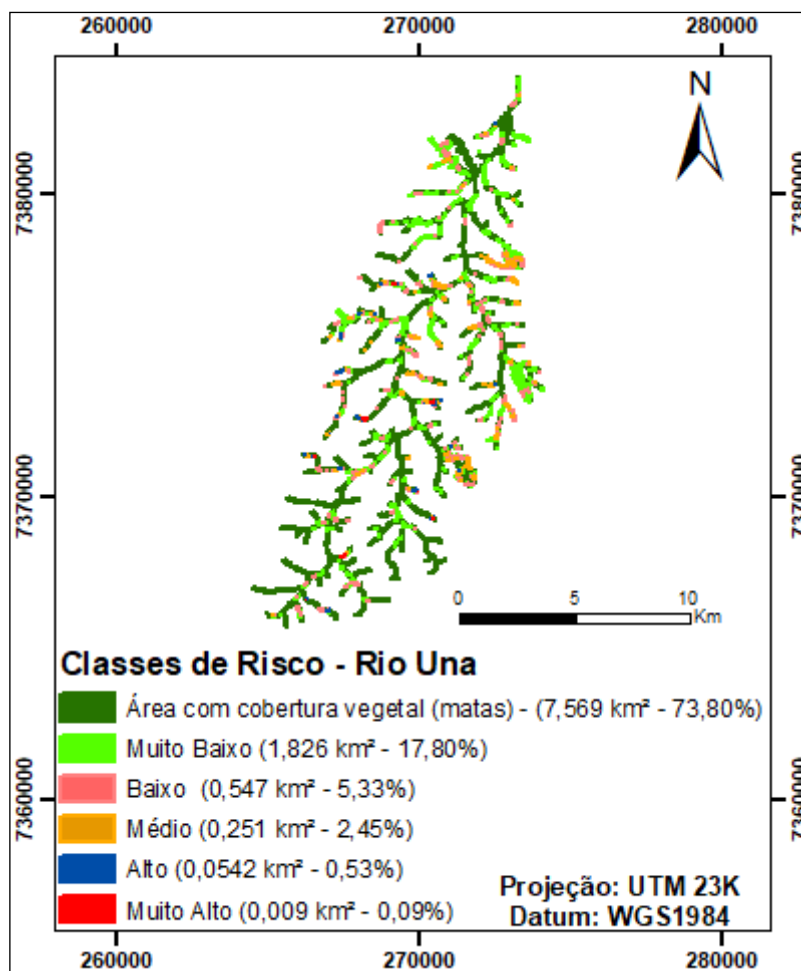
As áreas com riscos classificados como muito baixo representaram 15,46% do estudo e baixo 4,33%. Já as classes classificadas com riscos médio, alto e muito alto, totalizaram juntas 2,84% da área no qual o reservatório encontra-se inserido, abrangendo 1,174 km².

Apesar dos riscos mais significativos terem apresentado uma percentagem relativamente baixa, é necessária uma atenção especial às possíveis alterações na qualidade da água, principalmente no tocante aos níveis de trofia do reservatório, que apresentaram elevados valores nos dois períodos estudados.

Estudos realizados por Taniwaki et al. (2013) evidenciaram diversos impactos na qualidade da água do reservatório. Os autores atribuíram os péssimos resultados encontrados principalmente à devastação das florestas ripárias, avanço das áreas agrícolas e urbanização.

O rio Una é um dos principais cursos d'água formadores do reservatório de Itupararanga. Nesse sentido, a Figura 27 ilustra as classes de risco das APPs marginais ao rio.

Figura 27. Classes de Risco das Áreas de Preservação Permanente do Rio Una



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados demonstraram que 73,8% da sub-bacia apresenta cobertura vegetal. Os riscos classificados como Muito Baixo e Baixo apresentaram 23,1%, abrangendo uma extensão de 2,373 km². As áreas classificadas com riscos Médio, Alto e Muito Alto totalizaram 3,07% da sub-bacia, com uma extensão equivalente a 0,3142 km².

A Figura 28 (a), (b), (c) e (d) ilustra as margens do rio Una e auxiliam no entendimento dos resultados apresentados na Figura 27.

Figura 28. Área de Preservação Permanente do Rio Una

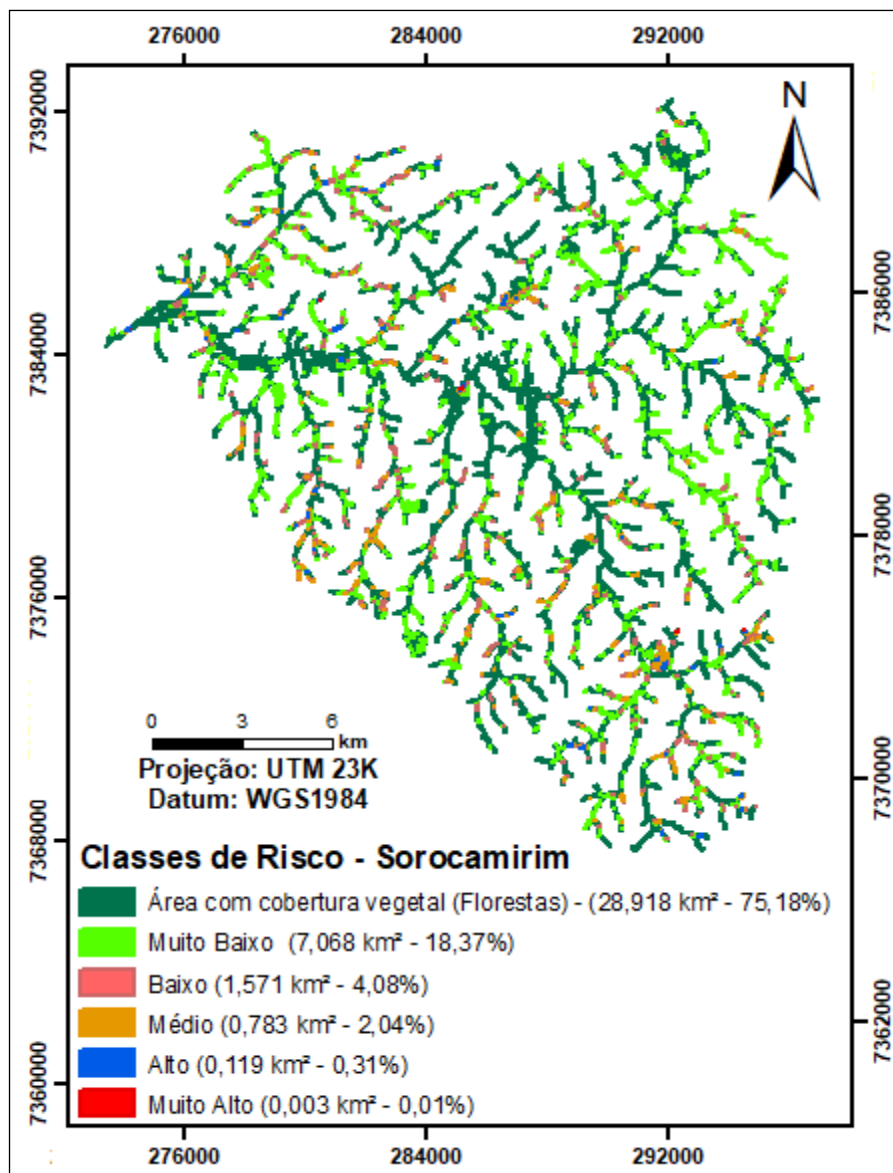


Fonte: Acervo pessoal.

A Figura 28 demonstrou que as margens do curso d'água encontram-se revestidas por cobertura vegetal com predominância de gramíneas (d) e, em alguns trechos, há presença de indivíduos arbóreos distribuídos de forma esparsa (b) e (c). Também é possível observar que o rio Una está inserido em uma zona urbana (c). Durante a inspeção *in loco* foi possível verificar a presença de lixo em diversos trechos do às margens do rio Una (Figura 28a). Nesse sentido, o estudo revelou que a sub-bacia do rio Una possui grande parte de sua extensão com presença de cobertura vegetal, e por essa razão, apresenta riscos relativamente baixos.

A análise espacial das classes de risco das áreas de preservação permanente da sub-bacia do rio Sorocamirim foi ilustrada na Figura 29.

Figura 29. Classes de Risco das Áreas de Preservação Permanente do Rio



Fonte: Elaboração própria.

A partir da Figura 29 foi possível determinar que as áreas de preservação permanente marginais aos cursos de água da sub-bacia do Sorocamirim possuem 75,18% de cobertura vegetal, totalizando uma extensão de 28,918 km². As APPs situadas em zonas de risco Muito Baixo e Baixo totalizaram 22,45% da área e uma extensão de 8,639 km², já os riscos inseridos nas classes Médio, Alto e Muito alto totalizaram 2,36% do estudo, com uma área equivalente a 0,932 km².

Figura 30. Área de Preservação Permanente do rio Sorocamirim



Fonte: Acervo pessoal.

