



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Campus Presidente Prudente

BEATRIZ ALVES UMBELINO

CONECTIVIDADE HIDRODINÂMICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA RIBEIRÃO LAJEADO – UGRHI 19, BAIXO
TIETÊ, DE 2001 - 2021

PRESIDENTE PRUDENTE - SP

2024



BEATRIZ ALVES UMBELINO

**CONECTIVIDADE HIDRODINÂMICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA RIBEIRÃO LAJEADO – UGRHI 19, BAIXO
TIETÊ, DE 2001 - 2021**

Dissertação de Mestrado Acadêmico
apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Geografia da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
FCT/UNESP – Presidente Prudente, como
requisito para a obtenção do título de
Mestre em Geografia.
Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Rocha.

PRESIDENTE PRUDENTE - SP

2024

U48c Umbelino, Beatriz Alves
Conectividade hidrodinâmica da Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado - UGRHI 19, Baixo Tietê, de 2001-2021 / Beatriz Alves Umbelino. -- Presidente Prudente, 2024
134 p. : tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente
Orientador: Paulo Cesar Rocha

1. Geotecnologias. 2. Limnologia. 3. Estatística multivariada. 4. Conectividade hidrológica. 5. Ribeirão Lajeado. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: “Conectividade hidrodinâmica da Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado - UGRHI 19, Baixo Tietê, de 2001-2021”

AUTORA: BEATRIZ ALVES UMBELINO

ORIENTADOR: PAULO CESAR ROCHA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Geografia, área: Produção do Espaço Geográfico pela Comissão Examinadora:

The gov.br logo consists of the text "gov.br" in a stylized, lowercase font, with "gov" in blue and ".br" in orange. To the right of the logo, the following text is displayed: "Documento assinado digitalmente", "PAULO CESAR ROCHA", "Data: 05/07/2024 16:56:30-0300", and "Verifique em <https://validar.iti.gov.br>".

Prof. Dr. PAULO CESAR ROCHA (Participação Virtual)
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/Unesp

Profa. Dra. RENATA RIBEIRO DE ARAÚJO (Participação Virtual)
Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/Unesp

Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE LEÃO BORDALO (Participação Virtual)
Faculdade de Geografia e Cartografia / Universidade Federal do Pará - UFPA

Presidente Prudente, 16 de março de 2024

DEDICATÓRIA

*A Deus,
aos meus pais e irmão
em memória dos meus avós.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pelas oportunidades e a paz que nele encontro e por proteger e iluminar cada passo de meu caminho. “Entrega o teu caminho ao Senhor; confia nele, e o mais Ele fará” Salmos 37:5.

Sou imensamente grata à minha família, meu pai Dirceu Umbelino, minha mãe Eleomilda de Almeida Alves Umbelino e ao meu irmão Guilherme Alves Umbelino que me apoiaram a dar seguimento à vida acadêmica com a oportunidade de realizar o mestrado acadêmico em tempos tão incertos de pandemia, meu início de mestrado, e a toda compreensão que tiveram em meus dias corridos de pesquisa e estudos. Obrigada por permitirem alçar voo e me mostraram o quanto é bom ter um ninho para voltar.

A todos os professores que contribuíram para minha formação tanto na graduação quanto na pós-graduação, todas as discussões contribuíram para meu crescimento intelectual e pessoal. Em especial, ao Profº. Dr. Paulo Cesar Rocha por ser meu orientador na monografia e nesta pesquisa de mestrado, obrigada pela disponibilidade, reuniões e todos os aprendizados!

Ao Laboratório de Geologia, Geomorfologia e Recursos Hídricos da FCT/UNESP por todas as vivências e amizades que construí neste espaço. À Aline e ao Jhonatan pela amizade, paciência e ajuda na elaboração deste trabalho e por me motivarem sempre.

A todos os amigos e familiares que estiveram comigo durante essa caminhada, vocês não me deixaram desistir e sempre acreditaram em mim, nesta pesquisa tem um pouco de mim e em mim tem um pouco de cada um de vocês.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e com apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

À FCT/UNESP pelo apoio institucional.

À todas as pessoas que me ajudaram neste percurso, direta e/ou indiretamente.

Muito Obrigada!

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar como o meio físico e o uso e cobertura da terra podem interferir nas variáveis limnológicas e nos parâmetros ambientais da água na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado, a partir de análise temporal e espacial. A área de estudos refere-se à Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado, manancial de água do município de Penápolis, pertencente à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 19, Baixo Tietê, localizada na região do Noroeste Paulista (Brasil). A pesquisa foi conduzida por meio da análise do meio físico e do uso e cobertura da terra (2001, 2006, 2011, 2016, 2021) na bacia hidrográfica, a partir da utilização integrada de sistema de informação geográfica para identificação das feições, assim como por meio da análise da água no canal fluvial principal, através da tomada de dados limnológicos medidos pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) no canal do Ribeirão Lajeado e disponíveis no sistema INFOÁGUA (CETESB), utilizando-se as 60 medidas relativas ao intervalo de tempo entre 2001 e 2021 dos dados de temperatura da água, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, potencial hidrogeniônico, turbidez, sólidos suspensos totais, fósforo total, nitrogênio total e coliformes termotolerantes. A integração dos dados da bacia hidrográfica e do canal fluvial foi realizada por meio de análise estatística multivariada, a fim de correlacionar as variáveis coletadas e de interpretação por meio da análise de conectividade. Ao longo dos 20 anos analisados, constatou-se a mudança significativa no uso e cobertura da terra, da pastagem para o cultivo temporário. Além disso, observou-se a sua relação com variáveis limnológicas que representam a alteração da qualidade ambiental (pH, OD, DBO (5,20), turbidez, nitrogênio, SST com a chuva diária e a cultura temporária, uso florestal e de pastagem na bacia hidrográfica), sendo conectadas pelo alto escoamento superficial assistido principalmente à montante da Bacia Hidrográfica e intensificado com os anos.

Palavras-chave: Geotecnologias; Limnologia; Estatística multivariada; Conectividade hidrológica; Ribeirão Lajeado.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate how the physical environment and land use and cover can interfere with limnological variables and environmental water parameters in the Ribeirão Lajeado river basin, based on temporal and spatial analysis. The study area refers to the Ribeirão Lajeado Hydrographic Basin, a water source in the municipality of Penápolis, belonging to the Water Resources Management Unit (UGRHI) 19, Baixo Tietê, located in the Northwest region of São Paulo (Brazil). The research was conducted through the analysis of the physical environment and land use and coverage (2001, 2006, 2011, 2016, 2021) in the river basin, based on the integrated use of a geographic information system to identify features, as well as through water analysis in the main river channel, through taking limnological data measured by CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) in the Ribeirão Lajeado channel and available in the INFOÁGUA system (CETESB), using the 60 relative measurements the time interval between 2001 and 2021 of data on water temperature, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, hydrogen potential, turbidity, total suspended solids, total phosphorus, total nitrogen and thermotolerant coliforms. The integration of data from the river basin and the river channel was carried out through multivariate statistical analysis, in order to correlate the collected and interpretation variables through connectivity analysis. Over the 20 years analyzed, there was a significant change in land use and coverage, from pasture to temporary cultivation. Furthermore, its relationship was observed with limnological variables that represent changes in environmental quality (pH, OD, DBO (5.20), turbidity, nitrogen, SST with daily rain and temporary culture, forestry and pasture use in the hydrographic basin), being connected by the high surface runoff seen mainly upstream of the Hydrographic Basin and intensified over the years.

Keywords: Geotechnologies; Limnology; Multivariate statistics; Hydrological connectivity; Ribeirão Lajeado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado	4
Figura 2. Fontes e processos de perda do oxigênio dissolvido na água	20
Figura 3. Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado e suas Sub-bacias de contribuição	38
Figura 4. Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado e seus afluentes	39
Figura 5. Fluxograma das atividades e metodologia de pesquisa	43
Figura 6. Localização da Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado com ponto de amostragem e área da Sub-bacia de drenagem	44
Figura 7. Mapa das Formações litológicas na Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado ...	53
Figura 8. Mapa dos aspectos geomorfológicos na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado	59
Figura 9. Hipsometria na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado	61
Figura 10. Declividade na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado	63
Figura 11. Distribuição dos principais tipos de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado	65
Figura 12. Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado em 2001	68
Figura 13. Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado em 2006	70
Figura 14. Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado em 2011	72
Figura 15. Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado em 2016	74
Figura 16. Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado em 2021	76
Figura 17. Distribuição das classes de Potencial de Escoamento Superficial na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado	78
Figura 18. Análise de agrupamento das variáveis limnológicas do Ribeirão Lajeado..	99
Figura 19. Análise de agrupamento das variáveis limnológicas e de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado	101
Figura 20. Análise de agrupamento das variáveis limnológicas (com amostragem em dias de chuva) e de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado	103
Figura 21. Análise de agrupamento das 60 amostragens limnológicas e de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado	105
Figura 22. Análise dos componentes principais, amostragem em dias com chuva.....	107
Figura 23. Análise dos componentes principais, total de amostragens	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Data das amostragens limnológicas e amostragens em dias com chuva	49
Tabela 2. Relação entre a utilização dos dados de uso e cobertura da terra e dados limnológicos e pluviométricos.....	50
Tabela 3. Porcentagem de classes geológicas relacionadas a área da bacia hidrográfica.	54
Tabela 4. Porcentagem de feições geomorfológicas relacionadas a área da bacia hidrográfica.....	60
Tabela 5. Porcentagem de classes hipsométricas relacionadas a área da bacia hidrográfica.....	62
Tabela 6. Porcentagem de classes clinográficas relacionadas a área da bacia hidrográfica.....	64
Tabela 7. Porcentagem de classes pedológicas relacionadas a área da bacia hidrográfica.....	66
Tabela 8. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas a área da Bacia Hidrográfica em 2001.....	69
Tabela 9. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas a área da Sub-bacia Hidrográfica em 2001.....	69
Tabela 10. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas a área da Bacia Hidrográfica em 2006.....	71
Tabela 11. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas a área da Sub-bacia Hidrográfica em 2006.....	71
Tabela 12. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas a área da Bacia Hidrográfica em 2011.....	73
Tabela 13. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas à área da Sub-bacia Hidrográfica em 2011.....	73
Tabela 14. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas à área da Bacia Hidrográfica em 2016.....	75
Tabela 15. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas à área da Sub-bacia Hidrográfica em 2016.....	75
Tabela 16. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas à área da Bacia Hidrográfica em 2021.....	77
Tabela 17. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas à área da Sub-bacia Hidrográfica em 2021.....	77
Tabela 18. Fatores de componentes principais	106
Tabela 19. Fatores de componentes principais	109

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Diagrama de dispersão da variável turbidez.....	48
Gráfico 2. Pluviometria diária (01/01/2001 a 31/12/2021)	55
Gráfico 3. Dados pluviométricos (diário e acumulado de 10, 15 e 20 dias).....	56
Gráfico 4. Quantidade de chuva diária e acumulada (10, 15 e 20 dias)	57
Gráfico 5. Conectividade superficial	79
Gráfico 6. Variação temporal da temperatura da água na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado	82
Gráfico 7. Variação temporal do oxigênio dissolvido na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado.	84
Gráfico 8. Variação temporal da demanda bioquímica de oxigênio na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado.....	86
Gráfico 9. Variação temporal do potencial hidrogeniônico na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado.....	88
Gráfico 10. Variação temporal da turbidez na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado	90
Gráfico 11. Variação temporal de sólidos totais na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado	92
Gráfico 12. Variação temporal de fósforo total na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado	94
Gráfico 13. Variação temporal de nitrogênio total na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado	96
Gráfico 14. Variação temporal de coliformes termotolerantes na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado.....	98

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	<i>Problemática da área de estudo</i>	2
2.	OBJETIVOS	5
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	6
3.1	<i>Aplicações de teoria de sistemas na análise ambiental</i>	6
3.2	<i>Conectividade: conceito e aplicação em estudos hidrológicos.....</i>	8
3.3	<i>Estudo ambiental em Bacias Hidrográficas</i>	10
3.4	<i>O ciclo hidrológico e o clima: elementos de estudo de Bacias hidrográficas.....</i>	13
3.5	<i>Estudos limnológicos</i>	15
3.7	<i>Os parâmetros utilizados</i>	17
3.8	<i>A relação homem/natureza: uso e ocupação do solo</i>	26
3.9	<i>Geotecnologias aplicadas ao estudo ambiental</i>	28
3.10	<i>A estatística multivariada como ferramenta na análise ambiental</i>	31
3.11	<i>Gerenciamento dos recursos hídricos: histórico e UGRHI 19</i>	33
4.	CARACTERIZAÇÃO REGIONAL DA ÁREA	39
5.	MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	42
5.1	<i>Uso de geotecnologias: as condicionantes do meio físico e do uso e cobertura da terra</i>	45
5.2	<i>Análise limnológica do canal fluvial Ribeirão Lajeado.....</i>	47
5.3	<i>Correlações entre as características do canal e da bacia hidrográfica e processos de conectividade.....</i>	49
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
6.1	<i>Análise da bacia hidrográfica: o meio físico</i>	52
6.2	<i>Análise do uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado: perspectiva temporal</i>	67
6.3	<i>Escoamento superficial presente na Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado.....</i>	78
6.4	<i>Análise das variáveis limnológicas do Ribeirão Lajeado</i>	81