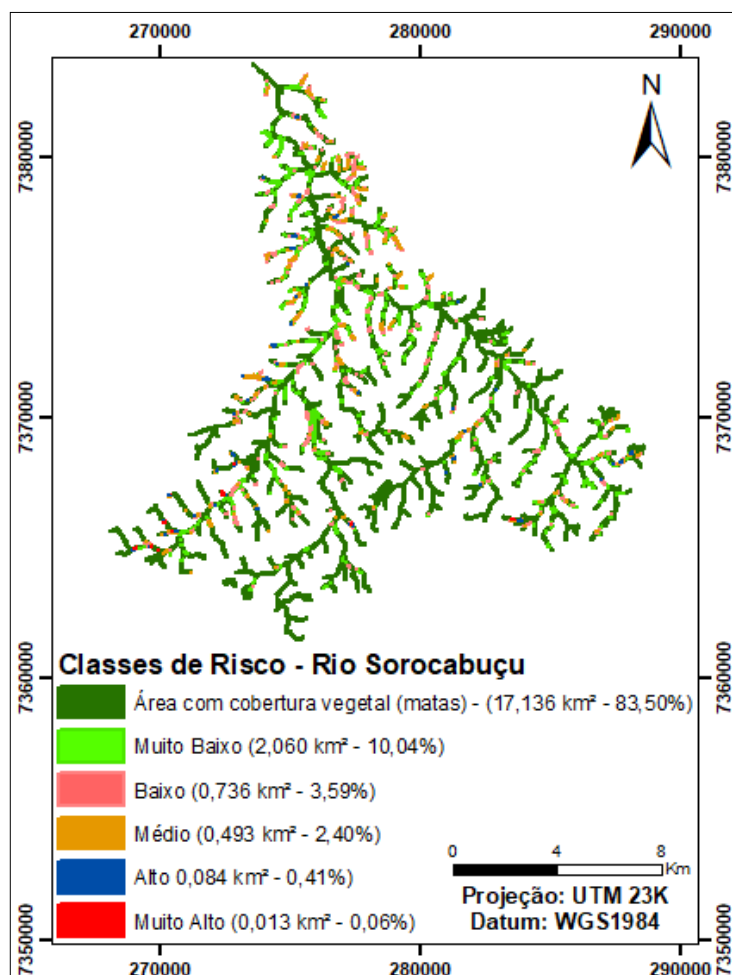
As queimadas observadas às margens do rio Sorocamirim podem desencadear uma série de impactos negativos caso seja realizada de forma contínua, podendo levar a perda da capacidade produtividade dos solos, de espécies florísticas e biodiversidade da fauna (RODRIGUES; LEITAO FILHO, 2009; POLETO, 2014).

As imagens representadas pela Figura 30 (a) e (c) são referentes ao mesmo local, porém, as imagens foram obtidas em períodos distintos, sendo chuvoso e seco respectivamente. No entanto, as áreas apresentam aspectos completamente distintos em relação à sazonalidade. Tal fato possui extrema relevância no estudo dos corpos hídricos, pois a sazonalidade interfere de modo bastante drástico no regime dos rios.

Ainda, o monitoramento das áreas de preservação permanente é necessário para o acompanhamento das possíveis degradações acarretadas aos corpos d'água. Isso se torna evidente nas Figuras 31 (a) ao (d), pois a evolução temporal evidenciou que a margem inspecionada do rio Sorocamirim está sofrendo impactos que podem contribuir para a

deterioração da qualidade da água e do solo. A Figura 31 expressa as áreas de riscos das APPs encontradas no rio Sorocabuçu.

Figura 31. Classes de risco das APPs da sub-bacia do rio Sorocabuçu



Fonte: Elaboração própria.

A partir da Figura 31 foi possível inferir sobre as áreas de APP da sub-bacia do rio Sorocabuçu. Para tanto, 83,50% das APPs que compreendem a sub-bacia apresentam cobertura vegetal, abrangendo uma extensão de 17,136 km². Os riscos respectivos às classes Muito Baixo e Baixo compreenderam, respectivamente, 10,04% e 3,59%. Já os riscos atribuídos às classes Médio, Alto e Muito Alto, totalizaram 2,87%, com uma extensão de 0,59 km² das APPs da sub-bacia.

A Figura 32 (a), (b), (c) e (d) ilustra os principais aspectos das matas ciliares verificados *in loco*.

Figura 32. Área de Preservação Permanente do rio Sorocabuçu



Fonte: Acervo pessoal.

O trecho do rio Sorocabuçu amostrado na Figura 32 (a) demonstrou um bom estado de conservação da vegetação ripária, com a presença de diversos indivíduos arbóreos. No entanto, a Figura 32 (b) ilustrou um trecho da APP com um aspecto menos preservado, contendo lixo e reflexos das atividades antrópicas locais. Ainda, a imagem (c) evidencia um trecho com um processo erosivo em estado inicial.

Os processos erosivos concernentes às margens dos rios, segundo Poletto (2014), é uma das interferências inerentes à urbanização de uma bacia hidrográfica fortemente antropizada, uma vez que as áreas impermeabilizadas aumentando a velocidade do fluxo de água que chegam à calha fluvial.

A análise das classes de riscos das APPs por meio do uso de geotecnologias associadas às visitas *in loco*, possibilitaram a inferência sobre diversos aspectos das áreas de preservação marginais aos cursos de água da APA Itupararanga de modo holístico.

Nesse sentido, foi possível verificar alguns impactos nas margens dos principais cursos de água da APA, dentre os quais destacam-se as queimadas, processos erosivos, lixo e pobreza de espécies arbóreas e forte antropização.

Os autores Garcia e Barbosa (2017) associam a ocupação indevida das áreas de preservação permanente a problemas de saneamento por lançamentos de efluentes devido o mau uso dessas áreas. Ainda, segundo Manfredini et al. (2015), a ocupação das margens dos rios tem origem histórica, uma vez que estes sempre foram provedores de recursos essenciais à subsistência humana.

Embora os resultados obtidos na APA Itupararanga tenham demonstrado que 77,37% da APA Itupararanga se encontra revestida por cobertura vegetal, esse número é pouco satisfatório, uma vez que a vegetação ripária é protegida por lei, e todos os cursos de água deveriam apresentar 100% de floresta ripária. De acordo com Poletto (2014) o desenvolvimento de atividades antrópicas em

A antropização das zonas ripárias pode impactar no balanço hídrico de bacias hidrográficas (POLETO, 2014). Ainda, Fonsêca et al. (2017) ressalta que os ambientes inseridos em áreas fragilizadas naturalmente, tendo sido observado nas classes de risco apresentadas, ao sofrerem perturbações antrópicas, não conseguem restabelecer seu estado de resiliência, pois para isso seria necessário um tempo que é incompatível com a escala imposta pelo modelo de desenvolvimento atual.

Ainda, é importante salientar que o presente estudo tratou apenas de analisar se as áreas de preservação permanente marginais aos cursos de água das sub-bacias inseridas na APA Itupararanga se apresentavam revestidas por cobertura vegetal, sem considerar as fitofisionomias características dessas áreas. Nesse sentido, o fato de possuir cobertura vegetal confere às margens uma proteção contra os processos erosivos resultantes do escoamento superficial e do aporte de sedimentos aos corpos d'água. Contudo, a variabilidade florística da vegetação também é de suma importância para os organismos aquáticos e também devem ser consideradas em futuros estudos, de modo a caracterizar as fitofisionomias ripárias presentes na APA.

Tendo em vista a importância da compreensão dos aspectos que podem contribuir com a degradação bem como o comprometimento da integridade das florestas ripárias, o presente estudo obteve resultados bastante satisfatórios.

As observações *in loco* associadas às análises em ambiente SIG proporcionaram uma caracterização do estado atual de preservação das matas ciliares da APA Itupararanga e os riscos associados aos diversos usos do solo presentes no seu entorno.

A sobreposição de diferentes bases cartográficas através de análises multicritérios permitiu a inferência sobre os riscos presentes na APA em razão de diferentes aspectos, tanto geomorfológicos, associados ao relevo, quanto associados aos seus diferentes usos do solo.

A metodologia utilizada apresentou bons resultados ao que tange o diagnóstico dos riscos inerentes às matas ciliares, podendo ser replicado em outras bacias hidrográficas, partindo da premissa da importância das matas ciliares como mantenedoras da qualidade das águas, da integridade dos solos e das funções ecológicas que propiciam suporte a vida silvestre.

As classes de riscos apresentadas no estudo indicaram que as APPs da APA Itupararanga sugerem reflexos da elevada antropização da área. Portanto, são necessárias constantes fiscalizações e ações que visem minimizar as atividades que causam a degradação das florestas ciliares num âmbito geral. Todavia, o estudo proporciona um importante subsídio para as ações futuras que visem à conservação dos recursos naturais da APA Itupararanga.