6.5 <i>Análise estatística multivariada</i>	99
6.6 <i>Análise dos componentes principais</i>	106
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114

1. INTRODUÇÃO

A utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo permite o melhor planejamento dos recursos hídricos, pois por meio dela há a integração multidisciplinar entre diferentes sistemas de gerenciamento, estudos e atividade ambiental, quebrando com a abordagem tradicional compartimentada e não integrada. Dentre os recursos naturais de uma determinada bacia hidrográfica, a água destaca-se como o mais importante, visto que “foram suas propriedades anômalas, comparando com outros compostos, que possibilitaram o surgimento e a manutenção da vida na Terra” (Esteves, 1998, p. 28).

A qualidade ambiental da água é um termo que não se restringe à determinação de sua pureza, mas às características desejadas para os seus diversos usos. Para tanto, utiliza-se também o termo limnologia que, etimologicamente, vem do grego, em que *limne* significa lagos e *logos*, estudo. Por ter o caráter de ciência multidisciplinar, a limnologia é de fundamental importância para o estudo das propriedades dos corpos d’água, estabelecendo parâmetros e relações entre os elementos físico-químicos e biológicos da água.

A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 357/2005, instituiu parâmetros e variáveis a serem adotados nos processos de análise da qualidade e enquadramento dos corpos d’água em todo o território brasileiro. Desde a sua implantação, essa resolução vem sendo tomada como base em trabalhos acadêmicos para uso comparativo entre os resultados obtidos nas análises efetuadas (Cunha et al., 2013). Para tanto, o Índice de Qualidade das Águas (IQA) avalia a qualidade das águas doces de uma bacia hidrográfica utilizando os parâmetros: temperatura da água, potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez.

Ao analisar as características físicas, químicas e biológicas dos recursos hídricos, verifica-se uma relação destas com os usos da bacia hidrográfica, o que faz com que o compartimento água seja representativo das diversas atividades humanas desenvolvidas na bacia hidrográfica. (Moraes, 2001. p. 5)

A manutenção de um manancial hídrico, livre das degradações promovidas pela ocupação humana, é uma “garantia” de que ele seja capaz de produzir água em quantidade e qualidade adequadas para o abastecimento público (Dibieso, 2007). Conceitualmente, mananciais são todas as fontes de água, subterrâneas ou superficiais,

fluentes, emergentes ou em depósito, efetiva ou potencialmente utilizadas para o abastecimento público.

Busca-se, portanto, nesta pesquisa, analisar a evolução ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado, pertencente à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 19, localizada na região do Baixo Tietê, Noroeste Paulista (Brasil), considerando, para tanto, os últimos 20 anos (2001-2021). É importante ressaltar que a Bacia Hidrográfica em questão serve como único manancial para a cidade de Penápolis (SP).

A apropriação humana dos recursos naturais modifica o funcionamento do ecossistema, sendo agente decisivo na dinâmica do ambiente. Assim, consegue-se entender que a atuação do homem, nas suas diversas formas, sobre o meio ambiente interfere nos processos naturais, afetando assim todas as escalas ambientais presentes. O conhecimento do uso e cobertura da terra permite avaliar algumas alterações em relação à qualidade ambiental da água provocadas pela ação antrópica e fornece importantes informações para o manejo eficiente dos recursos naturais. Assim, pode auxiliar no planejamento regional de áreas degradadas.

A partir dos conceitos expostos e levando em consideração mecanismos como a análise integrada de elementos da paisagem nas bacias hidrográficas e a limnologia fluvial baseada nas variáveis que compõe o IQA, estudadas a partir da análise multivariada, da conectividade e das geotecnologias, pode-se obter uma análise eficiente e inédita dos sistemas ambientais. A utilização diversificada de elementos inter-atuantes investiga a complexidade e a dinâmica das relações entre o homem e o meio ambiente e entre fenômenos e elementos em seus diversos níveis.

1.1 Problemática da área de estudo

A escolha pela Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado deu-se em função da relevância das águas deste curso hídrico para o saneamento básico do município de Penápolis (SP) e pela estrutura organizacional, por meio do Consórcio Intermunicipal Ribeirão Lajeado (CIRL), que realiza há mais de 30 anos um trabalho de recuperação e conservação das águas nessa bacia hidrográfica, utilizando-se de manejo de solo nas propriedades rurais, manutenção das estradas rurais e restauração ecológica da mata

ciliar nas nascentes e áreas de preservação permanentes (Oliveira, 2019).

Penápolis é o único município do Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê – CBH – BT (composto por 42 municípios), que oferece 100% de água tratada e distribuída e esgoto coletado e tratado. O sistema de captação de água e os serviços de saneamento são administrados pelo Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Penápolis (DAEP), autarquia municipal criada em 1978, que, além de ser encarregada do planejamento e das ações de saneamento básico/ambiental, realiza diversas atividades para a preservação e recuperação dos recursos naturais, dentre estas, a educação ambiental de jovens e crianças (Moreira, 2016).

Estudos diagnósticos da região revelaram que as áreas de matas naturais foram reduzidas em mais de 90% na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado, dando espaço a sistemas agropastoris, em primeiro momento criação de gado e, com o aumento do setor sucroalcooleiro, a cultura da cana-de-açúcar. Tais atividades econômicas sem o manejo do solo levam a quadros de erosão e assoreamento no canal fluvial, comprometendo assim sua qualidade e sua quantidade d'água.

Com base nas informações do diagnóstico realizado na bacia em 2017, embora houve um aumento nas áreas conservadas, ainda restam 7,02 km² que necessitam de revegetação, sendo que 6,22 km² demandam revegetação com plantio direto de mudas e o restante pode ser recuperado apenas pela condução da regeneração natural. (Cirl, 2024).

Ao se trabalhar com bacias hidrográficas que servem de mananciais d'água, observa-se que a oferta para o abastecimento urbano está cada vez mais complexa, com aumento de transposições de rios e de sistemas integrados. Além disso, outro fator que deve ser evidenciado nesse caso é a necessidade de se pensar o saneamento básico como promoção da saúde e do aumento da qualidade de vida, expresso pela Agenda 2030, no objetivo 06 (assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos).

6.3 Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente

6.4 Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água

6.5 Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado

6.6 Até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos

6.b Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento (ONU, 2024)

A bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado está contida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos/UGRHI 19, no Comitê de Bacias Hidrográficas do Baixo Tietê (CBH-BT). Para o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SigRH), a bacia hidrográfica em questão também abrange a rede de drenagem do Ribeirão Bonito, porém, neste estudo, será abordada a área relacionada ao manancial d'água, sendo assim, considera-se somente o Ribeirão Lajeado como canal principal.

Esta bacia além de servir economicamente aos municípios de sua área de abrangência, ainda é a única fonte de abastecimento público do município de Penápolis, tornando-se, desta maneira, de uso imprescindível a esta região (DAEP, 2022).

A bacia hidrográfica ocupa uma área total de 1.062,03km², tendo o canal fluvial principal aproximadamente 58 km de extensão, desde suas nascentes no município de Alto Alegre até sua foz no rio Tietê, município de Barbosa (ANA, 2019) (figura 1).

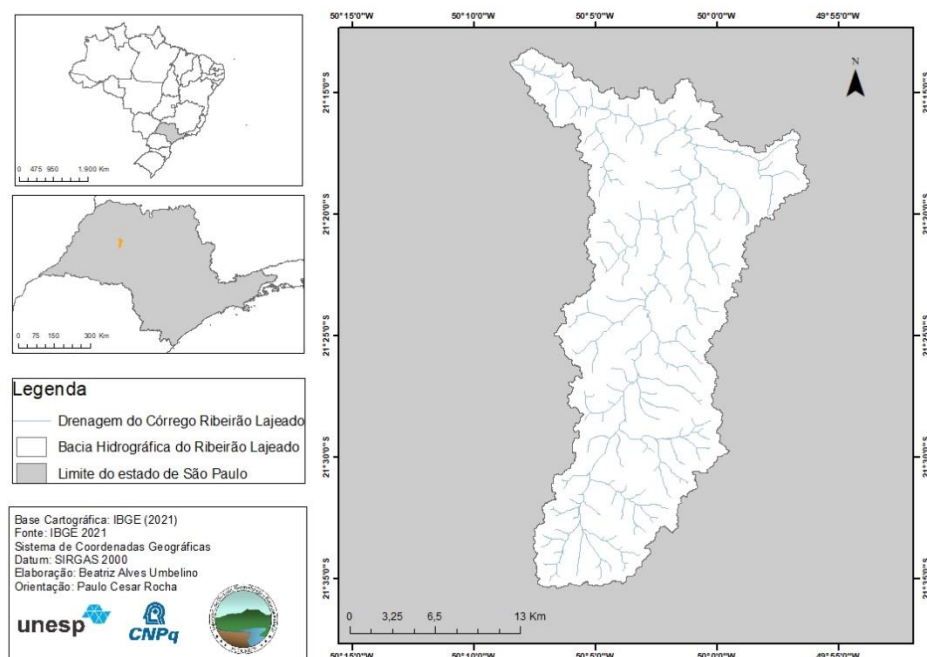


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo analisar as variáveis limnológicas no canal fluvial Ribeirão Lajeado que se relacionam com as condicionantes ambientais da sua bacia hidrográfica, Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado, na UGRHI 19, Baixo Tietê, numa perspectiva temporal e espacial, na ótica da conectividade hidrodinâmica.

Os objetivos específicos que subsidiam o objetivo geral basearam-se em:

- Analisar as características do meio físico e do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica escolhida, nas dimensões espacial e temporal;
- Analisar e avaliar o estado da água, por meio das variáveis limnológicas fornecidas pelo banco de dados públicos “INFOÁGUA” disponibilizado pela CETESB (SP) no canal fluvial do Ribeirão Lajeado, UGRHI 19;
- Avaliar as correlações entre as características limnológicas utilizadas com os tipos de uso e cobertura da terra e precipitação na área de drenagem à montante do ponto de monitoramento das variáveis limnológicas;
- Identificar a estrutura e função dos elementos de conectividade que integram o sistema canal fluvial e bacia hidrográfica por meio do escoamento superficial.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Aplicações de teoria de sistemas na análise ambiental

Os estudos de um sistema ambiental têm características holísticas, buscando o entendimento integral dos fenômenos ocorridos em sua perspectiva espacial e temporal. Para além disso, pretende-se o conhecimento das relações presentes entre as partes componentes de um ambiente e seus atributos, considerando para isso os elementos da paisagem que a compõe. Nesse sentido, há teorias sistêmicas que investigam e compreendem a função dos elementos e suas relações dentro do sistema estudado.

De acordo com Bertalanffy (1968), a Teoria do Sistema Geral – TGS é o “conjunto de unidades em inter-relações mútuas”. Morin (1977) argumenta que o sistema é “uma inter-relação de elementos que constituem uma entidade ou unidade global”. Para Tricart (1977), na Teoria ecodinâmica, o termo “sistema” é designado pelo:

[...] conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia. Esses fluxos originam relações de dependência mútua entre os fenômenos. Como consequência, o sistema apresenta propriedades que lhe são inerentes e diferem da soma das propriedades dos seus componentes. Uma delas é ter dinâmica própria, específica do sistema. (Tricart, 1977, p. 19)

Entender um sistema significa compreender as conexões presentes entre os elementos componentes, de modo que se ajustem em um todo. A investigação de qualquer parte do sistema deve ser sempre realizada em relação ao todo, e a mudança em um dos elementos provocará mudanças nos demais ou na totalidade do sistema, tendo em mente que o sistema integra seus elementos por meio de sua organização e da relação existente entre os elementos. A análise de sistemas ocupa-se, portanto, do reconhecimento explícito e da manipulação da complexidade no desenvolvimento de modelos abstratos; sendo um instrumento para a compreensão, como descrito por Odum (2010).