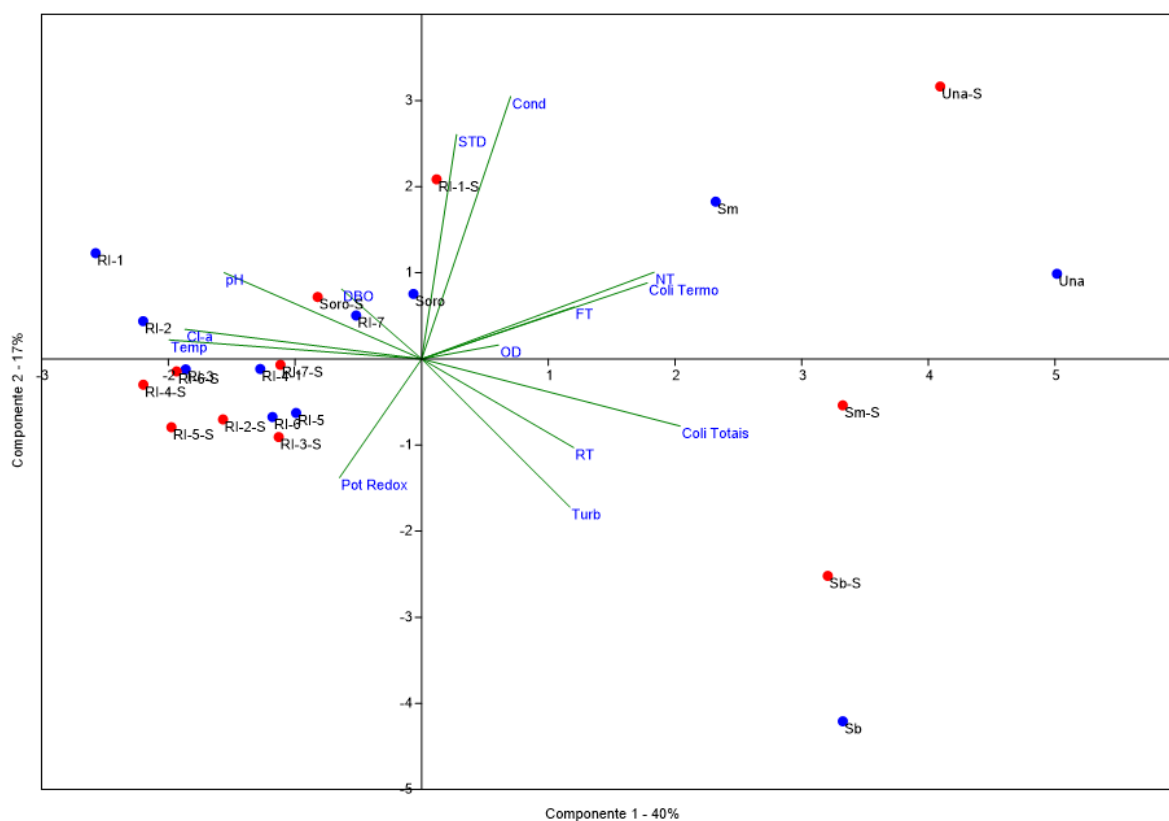
5.10 Resultados das Análises Estatísticas Multivariadas

5.10.1 Análise de Componentes Principais (ACP)

A análise multivariada de componentes principais (ACP) possibilita a transformação de dados lineares em novos agrupamentos, permitindo a análise simultânea de uma série de conjunto de dados de um mesmo ou indivíduo, de modo que a primeira nova variável obtida resulte na maior variação de dados do conjunto, e assim sucessivamente, até que todas as variáveis contempladas no conjunto de dados sejam explicadas (BERNARDI et al., 2001; HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2015).

Partindo desta premissa, foram realizadas as análises de componentes principais dos parâmetros de qualidade da água nos dois períodos (Figura 32), indicadores de qualidade da água analisados sazonalmente, como o Índice de Qualidade da Água (IQA) e Índice de Estado Trófico (IET), ilustrados nas Figuras 33 e 34, respectivamente. A ACP referente ao uso do solo e os parâmetros e índices de qualidade da água foram ilustrados na Figura 35.

Figura 33. Resultados sazonais da ACP dos parâmetros de qualidade de água



Legenda: Una - Rio Una. Sb - Rio Sorocabuçu. Sm - Rio Sorocamirim. S - período seco. RI - Reservatório de Itapararanga. pH - potencial hidrogeniônico. OD - oxigênio dissolvido. DBO - demanda bioquímica de oxigênio. NT - nitrogênio total. FT - fósforo total. RT - resíduo total. Temp - temperatura. Pot Redox - potencial redox. Coli Termo - coliformes termotolerantes. Coli Totais - coliformes totais. STD - sólidos totais dissolvidos. Cl-a - clorofila a. Cond - condutividade elétrica.

Os autovalores das variáveis foram descritos na Tabela 20.

Tabela 20. Autovalores dos pontos amostrados com seus respectivos eixos resultantes da Análise de Componentes Principais

Variáveis	Componente 1	Componente 2
OD	0.2777	0.04781
Temp	-0.9119	0.06535
pH	-0.7137	0.2967
Cond	0.321	0.9021
Turb	0.5352	-0.509
STD	0.1261	0.7718
Pot Redox	-0.2969	-0.4078
RT	0.549	-0.3047
Coli Totais	0.9337	-0.2308
Coli Termo	0.8153	0.2616
DBO	-0.2891	0.2402

Variáveis	Componente 1	Componente 2
Cl-a	-0.8549	0.1021
FT	0.5509	0.1789
NT	0.8396	0.298

Na Figura 33 é possível observar que os pontos amostrais não apresentam uma diferenciação significativa em relação à sazonalidade, não apresentando uma relevante distribuição espacial. Nesse sentido, o eixo x representado pelo Componente 1 explica 40% das correlações encontradas no estudo, enquanto o eixo 2 apresenta 17%.

Os resultados obtidos da análise sazonal dos parâmetros de qualidade de água apresentaram uma diferenciação entre os pontos amostrais inseridos na cabeceira, compreendendo os rios formadores Una (Una), Sorocamirim (Sm) e Sorocabuçu (SB) em relação aos pontos amostrados no reservatório (RI-1) a (RI-7). Tal fato evidencia que os rios, inseridos em ambientes lóticos, possuem uma dinâmica completamente diferente do reservatório - ambiente lêntico (ESTEVES, 2011).

Ainda, o ponto amostral inserido na confluência dos rios formadores com o reservatório (RI-1) apresentou, no período seco, um padrão semelhante aos rios, pelo fato de sofrer uma influência direta desses afluentes e constituir o ambiente de entrada do reservatório. O RI-1 apresentou uma correlação positiva de alta magnitude com as variáveis STD e Cond, sugestiva de fortes interferências antrópicas advinda dos rios formadores. De acordo com os estudos realizados por Thorton (1990), o reservatório é constituído por três regiões distintas, sendo a região de influência dos rios formadores; região de transição, constituindo a região central do reservatório; e a região de lago, sendo a zona próxima à barragem.

Os parâmetros de qualidade de água referentes ao oxigênio dissolvido (OD), fósforo total (FT), nitrogênio total (NT), coliformes termotolerantes (Coli Termo), sólidos totais dissolvidos (STD), condutividade (Cond), coliformes totais (Coli Totais), resíduos totais (RT) e turbidez (Turb) apresentaram forte correlação positiva com os rios formadores Una, Sb e Sm e com o ponto RI-1 (período seco). No entanto, as fortes correlações encontradas são concernentes às partículas coloidais, características desses ambientes, que aportam os rios, seja por fatores associados às matas ciliares não preservadas, permitindo o carreamento de sedimentos, e até mesmo por conta do regime hidráulico dos rios.

O STD se correlacionou fortemente com a Cond, tal fato pode ser explicado pela alta concentração de sólidos presentes na água, o que promove o aumento de sais, parâmetro este mensurado pela condutividade elétrica (Cond) da água.

Os resíduos totais (RT) apresentaram forte correlação com a turbidez, resultado esperado, uma vez que a turbidez se refere à interferência da passagem da luz devido às partículas presentes na água (VON SPERLING, 2005). Ainda, segundo o autor, os sólidos em suspensão presentes na água podem servir de abrigo para eventuais organismos patogênicos, fato observado na presente análise devido à alta influência do RT nos parâmetros de Turb e Coli Totais, principalmente nos pontos amostrais da cabeceira (SB) e (SM) no período seco e Sb no período chuvoso.

Os elevados valores de coliformes encontrados são sugestivos do despejo de esgoto doméstico nos respectivos corpos d'água. O relatório de qualidade das águas interiores publicados pela CETESB (2016) mostrou que os municípios inseridos na cabeceira do reservatório não possuem um sistema efetivo de coleta e tratamento de esgoto.

A alta correlação positiva entre o NT e FT encontrados na cabeceira corroboram com os resultados do uso e ocupação do solo obtidos no estudo, tendo apresentado uma extensão de 122,75 km².

Estudos realizados por Capoane et al. (2014) identificaram uma alta mobilidade de nutrientes, como o Nitrato, devido sua baixa carga residual, com maiores correlações para o período chuvoso. Esse elemento foi encontrado em abundância em razão das atividades agropecuárias realizadas na Bacia Hidrográfica. No mapeamento do uso do solo da bacia, os autores encontraram uma predominância de atividades agrícolas, assim como no presente estudo, além de uma significativa antropização da bacia que está comprometendo a qualidade da água. Estudos realizados por Conceição et al. (2011) relataram uma associação do fósforo com os eventos de chuvas, fato que corrobora com os resultados encontrados no presente estudo.

Ainda, segundo Guardini et al. (2012), o fósforo possui uma alta capacidade de adsorção nas partículas coloidais do solo, isso explica as altas concentrações encontradas nas cabeceiras do reservatório de Itupararanga e as fortes correlações obtidas, uma vez que a precipitação e a decorrente lixiviação aportam essas partículas aos corpos d'água.