É considerado sistema aberto aquele que interage com o meio exterior. Essas interações processam-se através de trocas de energia e/ou informação e designam-se por *input* ou *output*. Os canais que veiculam o *input/output* de informação ou energia designam-se por canais de comunicação (Araújo e Gouveia, 2016). Os autores listam as

características dos sistemas abertos como:

[...] os sistemas (abertos) se caracterizam na sua generalidade pelos seguintes pontos: o todo é superior à soma das suas partes e tem características próprias; as partes integrantes de um sistema são interdependentes; sistemas e subsistemas relacionam-se e estão integrados numa cadeia hierárquica (nesta perspectiva pode encarar-se o universo como uma vasta cadeia de sistemas); os sistemas exercem auto regulação e controle, visando a manutenção do seu equilíbrio; os sistemas influenciam o meio exterior e vice-versa (através do *input/output* de energia e informação); a auto regulação dos sistemas implica a capacidade de mudar, como forma de adaptação a alterações do meio exterior; os sistemas têm a capacidade de alcançar os seus objetivos através de vários modos diferentes (Araújo; Gouveia, 2016, p. 9-10).

Tratando-se de sistemas ambientais, Tricart (1977) assegura que o conceito é o melhor instrumento lógico para se estudar os problemas ambientais:

Ele permite adotar uma atitude dialética entre a necessidade da análise – que resulta do próprio progresso da ciência e das técnicas de investigação – e a necessidade, contrária, de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse meio ambiente. Ainda mais, o conceito de sistema é, por natureza, de caráter dinâmico e por isso adequado a fornecer os conhecimentos básicos para uma atuação – o que não é o caso de um inventário, por natureza, estático. (Tricart, 1977, p. 19)

Christofolletti (1999) traz para a discussão a ideia de sistema complexo, caracterizando-o por grande quantidade de componentes que se relacionam entre si, capaz de trocar informações com o meio externo e de adaptar sua estrutura interna como sendo consequências ligadas a tais interações. O autor também contribui para o pensamento da teoria dos sistemas dinâmicos:

Na teoria dos sistemas dinâmicos, a complexidade significa não apenas a não linearidade, mas também uma diversidade elevada de elementos com muitos graus de liberdade. A emergente ciência da complexidade tem a ver com a estrutura e a ordem, procurando as regras básicas e os princípios comuns que fundamentam todos os sistemas e não apenas os detalhes de uma determinada categoria (Christofolletti, 1999, p. 3).

Entendendo os sistemas dinâmicos, Ross (2009) argumenta que as relações de troca energética, absolutamente interdependentes, não permitem, por exemplo, o entendimento da dinâmica e da gênese de elementos do meio físico como o relevo sem conhecer a litologia e seus respectivos arranjos estruturais ou o solo sem que se conheça o clima e a fauna sem associá-la a flora e o conhecimento do clima, da dinâmica das águas, dos tipos de solos, e assim sucessivamente.

Para Tundisi (2008), os sistemas aquáticos das bacias hidrográficas (variáveis dependentes) e os componentes do sistema terrestre (variáveis independentes) possuem

os rios como resultante do processo, que por sua vez, possui papel importante na formação de uma estrutura básica na heterogeneidade espacial do sistema. Isso demonstra que as apropriações pelo homem dos recursos ecológicos, rios, modificam o funcionamento do ecossistema, sendo agente decisivo da ecodinâmica do ambiente.

Os conceitos físicos e biológicos da organização dos canais fluviais têm sido tratados com uma aproximação holística, que interpreta sistemas lóticos como uma combinação interdependente entre as feições do modelado aquático e terrestre (Rocha, 2007).

3.2 Conectividade: conceito e aplicação em estudos hidrológicos

Tundisi descreve o conceito de conectividade como:

[...] possibilita compreender o grau de interdependência, bem como a covariância entre as funções de força, os processos biológicos e a distribuição espacial e temporal na bacia hidrográfica e nos lagos. A compreensão e a aplicação desses conceitos da Teoria Ecológica às bacias hidrográficas e suas interações com os lagos têm importância teórica, evidentemente, mas devem ser consideradas em função do manejo integrado do sistema, sua recuperação e sua exploração racional” (Tundisi, 2008, p. 310).

Para Bracken e Croke (2007) *apud* Santos (2009), o termo “conectividade” tem tido uma aplicação crescente em hidrologia e geomorfologia, podendo-se classificar os diversos estudos nestas áreas em três tipos principais:

Conectividade da paisagem, que trata do acoplamento das unidades de paisagem física dentro da bacia hidrográfica; conectividade hidrológica, que se refere à dinâmica da água entre unidades de paisagem e que gera algum tipo de resposta hidrológica; e conectividade sedimentológica, que diz respeito à transferência física de sedimentos e poluentes agregados através da bacia hidrográfica, com relação estreita com o conceito de “taxa de transferência de sedimentos” (sediment delivery ratio) (Santos, 2009, p. 94).

A conectividade da paisagem, segundo Merriam (1984), enfatiza a interação entre os atributos das espécies e a estrutura da paisagem na determinação dos movimentos da biota entre fragmentos de habitat. Em uma perspectiva mais geral de ecologia da paisagem, conectividade pode ser definida como o grau de facilidade ou impedimento que a paisagem representa, ao movimento dos organismos entre os fragmentos de recursos (Pringle, 2003).

Nesse contexto, ferramentas de geoprocessamento e análises estatísticas a partir de mapeamentos de uso e cobertura do solo auxiliam a avaliação do grau de fragmentação ou conectividade da paisagem. Pode-se supor que quanto mais fragmentada a paisagem, menor a conectividade entre os seus elementos, sobretudo em relação a processos de origem hidrológica e geomorfológica. Por outro lado, mesmo que fragmentada, quando analisado o uso ou cobertura do solo, a paisagem e seus fragmentos podem estar conectados pela rede de drenagem (Goerl et al, 2011).

Tricart (1977) argumenta que as intervenções humanas afetam primariamente a cobertura vegetal da paisagem. De modo geral, a presença de vegetação influencia os processos hidrológicos de uma bacia, como, por exemplo, através da interceptação pelo dossel florestal, amortecimento do impacto da água no solo e retenção de umidade pela serrapilheira, retardando ou desviando o escoamento superficial, induzindo e influenciando os processos erosivos e aumentando a transferência de água para a atmosfera.

Pringle (2003) afirma que o termo conectividade é utilizado para descrever as interações em paisagens fluviais, destacando que, nestes ambientes, estas interações possuem dimensão temporal, longitudinal, lateral e vertical. Além disso, o autor compreende a conectividade hidrológica como a interação feita pela água na transferência de matéria, energia e/ou organismos dentro ou entre elementos do ciclo hidrológico.