De acordo com Von Sperling (2005), toda substância aportada aos recursos hídricos são constituídas por partículas, com exceção dos gases. Nesse sentido, a forte correlação positiva

dos coliformes totais e termotolerantes com os parâmetros indicativos de partículas na água, tais como o STD, Cond, Turb e RT podem ser atribuídas à biomassa presente na água, contendo esses microorganismos. Isso é corroborado com os resultados publicados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Tabela 18), no relatório de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo (CETESB, 2016). Para tanto, foi evidenciado o precário cenário de saneamento em que se encontram os municípios inseridos na APA, visto que não possuem um sistema efetivo de coleta e tratamento de esgoto doméstico.

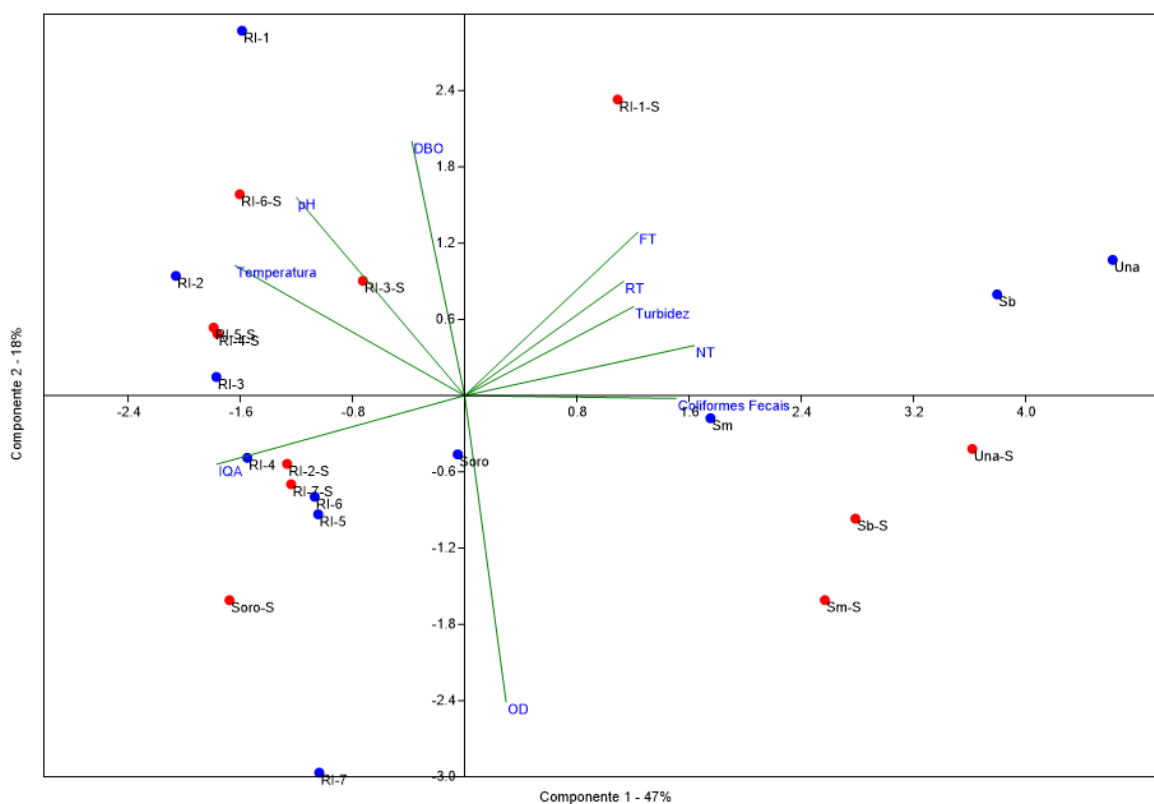
O OD apresentou correlação positiva com os rios formadores, o que pode ser explicado pelo regime dos rios, como a velocidade do fluxo de água e taxas mais elevadas de reaeração característicos desses ambientes.

O pH apresentou uma correlação positiva de alta magnitude com a variável clorofila-*a*, o que pode ser justificado pela alta influência deste parâmetro ao que tange a proliferação de algas em ambientes aquáticos. A clorofila-*a* consiste na maior fração presente na biomassa algal; deste modo, como os parâmetros referentes à Temp e pH são significativamente responsáveis pelas reações físico-químicas e biológicas do meio aquático (Von Sperling, 2005), justificando, assim, as fortes correlações encontradas. Ainda, os elevados valores de pH encontrados nos pontos amostrais RI-1 e RI-2, sendo, respectivamente, 8,4 e 8,1 corroboraram com os resultados obtidos.

O potencial redox apresentou um padrão distinto das demais variáveis, exercendo uma forte correlação negativa com os parâmetros de OD, FT, NT, Coli Termo, STD, Cond, Coli Totais, RT e Turbidez. De acordo com Esteves, (2011), as fortes interferências que podem ocorrer no ambiente natural fazem com que o potencial redox possua um papel importante na identificação dos processos de oxi-redução do meio aquático; no entanto, as variáveis Temp e OD também regem grande parte desses processos, o que torna difícil qualquer inferência a partir desta variável. Contudo, estudos realizados por Mitsch e Gosselink (1986), apud Esteves (2011), descreveram os valores de oxi-redução de alguns elementos importantes presentes no ambiente aquático, como o valor do potencial redox para os processos de conversão do nitrogênio em formas mais reduzidas, correspondendo a 220 mV.

A DBO consiste no consumo de OD pelos microorganismos para estabilização da matéria orgânica presente na água, isso justifica a forte correlação com a variável RT. A clorofila-*a* apresentou forte correlação com a Temp e pH.

Figura 34. Resultados sazonais da ACP para as variáveis do Índice de Qualidade das Águas (IQA)



Legenda: Una - Rio Una. Sb - Rio Sorocabuçu. Sm - Rio Sorocamirim. S - período seco. RI - Reservatório de Itupararanga. IQA - índice de qualidade da água. pH - potencial hidrogeniônico. OD - oxigênio dissolvido. DBO - demanda bioquímica de oxigênio. NT - nitrogênio total. FT - fósforo total. RT - resíduo total.

Os autovalores das variáveis foram descritos na Tabela 21.

Tabela 21. Autovalores dos pontos amostrados com seus respectivos eixos resultantes da Análise de Componentes Principais

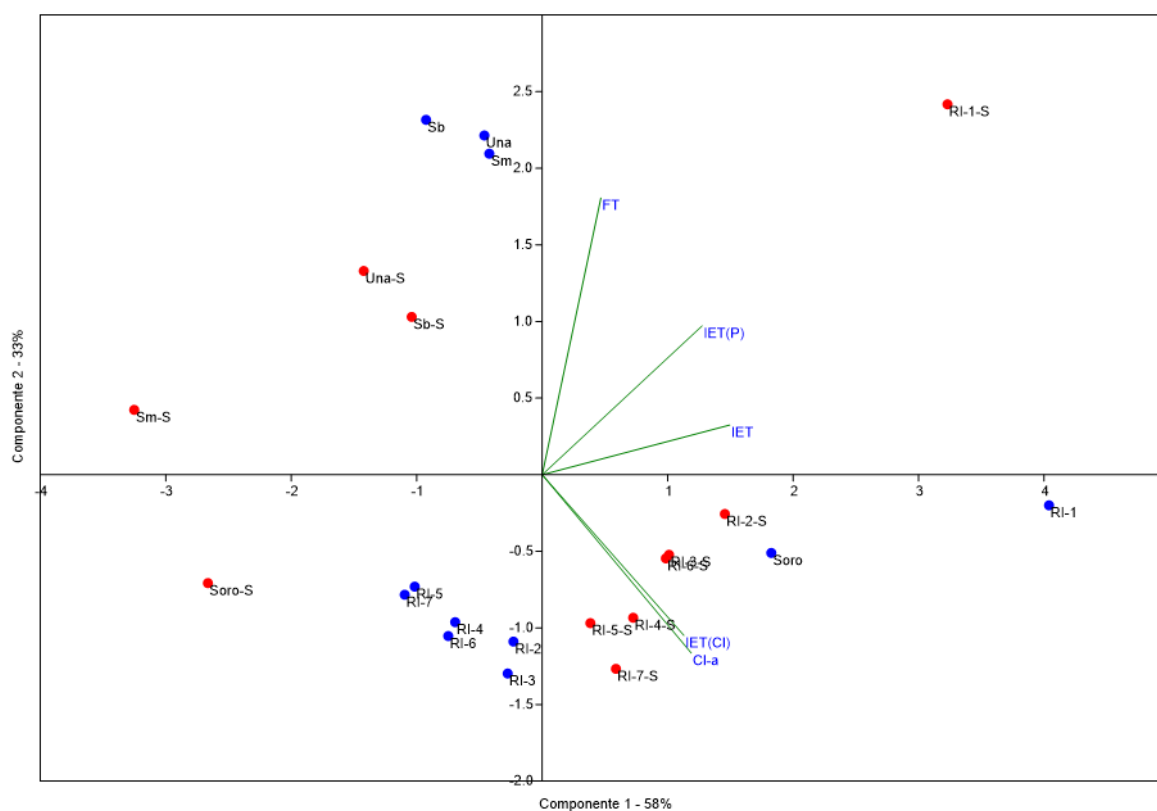
Variáveis	Componente 1	Componente 2
IQA	-0.9362	-0.1778
OD	0.1563	-0.7943
Coliformes Fecais	0.7994	-0.007252
pH	-0.636	0.5142
DBO	-0.1993	0.6591
Temperatura	-0.8684	0.3379
NT	0.8679	0.13
FT	0.6542	0.4236
Turbidez	0.6382	0.2306
RT	0.6007	0.2964

O IQA é resultante dos parâmetros de qualidade de água que inferem sobre a qualidade da água para abastecimento público (VON SPERLING, 2005). Nesse sentido, a Figura 34 expressa a correlação entre os nove parâmetros concernentes ao IQA bem como sua correlação sazonal com os pontos amostrados no estudo.

É possível observar na Figura 34 que não houve uma significativa variação sazonal entre os parâmetros que compõem o IQA e os pontos amostrados. Entretanto, as correlações mais fortes aconteceram nos pontos amostrais inseridos na cabeceira, representando os rios formadores do reservatório (Una, Sb e Sm). O componente 1 explica 47% das correlações, já o componente 2 explicou 18%. O parâmetro do IQA referente aos coliformes fecais apresentou uma forte correlação com os parâmetros de fósforo total (FT), resíduos totais (RT), turbidez (Turb) e nitrogênio total (NT).

Entretanto, o IQA apresentou uma forte correlação negativa com os parâmetros de NT, FT, Turb e RT, o que sugere que essas variáveis são as mais significativas no que se refere à obtenção dos seus respectivos valores, sendo inversamente proporcionais, ou seja, a influência dessas variáveis é determinante nos resultados do IQA. Nesse sentido, o OD foi a variável mais isolada obtida no estudo.

Figura 35. Resultados sazonais da ACP para as variáveis do Índice de Estado Trófico (IET), IET (CL) e IET (PT)



Legenda: Una - Rio Una. Sb - Rio Sorocabaçu. Sm - Rio Sorocamirim. S - período seco. RI - Reservatório de Itupararanga

Os autovalores das variáveis foram descritos na Tabela 22.

Tabela 22. Autovalores dos pontos amostrados com seus respectivos eixos resultantes da Análise de Componentes Principais

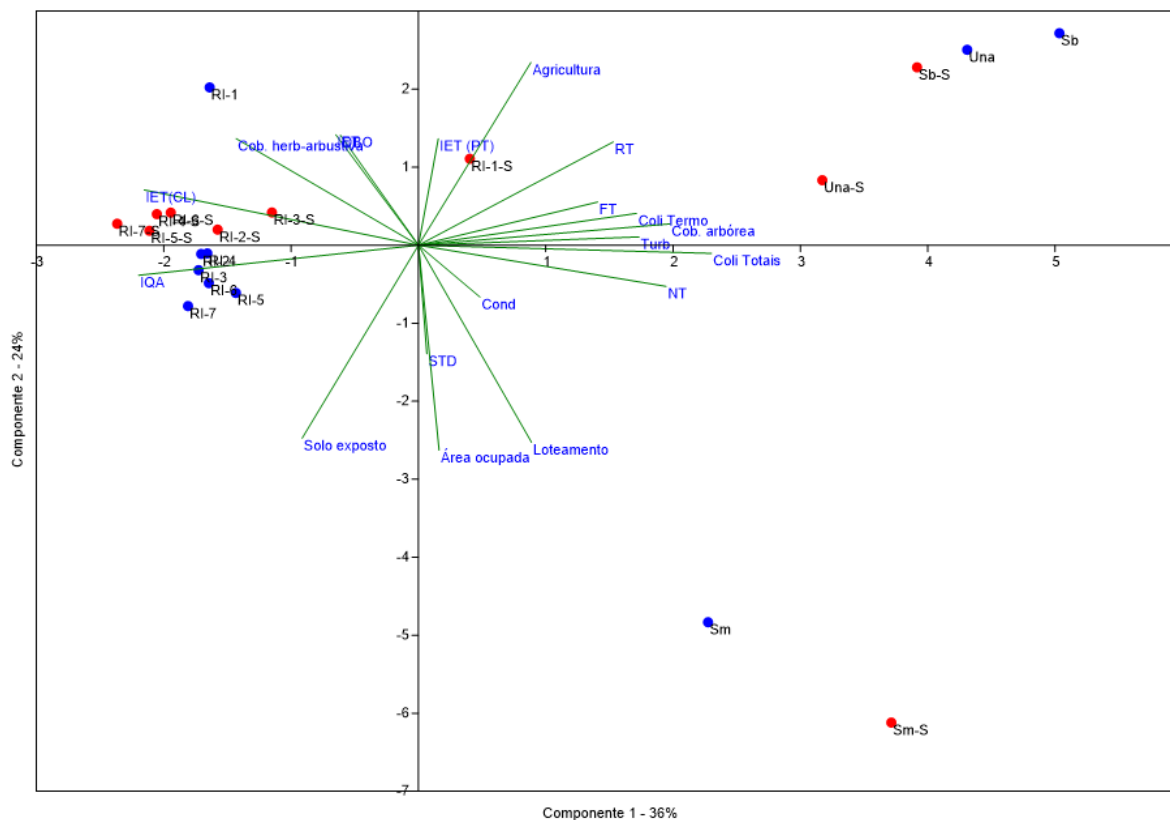
Variáveis	Componente 1	Componente 2
CI-a	0.7764	-0.5728
FT	0.3055	0.889
IET(P)	0.8326	0.478
IET(CI)	0.738	-0.5161
IET	0.9767	0.1596

A ACP realizada para o índice de estado trófico dos pontos amostrados na APA apresentou no Componente 1 (eixo x), 58% dos dados, enquanto o eixo y representado pelo Componente 2 explicou 33% das correlações.

A avaliação do índice de estado trófico (IET) apresentado na Figura 35 revelou que o fósforo exerceu maior influência na determinação do referido índice. Portanto, a análise foi bastante efetiva, uma vez que corroborou com os resultados obtidos para o fósforo nas duas campanhas realizadas, no qual foram encontrados valores altamente expressivos para os rios formadores tanto no período seco como no chuvoso, não havendo, portanto, uma diferenciação sazonal na concentração desses elementos nos rios da cabeceira. Já no reservatório, todos os pontos amostrados estiveram acima do limite preconizado pela resolução CONAMA 357/05 no período seco.

A variável clorofila exerceu uma forte influência nos pontos amostrados no reservatório no período seco (RI-2) ao (RI-7) bem como no ponto amostrado no rio Sorocaba. Já o ponto localizado na confluência dos rios formadores, o IET do fósforo exerceu maior influência. Entretanto, os pontos amostrados no reservatório que foram regidos pelo IET da clorofila no período seco, não apresentaram a mesma característica no período chuvoso, apresentando uma correlação negativa. Tal fato é sugestivo da carga difusa que aporta o reservatório no período chuvoso, aumentando a concentração do fósforo proveniente das áreas de cultivo agrícola do entorno.

Figura 36. Resultados sazonais da ACP para os parâmetros de qualidade de água e usos do solo da APA Itupararanga



Legenda: Una - Rio Una. Sb - Rio Sorocabaçu. Sm - Rio Sorocamirim. S - período seco. RI - Reservatório de Itupararanga. IQA - índice de qualidade da água. IET - índice de estado trófico. IET(Cl) - índice de estado trófico da clorofila. IET(P) - índice de estado trófico do fósforo. pH - potencial hidrogeniônico. OD - oxigênio dissolvido. DBO - demanda bioquímica de oxigênio. NT - nitrogênio total. FT - fósforo total. RT - resíduo total.

Os autovalores das variáveis foram descritos na Tabela 23.

Tabela 23. Autovalores dos pontos amostrados com seus respectivos eixos resultantes da Análise de Componentes Principais

Variáveis	Componente 1	Componente 2
Cond	0.2042	-0.231
Turb	0.732	0.03709
STD	0.02776	-0.4835
RT	0.6464	0.4598
Coli Totais	0.9725	-0.03644
Coli Termo	0.7237	0.142
DBO	-0.2588	0.4901
FT	0.5949	0.1922
NT	0.8219	-0.1832

Variáveis	Componente 1	Componente 2
IET (PT)	0.06588	0.474
IET(CI)	-0.9095	0.2462
IET	-0.2743	0.4919
IQA	-0.9282	-0.1338
Agricultura	0.373	0.8138
Área ocupada	0.06871	-0.9124
Cob. arbórea	0.8341	0.09491
Cob. herb-arbustiva	-0.6043	0.4744
Loteamento	0.3752	-0.8776
Solo exposto	-0.3857	-0.859

O componente 1 (eixo x) explica 36% das correlações enquanto o eixo y, respectivo ao componente 2 explica 24% (Figura 36).

Os parâmetros de qualidade de água referentes à turbidez, coliformes (totais e termotolerantes), fósforo total bem como o índice de estado trófico (IET) apresentaram uma expressiva correlação positiva com os usos do solo referentes à cobertura arbórea e agricultura. Ainda, o sólido total dissolvido apresentou uma correlação positiva de alta magnitude com as áreas ocupadas, assim como os loteamentos com a condutividade elétrica.

No entanto, esse cenário é sugestivo do forte impacto nos corpos d'água oriundos do despejo de esgoto realizado pelos municípios da cabeceira do reservatório de Itupararanga, uma vez que a cobertura arbórea apresentou uma elevada correlação positiva com as variáveis microbiológicas, inferindo que os elevados valores não são decorrentes do deflúvio pluvial constituído por cargas difusas; porém, são indicativas de descargas pontuais nos corpos d'água. Nesse sentido, os pontos amostrais que apresentaram valores mais altos de correlação foram justamente os rios formadores (Una, Sorocabuçu e Sorocamirim) e o ponto amostral inserido na confluência desses respectivos rios (RI-1) para os dois períodos analisados.