Dessa forma, pode-se afirmar a complexidade da conectividade hidrológica que relaciona nas escalas de tempo e espaço os padrões espaciais com a dinâmica da água na paisagem. Para tanto, a utilização de análise integrada serve para entender os padrões espaciais e suas relações com os mecanismos de geração de escoamento, evidenciando-se além dos processos hidrológicos também os condicionantes principais, oriundos dos demais atributos da paisagem (Santos, 2009).

A conectividade hidrológica pode ser analisada por métodos estáticos e/ou dinâmicos. Por estática, entende-se o estudo de padrões espaciais, como as “superfícies hidrologicamente similares” (Kirkby et al, 2002) que podem ser identificadas, classificadas e hierarquizadas a partir de atributos da paisagem e de sua localização e distribuição espacial. A combinação de elementos estáticos e dinâmicos de sistemas conectados (bacia hidrográfica e canal fluvial) oferece a conectividade hidrológica

realistas em paisagens naturais, sendo dessa maneira, mais difícil de quantificar (Bracken; Croke, 2007).

Os estudos de conectividade hidrológica têm se aprimorado nos últimos anos e seu alto potencial para fornecer uma abordagem integrada de sistemas complexos tem sido cada vez mais reconhecido. Pesquisa sobre conectividade hidrológica auxilia a melhor compreensão dos efeitos nas mudanças do sistema e, assim, fornece conhecimento crucial para gerentes e tomadores de decisão (Lexartza-Artza; Wainwright, 2009).

Quantificar a conectividade hidrológica e ecológica tem contribuído para a compreensão dos processos de transporte e dispersão e para a avaliação do potencial de degradação ou restauração do ecossistema (Larsen *et al*, 2012). Portanto, o desenvolvimento de análise de conjunto de dados multidisciplinares é necessário para uma melhor compreensão da conectividade em múltiplos espaços temporais, ajudando a modelar a dinâmica de tal sistema. Essa variação temporal da conectividade resulta em diferentes conjuntos de processos e morfologias (Jain; Tandon, 2010).

Pringle (2003) conceitua a conectividade como a capacidade de uma paisagem facilitar os fluxos entre os seus elementos. Em uma abordagem pautada na dinâmica dos processos hidrológicos, a conectividade hidrológica de uma paisagem pode ser definida como sendo a intermediação feita pela água na transferência de matéria, energia e/ou organismos dentro ou entre elementos do ciclo hidrológico.

3.3 Estudo ambiental em Bacias Hidrográficas

A formação da bacia hidrográfica dá-se através dos desníveis dos terrenos que direcionam os cursos da água, sempre das áreas mais altas para as mais baixas. É uma área geográfica e, como tal, mede-se em km².

Por bacia hidrográfica entende-se: região compreendida por um território e por diversos cursos d'água. Da chuva que cai no interior da bacia hidrográfica, parte escoar pela superfície e parte infiltra no solo. A água superficial escoar até um curso d'água (rio principal) ou um sistema conectado de cursos d'água afluentes; essas águas, normalmente, são descarregadas por meio de uma única foz (ou exutório) localizada no ponto mais baixo da região. Da parte infiltrada, uma parcela escoar para os leitos dos rios, outra parcela é evaporada por meio da transpiração da vegetação e outra é armazenada no subsolo compondo os aquíferos subterrâneos. (Sigrh, 2016).

Os rios são cursos naturais de água que se deslocam de um ponto mais alto (nascente) até atingirem a foz que pode ser no mar, lago, pântano ou outro rio. Os rios, aqui entendidos como ecossistema lótico, podem ser considerados sistemas abertos com estrutura tridimensional: longitudinal, lateral, vertical. Considerando que as três dimensões se modificam ao longo do tempo, Ward (1989) adiciona a dimensão espaço-temporal aos estudos ecológicos, sendo fundamental na compreensão da dinâmica de ecossistemas lóticos, englobando dessa maneira as teorias do contínuo fluvial (Vannote et al, 1980) e do pulso de inundação (Junk et al, 1989). Boon (1992) acrescenta aos estudos de Ward (1989) a dimensão conceitual humana nos estudos sobre sistemas lóticos, entendendo que a ação humana interfere no ecossistema lótico, transformando assim a teoria ecológica em pentadimensional, utilizada atualmente.

Já a área de drenagem corresponde à área inclusa entre divisores topográficos. A área é o elemento básico para o cálculo das outras características físicas. O sistema de drenagem de uma bacia é constituído pelo rio principal e seus tributários (ANA, 2021). Mota (1995) argumenta que o sistema de drenagem natural das águas é um importante aspecto que deve ser considerado no planejamento territorial de uma bacia hidrográfica. A bacia de drenagem é formada por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados, sendo a drenagem fluvial descrita como:

A drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que formam a bacia de drenagem, definida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial. A quantidade de água que atinge os cursos fluviais está na dependência do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e de seu regime, e das perdas devidas à evapotranspiração e à infiltração (Christofolletti, 1980, p. 102).

A classificação dos rios quanto à ordem reflete o grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia. Os cursos d'água maiores possuem seus tributários, que por sua vez possuem outros até que chegue aos minúsculos cursos d'água da extremidade. Normalmente, quanto maior o número de ramificações maiores serão os cursos d'água. Dessa forma, podem-se classificar os cursos d'água de acordo com o número de bifurcações (Pedrazzi, 2003). O estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema é importante, pois ele indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. O padrão de drenagem de uma bacia depende da estrutura geológica do local, tipo de solo, topografia e clima. Esse padrão também influencia no comportamento hidrológico da bacia (ANA, 2021).

Segundo Tundisi (2003), a bacia hidrográfica tem certas características

essenciais que a tornam uma unidade muito bem caracterizada e permitem a integração multidisciplinar entre diferentes sistemas de gerenciamento, estudos e atividade ambiental, quebrando com a abordagem tradicional compartimentada e não integrada. O autor contribui para o pensamento deste avanço, considerando três processos:

[...] os avanços no sistema de planejamento e gerenciamento das águas devem considerar processos conceituais (a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento e a integração econômica e social), processos tecnológicos (o uso adequado de tecnologias de proteção, conservação, recuperação e tratamento) e processos institucionais (a integração institucional em uma unidade fisiográfica, a bacia hidrográfica, é fundamental) (Tundisi, 2003, p.107).

A bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos segundo a Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Nela, além de adotar a bacia hidrográfica como unidade de estudo da interação entre a rede de drenagem e as populações locais, envolve o uso desses recursos e os impactos das atividades humanas para os usos múltiplos atuais e futuros da água, constituindo uma nova fase para os recursos hídricos brasileiros, integrando o Poder Público, os usuários e as comunidades no gerenciamento deste recurso.