Foi possível verificar uma forte influência da cobertura herbácea-arbustiva na demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fato que pode ser sugestivo do aporte de cargas orgânicas e detritos provenientes das áreas de pastagens aos corpos d'água.

Ainda, foi observada uma alta significativa correlação entre as áreas de pastagem (herbácea-arbustiva) e o ponto localizado na diluição dos rios formadores no período chuvoso. O IET da clorofila também apresentou correlação significativa com os pontos amostrais do reservatório no período seco, fato que é sugestivo da baixa pluviosidade do período, o que acarreta no aumento da concentração da biomassa algal no reservatório.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho encontrou resultados satisfatórios para o índice de qualidade das águas (IQA), que contempla as variáveis mais significativas para fins de abastecimento público, no qual os pontos amostrados sazonalmente se apresentaram nas classes Boa e Excelente.

O índice de estado trófico (IET), que avalia os níveis de trofia nos corpos d'água, se apresentou na classe Hipereutrófico em ambos os períodos analisados para todos os pontos amostrados no estudo. O índice de vida aquática (IVA) analisado no período chuvoso, respectivo ao período que apresenta maior potencial de lixiviação de elementos para os corpos d'água, apresentou elevados valores para todos os pontos amostrais, sendo o rio Sorocabaçu (Sb) classificado como Péssimo, e os demais pontos inseridos na categoria Ruim.

Entre os parâmetros de qualidade da água analisados, foram obtidos elevados valores para as variáveis químicas, tais como a condutividade elétrica, fósforo total e nitrogênio total nos dois períodos analisados. O parâmetro microbiológico referente aos coliformes totais e termotolerantes também apresentaram elevados valores, principalmente nos rios formadores e no ponto de diluição do reservatório, fato que é sugestivo de lançamento de efluentes nos cursos d'água, uma vez que os municípios inseridos na área de cabeceira do reservatório não possuem 100% de coleta e tratamento de esgoto.

Portanto, é imprescindível a articulação dos municípios inseridos na cabeceira da APA Itupararanga para contenção das fontes de poluição difusas e pontuais que possam aportar os recursos hídricos da bacia hidrográfica. É importante salientar que a avaliação realizada no presente estudo foi pontual, necessitando, assim, de um contínuo acompanhamento e monitoramento da qualidade da água.

O estudo também possibilitou à análise da altitude, declividade e fragilidade da APA Itupararanga, fornecendo um panorama geral da fragilidade ambiental da área, bem como subsídios para ações voltadas à gestão das áreas com potenciais riscos. Sendo assim, com mapeamento das classes de riscos das áreas de preservação permanente (APP) marginais aos cursos de água com o estabelecimento de análise multicriterial em ambiente SIG, foi possível inferir sobre as áreas mais vulneráveis da APA Itupararanga e de suas respectivas sub-bacias.

O mapeamento dos usos e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Alto Sorocaba, com o auxílio de geotecnologias, possibilitou um amplo entendimento dos possíveis conflitos no uso da terra existentes, sendo de extrema relevância ao que tange o monitoramento ambiental da área. O estudo identificou que os possíveis impactos advindos do uso do solo na APA

Itupararanga são provenientes das grandes extensões agrícolas, que totalizaram uma área de 122,75 km². As vastas áreas agrícolas mapeadas no estudo podem impactar negativamente na qualidade da água do reservatório de Itupararanga caso não haja um manejo adequado do solo, pautado em práticas conservacionistas.

As análises por meio de geoprocessamento inferiram uma variação de cobertura vegetal entre 73,8% e 83,5%, no qual o menor percentual de cobertura foi obtido pela sub-bacia do rio Una, e a sub-bacia com maior percentual de cobertura vegetal foi a do rio Sorocabuçu.

Todavia, como resultados deste estudo, foi observado que grande parte das áreas de preservação permanente marginais aos cursos d'água inseridos na APA apresentou cobertura vegetal, proporcionando, assim, algumas funções ecológicas inerentes às matas ripárias, tais como a manutenção da integridade do solo e das margens. Contudo, é importante salientar que a integridade das florestas ripárias depende de outros fatores, tais como a diversidade de espécies arbóreas arbustivas para a manutenção da flora e fauna.

Portanto, o presente estudo possibilitou a análise ambiental da APA Itupararanga de forma bastante abrangente, inferindo sobre aspectos bióticos e abióticos da área. Ainda, esses aspectos foram trabalhados em um ambiente SIG, fato que possibilitou a ampliação do entendimento de sua dinâmica ambiental bem como os principais fatores causadores dos impactos ambientais e possíveis causas de deterioração da qualidade da água ao longo prazo.

O mapeamento das áreas de preservação permanente (APP) da Bacia Hidrográfica do Alto Sorocaba bem como a espacialização da fragilidade ambiental da área constitui uma importante ferramenta de auxílio às políticas públicas dos municípios inseridos na APA, inferindo sobre as áreas com maior suscetibilidade à erosão, menor aptidão para produção agrícola, além das áreas mais suscetíveis a degradação ambiental devido sua fragilidade natural.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se o acompanhamento periódico dos aspectos bióticos e abióticos da APA Itupararanga, além dos aspectos sociais que possam impactar negativamente na Bacia Hidrográfica do Alto Sorocaba, para sejam fornecidos cada vez mais subsídios que auxiliem na gestão desta importante Unidade de Conservação de Uso Sustentável, salvaguardando, assim, as espécies de fauna e flora bem como a qualidade da água dos recursos hídricos presentes na Bacia Hidrográfica.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. O suporte geocológico das florestas beiradeiras (ciliares). In: RODRIGUES, R.R. e LEITÃO-FILHO, H.F. (Ed.). **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: Edusp/Fapesp, 2004.
- ALVES, A. C. N.; ANDRADE, T. C. Q.; NERY, J. M. F. G. A influência da vegetação e da ocupação do solo no clima urbano: um exercício analítico sobre a Avenida Paralela. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, v. 4, n. 1, 2013.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20^a ed.** Washington: American Public Health Association, 1998.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st ed.** Washington. 2005.
- ANGELIS, B. L. D.; LOBODA, C. R. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. **Ambiência**, v. 1, n. 1, p. 125-139, 2005.
- BARBOSA, A. E.; FERNANDES, J. N.; DAVID, L. M. Key issues for sustainable urban stormwater management. **Water research**, v. 46, n. 20, p. 6787-6798, 2012.
- BEGHELLI, F. G. S.; SANTOS, A. C. A. D.; URSO-GUIMARÃES, M. V.; CALIJURI, M. D. C. Spatial and temporal heterogeneity in a subtropical reservoir and their effects over the benthic macroinvertebrate community. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, n. 3, p. 306-317, 2014.
- BERNARDI, I. (2011). **A implantação da APA de Itupararanga e seus reflexos nas políticas públicas e na conservação dos recursos naturais**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).
- BERNARDI, J. V. E.; FOWLER, H. G.; LANDIM, P. M. B. Um estudo de impacto ambiental utilizando análises estatísticas espacial e multivariada. **Holos Environment**, v. 1, n. 2, p. 162-172, 2001.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 8 ed. São Paulo: Ícone, 2012.
- BEU, S. E.; MISATO, M. T.; HAHN, C. M. APA de Itupararanga. In: BEU, S. E; SANTOS, A. C. A.; CASALI, S. (Org.). 2011. **Biodiversidade na APA de Itupararanga: Condições atuais e perspectivas futuras**. Secretaria de Meio Ambiente. São Carlos: UFSCAR/FF/CCR, 2011.
- BORGES, L. A. C.; REZENDE, J. L. P.; PEREIRA, J. A. A.; COELHO JÚNIOR, L. M.; BARROS, D. A. Áreas de preservação permanente na legislação ambiental brasileira. **Ciência Rural**, v. 41, n. 7, p. 1202-1210, 2011.

BRANDÃO, C. J.; BOTELHO, M. J. C.; SATO, M. I. Z.; LAMPARELLI, M. C. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

_____. **Decreto Federal n. 23.793**, de 23 de janeiro de 1934. Decreta o código florestal. Brasília, DF, 1934.

_____. **Lei 4.771**, de 15 de setembro de 1965. Instituiu o código florestal brasileiro. Brasília, DF, 1965.

_____. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

_____. **Lei nº. 9.985**, de 18 de julho de 2000 - Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III, e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF, 2000.

BRITO, F.; SOUZA, J. Expansão urbana nas grandes metrópoles: o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza. **São Paulo em Perspectiva**, v. 19, n. 4, p. 48-63, 2005.

CABRAL, P. I. D. Perícia, Auditoria; Ambiental, Governança. Arborização urbana: problemas e benefícios. **Revista Especialize On-line IPOG–Goiânia**, v. 1, n. 6, 2013.

CAIADO, A. S. C.; SANTOS, S. M. M. Fim da dicotomia rural-urbano? Um olhar sobre os processos socioespaciais. **São Paulo em perspectiva**, v. 17, n. 3-4, p. 115-124, 2003.