Assim, pode-se dizer que as bacias hidrográficas são unidades fundamentais para o planejamento do uso e conservação ambiental e mostram-se vulneráveis às atividades antrópicas que podem originar impactos negativos ao meio ambiente.

A utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo permite o planejamento dos recursos hídricos, pois nesta pode-se levantar dados como de clima, relevo, geologia, hidrologia, uso e cobertura da terra e a qualidade da água, possibilitando assim a caracterização, classificação, os diagnósticos, prognósticos e o zoneamento ambiental do sistema (Moraes, 2001. p. 5).

Com a crescente degradação nas bacias hidrográficas, os ecossistemas aquáticos acabam servindo de depósitos de uma grande diversidade e quantidade de poluentes lançados pelo homem, sejam eles pelo ar, solo ou diretamente nas bacias. Assim, a poluição do ambiente aquático, provocada pelo homem, direta ou indiretamente, produz efeitos deletérios tais como: prejuízos aos seres vivos, perigo à saúde humana, efeitos negativos às atividades aquáticas (pesca, lazer, etc.) e prejuízo à qualidade de água com respeito ao uso na agricultura, indústria e outras atividades econômicas (Meybeck; Helmer, 1989).

A ocupação e o uso dos solos decorrentes de atividades humanas alteram sensivelmente os processos biológicos, físicos e químicos dos sistemas naturais. Essas

alterações ocorridas em uma bacia hidrográfica podem ser avaliadas através do monitoramento da qualidade das águas superficiais, uma vez que os rios recebem efluentes domésticos, industriais e águas oriundas da drenagem de áreas de agropecuária. Nos centros urbanos, a falta de um sistema de esgotamento sanitário contribui para que parte dos dejetos chegue aos rios e reservatórios. Já nas áreas agrícolas, o uso indiscriminado de fertilizantes e pesticidas é o maior causador de problemas com poluição dos cursos de água (Matos, 1960).

A redução na quantidade e qualidade dos recursos hídricos tornou-se preocupação em todo o mundo, incluindo países com grande disponibilidade de água, como o Brasil, uma vez que a disponibilidade desse recurso é um dos principais fatores que limitam o desenvolvimento socioeconômico de um povo (Coletti et al., 2010). A quantidade de água é dada pelas vazões dos cursos hídricos; já a qualidade é representada pelos compostos que nela se encontram, estando dissolvidos ou não.

3.4 O ciclo hidrológico e o clima: elementos de estudo de Bacias hidrográficas

O ciclo hidrológico pode ser definido como um fenômeno de circulação de água entre a atmosfera e a superfície terrestre, impulsionada pela energia solar associada à gravidade e rotação terrestre (Silveira, 2009). Por sua vez, a hidrologia é a ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e sua reação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas.

A interdisciplinaridade da hidrologia tem evoluído expressivamente devido aos problemas crescentes observados nas bacias hidrográficas, como a ocupação inadequada, o aumento significativo da utilização da água para diversos fins e principalmente em face dos resultados dos impactos sobre o meio ambiente. Tucci (1993) argumenta que o estudo da água era uma ciência basicamente descritiva e qualitativa, porém se transformou em uma área de conhecimento onde os métodos quantitativos têm sido explorados através de metodologias matemáticas e estatísticas, melhorando de um lado os resultados e do outro explorando melhor as informações existentes. Desta forma, o autor chega à conclusão que o desenvolvimento da ciência hidrológica tem sido influenciado por aspectos específicos do uso da água e controle de

desastres (Tucci, 1993).

Como a hidrologia está ligada diretamente ao uso da água, ao controle da sua ação sobre a população e ao impacto sobre a bacia hidrográfica, os estudos realizados visam ao melhor entendimento desses processos e a implantação de um planejamento adequado do uso da bacia hidrográfica. É importante salientar que, em nível global, o ciclo hidrológico pode ser considerado como um sistema fechado. A nível local, no entanto, é um sistema aberto, visto que o volume precipitado em uma região pode ter origem em áreas diferentes daquela onde ocorreu a precipitação (Botelho & Silva, 2004).

A bacia hidrográfica é o melhor espaço de avaliação do comportamento hídrico, pois tem definido o espaço de entrada, a bacia hidrográfica, o local de saída e a seção de rio que define a bacia hidrográfica (Tucci, 1993). A bacia hidrográfica também é fundamental para analisar o ciclo hidrológico, principalmente na sua fase terrestre, que engloba a infiltração e o escoamento superficial (Silveira, 1993).

Denomina-se ciclo hidrológico o processo natural de evaporação, condensação, precipitação, detenção e escoamento superficial, infiltração, percolação da água no solo e nos aquíferos, escoamentos fluviais e interações entre esses componentes. (Righetto, 1998).

É válido ressaltar que o ciclo hidrológico não é contínuo, com a água se movendo de uma forma permanente e com uma taxa constante, pois o movimento que a água faz em cada uma das fases do ciclo varia tanto no espaço como no tempo. O regime hidrológico de uma região é determinado por suas características físicas, geológicas e topográficas, e por seu clima. Os fatores climáticos mais importantes são a precipitação, principal “input” do balanço hidrológico de uma região, sua distribuição e modos de ocorrência, e a evaporação, responsável direta pela redução do escoamento superficial.

As fases do ciclo hidrológico, suas variabilidades e suas inter-relações requerem a coleta de dados básicos que se desenvolvem ao longo do tempo e do espaço. As respostas aos diversos problemas de hidrologia aplicada serão tão mais corretas quanto mais longos e precisos forem os registros de dados hidrológicos e limnológicos. Esses registros podem compreender dados de climatologia, pluviometria, fluviometria, evaporação, sedimentologia e de parâmetros de qualidade da água, obtidos em

instalações próprias, localizadas em pontos específicos de determinada região, em intervalos de tempo estabelecidos e com sistemática de coleta padronizada (Naghetini, 2012).

A disponibilidade de precipitação numa bacia hidrográfica durante o ano é um fator determinante para quantificar, entre outros, a necessidade de irrigação de culturas e o abastecimento de água doméstico e industrial. A determinação da intensidade de precipitação é importante para o controle de inundação e da erosão do solo. Por sua capacidade para produzir escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia (Bertoni; Tucci, 1993).