CAPOANE, V.; TIECHER, T.; SHAEFER, G.L.; CIOTTI, L. H.; SANTOS, D. R. Transferência de nitrogênio e fósforo para águas superficiais em uma bacia hidrográfica com agricultura e produção pecuária intensiva no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 45 n. 4, p. 647-650, 2014.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 2, n. 2, p. 361-369, 1977.

CASTRO, P.; LOPES, J. D. S. Recuperação e conservação de nascentes. Viçosa, MG: CPT, 2001.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo 2013-2015**. Série Relatórios. São Paulo: CETESB, 2016. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

_____. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice de Qualidade das Águas Interiores Do estado de São Paulo – Anexo III: Índice de Qualidade das Águas**. São Paulo, SP. 2007. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/32168020/Anexo-III#download>> Acesso em: 05 maio 2016.

- _____. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Dados do saneamento básico dos municípios paulistas**. 2016. Disponível em <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Ap%C3%AAndice-C-Dados-do-saneamento-b%C3%A1sico...-munic%C3%ADpios-paulistas-2016_17-04.pdf> Acesso em: 10 nov. 2017.
- CONCEIÇÃO, F. T.; SARDINHA, D. D. S.; NAVARRO, G. R. B.; ANTUNES, M. L. P.; ANGELUCCI, V. A. Composição química das águas pluviais e deposição atmosférica anual na bacia do Alto Sorocaba (SP). **Química Nova**, p. 610-616, 2011.
- CONCEIÇÃO, F. T.; SARDINHA, D. S.; GODOY, L. H.; FERNANDES, A. M.; PEDRAZZI, F. J. M. Influência sazonal no transporte específico de metais totais e dissolvidos nas águas fluviais da bacia do Alto Sorocaba (SP). **Geochimica Brasiliensis**, 2015.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. D.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Inpe, 2001.
- CROTEAU, M. N.; LUOMA, S. N.; STEWART, A. R. Trophic transfer of metals along freshwater food webs: evidence of cadmium biomagnification in nature. **Limnology and Oceanography**, v. 50, n. 5, p. 1511-1519, 2005.
- CUNHA, A. P. M. A.; SANTOS ALVALÁ, R. C.; OLIVEIRA, G. S. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 139-152, 2013.
- CUNHA, R. W.; GARCIA JR, M. D.; ALBERTONI, E. F.; PALMA-SILVA, C. Qualidade de água de uma lagoa rasa em meio rural no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 7, 2013.
- DORIGO, W. A.; MILLA, R. Z.; DE WIT, A. J. W.; BRAZILE, J.; SINGH, R.; SCHAEPMAN, M.E. A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 9, p. 165-193, 2007.
- DÖRNHÖFER, K.; OPPELT, N. Remote sensing for lake research and monitoring—Recent advances. **Ecological Indicators**, v. 64, p. 105-122, 2016.
- EPA US United States Environmental Protection Agency. **METHOD 3005A: Acid Digestion of Waters for Total Recoverable or Dissolved Metals for Analysis by Flaa or Icp Spectroscopy**. 1 ed. 1992.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos da limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- FONSÊCA, D. N.; SILVA, A. C.; BARROS, A. C. M.; SILVA, J. C. B.; SILVA, O. G. Mapeamento morfodinâmico como suporte à análise de processos de degradação em áreas do município de cabrobó-pernambuco. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 19, n. 2, p. 92-107, 2017.

- FRASCARELI, D.; BEGHELLI, F. G. S.; CARDOSO-SILVA, S.; MOSCHINI CARLOS, V. Heterogeneidade espacial e temporal de variáveis limnológicas no reservatório de Itupararanga associadas com o uso do solo na Bacia do Alto Sorocaba-SP. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 4, 2015.
- FUNDAÇÃO FLORESTAL. **Plano de Manejo da APA Itupararanga**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, 2010. Disponível em: <<http://fflorestal.sp.gov.br/pagina-inicial/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-concluidos/plano-de-manejo-apa-itupararanga/>>. Acesso em: 09 set. 2016.
- GALVÃO, J.; BERMANN, C. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. **Estudos avançados**, v. 29, n. 84, p. 43-68, 2015.
- GARCIA, M. M.; BARBOSA, F. D. Análise diagnóstica da área da barragem Santa Teresa em relação à situação socioambiental e ao plano diretor de Ribeirão Preto-SP. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 52-67, 2017.
- GOMES, M. F.; QUEIROZ, D. R. E. Avaliação da cobertura vegetal arbórea na cidade de Birigui com emprego de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. **Revista Geografar**, v. 6, n. 2, 2011.
- GOONETILLEKE, A.; THOMAS, E.; GINN, S.; GILBERT, D. Understanding the role of land use in urban stormwater quality management. **Journal of Environmental management**, v. 74, n. 1, p. 31-42, 2005.
- GUANDIQUE, M. E. G.; MORAIS, L. C. Estudo de variáveis hidrológicas e do balanço hídrico em bacias hidrográficas. In: POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V., NISHIMURA, P. Y.; SILVA, S. C.; DOVAL, J. C. L. (Org.). **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Universidade de São Paulo, p. 434-447, 2015.
- GUARDINI, R.; COMIN, J. J.; SCHMITT, D. E.; TIECHER, T.; BENDER, M. A. SANTOS, D. R.; BRUNETTO, G. Accumulation of phosphorus fractions in typical Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 93, n. 2, p. 215–225, 2012.
- GUILDFORD, S. J.; HECKY, E. Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation in lakes and oceans: Is there a common relationship? **Limnology and Oceanography**, v. 45, n. 6, p. 1213-1223, 2000.
- GURGEL, H. C. **Variabilidade espacial e temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima**. 2000. 118 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - São José dos Campos: INPE, 2000.
- HANISCH, W.; FREIRE-NORDI, C. S. Monitoramento remoto em tempo real de mananciais visando às florações de cianobactérias. In: POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V., NISHIMURA, P. Y.; SILVA, S. C.; DOVAL, J. C. L. (Org.). **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. p. 190-211, 2015.

- HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de Componentes Principais: Resumo Teórico, Aplicação e Interpretação. **E&S Engineering and Science**, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016.
- JACOBI, P. R.; CIBIM, J.; LEÃO, R. S. Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil. **Estudos avançados**, v. 29, n. 84, p. 27-42, 2015.
- KRATZER, C. R.; BREZONIK, P. L. A Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 17, n. 4, p. 713-715, 1981.
- LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 235 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo: Departamento de Ecologia, 2004.
- LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- LI, A.; WANG, A.; LIANG, S.; ZHOU, W. Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS – a case study in the upper reaches of Minjiang River, China. **Ecological Modeling**, v. 192, p. 175–187, 2006.
- LOPES, F. B.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; ARAÚJO, L. F. P. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e geoprocessamento. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, p. 392-402, 2008.
- LORENZEN, C.J. Determination of chlorophyll and pheo-pigments: Spectrophotometric equations. **Limnology and Oceanography**, v.12, p. 343-6, 1967.
- LOURENÇO, R. W.; MARTINS, A. C. G.; ROVEDA, S. R. M. M.; ROVEDA, J. A. F.; LANDIM, P. M. B. Análise espacial de dados geográficos. In: **Meio ambiente e sustentabilidade**. ROSA, A. H.; FRACETO, L. F.; MOSCHINI-CARLOS, V. (Org.). Porto Alegre: Editora Bookman, 2012.
- MACIEL, C. R.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; SOUZA NOGUEIRA, J. Cobertura do solo e sua influência na temperatura de microclimas urbanos na cidade de Cuiabá-MT. **Caminhos de Geografia**, v. 12, n. 39, 2011.
- MAGRINI, A.; MARCO, A. S. Política e gestão ambiental: conceitos e instrumentos. **Revista Brasileira**, v. 8, n. 2, 2001.
- MANFREDINI, F. N.; GUANDIQUE, M. E. G; ROSA, A. H. **A história ambiental de Sorocaba**. Sorocaba: Unesp - Campus Experimental de Sorocaba, 2015. Recurso eletrônico. Disponível em: <https://www.317798987_A_Historia_Ambiental_de_Sorocaba/links/594c2a55aca272ea0a9147d6/A-Historia-Ambiental-de-Sorocaba.pdf>. Acesso em: maio de 2017.
- MARCONDES, S. **Brasil, amor à primeira vista!: viagem ambiental no Brasil do século XVI ao XXI**. São Paulo: Peirópoles, 2005.

- MIELKE, E. C.; NEGRELLE, R. R. B.; CUQUEL, F. L.; LIMA, W. P. Espécies exóticas invasoras arbóreas no parque da Barreirinha em Curitiba: registro e implicações. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 327-336, 2015.
- NASCIMENTO, E. P. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 74, p. 51-64, 2012.
- NEUMANN, P. S.; LOCH, C. Legislação ambiental, desenvolvimento rural e práticas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 32, n. 2, p. 243-249, 2002.
- OLIVEIRA, M. R.; HORN, A. H. Comparação da concentração de metais pesados nas águas do Rio São Francisco em Três Marias, desde 1991 até hoje, relacionando a atuação da CMM-Três Marias. **Revista Geonomos**, v. 14, n. 2, 2013.
- OLIVEIRA, P. T. S. D., ALVES SOBRINHO, T., STEFFEN, J. L., & RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.8, p-819-825, 2010.
- OLIVEIRA, R. A.; SILVA, D. C. C.; SIMONETTI, V. C.; STROKA, E. A. B.; SABONARO, D. Z. Proposição de Corredor Ecológico entre duas Unidades de Conservação na Região Metropolitana de Sorocaba. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 32, p. 61-71, 2016.
- PEREIRA, J. S.; RODRIGUES, S. C. Crescimento de espécies arbóreas utilizadas na recuperação de área degradada. **Caminhos de Geografia**, v. 13, n. 41, p. 102-110, 2012.
- PEREIRA, R.; BISSANI, K. A regularização do parcelamento do solo de loteamentos públicos: um estudo a partir do projeto do loteamento de interesse social Vila Betinho em Chapecó/SC. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, v. 7, n. 2, 2017.
- PEDRAZZI, F. J. M; CONCEIÇÃO, F. T.; SARDINHA, D. S.; MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPÊO, M. Spatial and temporal quality of water in the Ituparanga Reservoir, Alto Sorocaba Basin (SP), Brazil. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 5, p. 64- 71, 2013.
- PEDRAZZI, F. J. M.; CONCEIÇÃO, F. T.; SARDINHA, D. S.; MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPÊO, M. Avaliação da qualidade da água no reservatório de Ituparanga, Bacia do Alto Sorocaba (SP). **Revista Geociências**, v. 33, n. 1, 2014.
- PETRY, C. F. **Determinação de Elementos Traço em Amostras Ambientais por ICP OES**. Porto Alegre, 2005. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2005.
- PIROLI, E. L. **Água: por uma nova relação**. Jundiaí: Paco Editorial, 2016.
- POLETO, C. **Bacias hidrográficas e recursos hídricos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.
- POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; NISHIMURA, P. Y.; SILVA, S. C.; DOVAL, J. C. L. **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da

Universidade de São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://ecologia.ib.usp.br/reservatorios/>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M., 2012. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos.

PSILOVIKOS, A. Contribution of monitoring in sustainable management and prevention of environmental hazards in the transboundary river Nestos. The perspective application of directive 2000/60. **Hydrotechnica**, p. 87-102, 2005.

REIS, T. E.; COSTA, V. C. Análise da vulnerabilidade na zona de amortecimento do Parque Estadual do Ibitipoca (MG), com o uso de SIG. **Geosul**, v. 32, n. 63, p. 77-97, 2017.

REVITT, D. M.; ELLIS, J. B. Urban surface water pollution problems arising from misconnections. **Science of the Total Environment**, v. 551, p. 163-174, 2016.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2004.

RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. Edusp, 2009.

ROSA, A. H.; SILVA, A. A. M. J.; MELO, C. A.; MOSCHINI-CARLOS, V.; GUANDIQUE, M. E. G.; FRACETO, L. F.; LOURENÇO, R. W. Diagnóstico ambiental e avaliação de uso e ocupação do solo visando a sustentabilidade da represa de Itupararanga, importante área da bacia do médio tietê. In: POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V., NISHIMURA, P. Y.; SILVA, S. C.; DOVAL, J. C. L. (Org.). **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015. p. 212-231. Disponível em: <<http://ecologia.ib.usp.br/reservatorios/>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

ROSS, J. L. S. "Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados" In: **Revista do Departamento de Geografia** n° 8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

SALES, J. C. A.; SILVA, D. C. C.; BERTAGNA, L. F. T. D. R.; LOURENÇO, R. W. Avaliação do impacto ambiental causado pelas alterações espaço temporal do uso do solo e da cobertura vegetal utilizando o modelo das cadeias de Markov. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 1, 2016.

SALLES, M. H. D.; CONCEIÇÃO, F. T.; ANGELUCCI, V. A.; SIA, R.; PEDRAZZI, F. J. M.; CARRA, T. A.; NAVARRO, G. R. B. Avaliação Simplificada de Impactos Ambientais na Bacia do Alto Sorocaba (SP). **Revista de estudos ambientais**. v. 10, n. 1, p. 6-20. 2008.

SANTOS, S.; OLIVEIRA, L. C.; SANTOS, A.; ROCHA, J. C.; ROSA, A. H. Poluição aquática. In: ROSA, A. H.; FRACETO, L. F.; CARLOS, V. M. (Org.). **Meio ambiente e sustentabilidade**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2012. p. 17-46.

SÃO PAULO. Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. Coordenadoria de Recursos Hídricos. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica: Roteiro para Elaboração e Fichas Técnicas dos Parâmetros**. São Paulo, 2017. Disponível em:

<<http://www.sigrh.sp.gov.br/relatoriosituacaodosrecursoshidricos>>. Acesso em 05 dez. 2017.

_____. **Lei Estadual nº 10.100, de 1º de dezembro de 1998.** Declara Área de Proteção Ambiental o entorno da represa de Itupararanga.

_____. **Lei Estadual nº 11.579, de 2 de dezembro de 2003.** Altera a Lei Estadual nº 10.100, de 1º de dezembro de 1998, ampliando o perímetro da APA.

SARDINHA, D. S.; CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M.; SALLES, M. H. D.; ANGELUCCI, V. A. Avaliação de balanço anual de cátions e ânions na bacia do Alto Sorocaba (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 4, p. 730-740, 2008.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. Bacia hidrográfica como objeto de investigação técnico-científica e como unidade de gestão ambiental. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2007.

SILVA, D. C. C. **Proposta metodológica para elaboração de um índice espacial de sustentabilidade ambiental aplicado a bacias hidrográficas.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, UNESP, Sorocaba, SP, 2016.

SILVA, D. C. C.; FILHO, J. L. A., OLIVEIRA, R. A.; LOURENÇO, R. W. Aplicação de Indicadores Ambientais para Análise da Água em Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, 2017a.

SILVA, D. C. C.; FILHO, J. L. A., OLIVEIRA, R. A.; LOURENÇO, R. W. Metodologia para análise do potencial de degradação dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 50, p. 455-466, 2017b.

SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A., ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; LOURENÇO, R. W. Caracterização morfométrica e suas implicações no acúmulo de sedimentos em reservatórios: O caso da Represa Hedberg, Iperó/SP. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 36, p. 225-247, 2016.

SMITH, V. H. The nitrogen and phosphorus dependence of algal biomass in lakes: Na empirical and theoretical analysis. **Limnology and Oceanography**, v. 27, n. 6, p. 1101-1112, 1982.

SMITH W. S.; PETRERE, J. M. Caracterização limnológica da bacia de drenagem do Rio Sorocaba, São Paulo, Brasil. **Acta Limnol Bras**, v. 12, n. 4, p. 15-27, 2000.

SMITH W. S.; PETRERE, J. M. Spatial and temporal patterns and their influence on fish community at Itupararanga Reservoir, Brazil. **Revista de biología tropical**, v. 56, n. 4, p. 2005-2020, 2008.

SPINELLI, M. V. P.; OLIVEIRA, R. M. C. M.; CARVALHO, H. P. D. S.; BRANDÃO, S. S. F.; ARAÚJO FRUTUOSO, M. N. M. Estudo Sustentável da Capacidade de Carga Antrópica e a sua Influência no Ponto de Equilíbrio da Resiliência Ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 185-199, 2016.

- STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; PACHECO, L.P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, 1301-1309, 2013.
- TABARELLI, M.; PINTO, L. P.; SILVA, J. M. C.; HIROTA, M. M.; BEDÊ, L. C. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 132-138, 2005.
- TANIWAKI, R. H.; ROSA, A. H.; CALIJURI, M. C.; MOSCHINI-CARLOS, V. Variação espacial do grau de trofia e da biomassa fitoplanctônica no reservatório de Itupararanga (São Paulo, Brasil). **Holos Env.** 11: 170-179, 2011.
- TANIWAKI, R. H.; ROSA, A. H.; LIMA, R.; MARUYAMA, C. R.; SECCHIN, L. F.; CALIJURI, M. do C. et al. A influência do uso e ocupação do solo na qualidade e genotoxicidade da água no reservatório de Itupararanga, São Paulo, Brasil. **Interciência**, v. 38, n. 3, p. 164-170, 2013.
- TIECHER, T. et al. Contribuição das fontes de sedimentos em uma bacia hidrográfica agrícola sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 639-649, 2013.
- TOLEDO JR.; A. P. **Informe preliminar sobre os estudos para obtenção de um índice para avaliação do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais**. São Paulo: CETESB, 1990. (Relatório Interno CETESB).
- TOLEDO JR.; A. P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. A aplicação de modelos simplificados para avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária, 1983, Camboriú. **Anais...** Camboriú: ABES, 1983.
- TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L. D.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.849-857, 2006.
- TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: CENGAGE Learning, 2012.
- THOMANN, R. V.; MUELLER, J. A. **Principles of surface water quality modeling and control**. Harper & Row, Publishers, 1987.
- THORTON, K.W. (1990). Perspectives on reservoir limnology. In: Thorton, K.W. Kimmel, B.L. & Payne, F.E. **Reservoir limnology: Ecological perspectives**. New York: John Wiley.
- TUCCI, C. E. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4ª edição. Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH, 2013.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos hídricos no século XXI**. Oficina de Textos, 2011.

VIDAL, T. F.; CAPELO NETO, J. Dinâmica de nitrogênio e fósforo em reservatório na região semiárida utilizando balanço de massa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 402–407, 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Editora: UFMG, 2005.

WETZEL, R.G.; LIKENS, G.E. **Limnological analyses**. New York: Springer –Verlage, 1991.