Outros fatores climáticos de suma importância são a temperatura, a umidade e o vento, principalmente pela influência que exercem sobre a precipitação e a evaporação. Esses fatores afetam a produtividade primária dos ecossistemas aquáticos, fundamental para a manutenção das cadeias alimentares, tendo grande influência no ciclo hidrológico nos fenômenos de evaporação e precipitação, principais responsáveis pela contínua circulação da água, tendo energia necessária por meio da radiação solar.

Tratando-se da precipitação total, há alteração das características físicas e químicas da água, ocasionando aporte de nutrientes e de material particulado. Já a pluviosidade provoca alterações na qualidade da água de acordo com a sazonalidade, podendo alterar ambiente oligotróficos. Além dos fatores citados anteriormente, a radiação solar é a que apresenta maior importância, pois participa dos processos de estratificação e desestratificação térmica, sendo dessa maneira a responsável pela distribuição de calor no curso d'água (Esteves, 1998).

3.5 Estudos limnológicos

A ciência limnológica pode ser definida como o estudo ecológico de todas os cursos d'água continentais, independentemente de suas origens, dimensões e concentrações salinas. Dessa forma, fazem parte de seu objeto de estudo lagos, lagoas, açudes, lagoas, represas, rios, riachos, áreas alagadas, águas subterrâneas, ambientes aquáticos temporários, nascentes, entre outros (Esteves, 1998).

Os rios são classificados como ambientes lóticos, ou seja, apresentam movimento, grande fluxo da água. Os estudos desse tipo de ecossistema têm como

objetivo entender os processos que regem o movimento e as transformações de energia e materiais dentro dos diferentes sistemas, lembrando que os rios podem ser considerados sistemas abertos, caracterizados pelos processos hidrológicos e geomorfológicos altamente dinâmicos, frente às mudanças climáticas e temporais, com estrutura tridimensional (longitudinal, lateral e vertical) (Odum, 2010).

O entendimento da dinâmica do sistema fluvial requer consideração do gradiente dos fatores físicos formado pelo trabalho de drenagem, assim têm-se o conceito de continuidade fluvial. O conceito da continuidade fluvial propõe que o entendimento da dinâmica do sistema fluvial requer consideração do gradiente dos fatores físicos formado pelo trabalho de drenagem. Assim sendo, a estrutura física juntamente ao ciclo hidrológico forma um arcabouço para respostas biológicas e resultam em padrões consistentes de estrutura e função de comunidades, carga de matéria orgânica, transporte, utilização e estocagem ao longo do curso de um rio (Vannote et al., 1980).

Para Tundisi (2008), a composição iônica das águas naturais depende, em grande parte, da geoquímica da bacia hidrográfica e de seus principais eventos: tipos de solo, usos e práticas agrícolas. Em relação aos rios, entende que o transporte de material pelos rios varia, evidentemente, com a declividade, a vazão e as diversas situações no continuum do rio. Além do mais, eles constituem uma estrutura básica na heterogeneidade espacial do sistema e elementos de ligação entre os compartimentos das bacias hidrográficas.

O autor argumenta que os “rios funcionam como detectores ou acumuladores de informações químicas, ecológicas e biológicas nos vários compartimentos”, levando em consideração que “a exploração e o uso da água desses sistemas pelo homem geraram processos adicionais de variabilidade química, física e, inclusive, biológica, tornando mais difícil a colonização e a manutenção de uma diversidade”.

Ao analisar as características físicas, químicas e biológicas dos recursos hídricos, verifica-se uma relação destas com os usos da bacia hidrográfica, o que faz com que o compartimento água seja representativo das diversas atividades humanas desenvolvidas na bacia hidrográfica. Dentro deste contexto, é possível verificar diferenças significativas no eixo longitudinal do rio (da nascente a foz), as quais são decorrentes da urbanização, industrialização, mineração e atividades agropastoris, que, direta ou indiretamente, promovem alterações na estrutura e funcionamento dos sistemas hídricos, com consequências finais para o próprio homem (Moraes, 2001. p. 5).

As características físicas do ambiente, os processos naturais e as formas de uso e cobertura da terra são os principais fatores que contribuem para a alteração física e química da água, através da disponibilização de resíduos orgânicos e compostos químicos de atividades antrópicas (Kenitiro; Bigarella, 1990).

As condições geológicas, geomorfológicas e da vegetação na bacia de drenagem, o desempenho dos ecossistemas terrestres e aquáticos e da ação humana, podem alterar a qualidade da água. As ações antropogênicas são as que possuem maior impacto devido aos lançamentos de cargas poluentes nos sistemas hídricos e a alteração do uso da terra acaba provocando intervenções diretas no sistema fluvial (Tucci, 2007).

3.7 Os parâmetros utilizados

Segundo o Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA) lançado pela Agência Nacional de Águas (ANA), no monitoramento da qualidade das águas, são acompanhadas as alterações nas características físicas, químicas e biológicas da água, provenientes de atividades antrópicas e de fenômenos naturais. Entretanto, não há procedimentos padronizados de coleta, frequência de coleta e análise das informações, visto a diversidade de órgãos que realizam o monitoramento.

Para a ANA (2021), uma rede de monitoramento de qualidade de água é constituída dos seguintes elementos:

Pontos de coleta, denominadas estações de monitoramento, definidos em função dos objetivos da rede e identificados pelas coordenadas geográficas; conjunto de instrumentos, utilizados na determinação de parâmetros em campo e em laboratório; conjunto de equipamentos utilizados na coleta: baldes, amostradores em profundidade (garrafa de Van Dorn), corda, frascos, caixa térmica, veículos, barcos e motores de popa; protocolos para a determinação de parâmetros em campo, para a coleta e preservação das amostras, para análise laboratorial dos parâmetros de qualidade e para identificação das amostras; estrutura lógica de envio das amostras: locais para o envio das amostras, disponibilidade de transporte, logística de recebimento e encaminhamento das amostras para laboratório (ANA, 2021, p. 44-45).

Para a realização deste, estudo foram utilizados como parâmetros de qualidade ambiental da água a temperatura da água, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, potencial hidrogeniônico, turbidez, sólidos suspensos totais, fósforo total, nitrogênio total e coliformes termotolerantes.

- **Temperatura da água**

Segundo Esteves (1998), a temperatura mede a intensidade de calor, sendo um parâmetro importante, pois influi em algumas propriedades da água (densidade, viscosidade, oxigênio dissolvido), com reflexos sobre a vida aquática. Pode variar em função de fontes naturais (energia solar) e fontes antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas).

A temperatura da água é resultado da radiação solar incidente sobre a água. Exerce grande influência nas atividades biológicas e no crescimento dos organismos; também determina os tipos de organismos que habitam o local, uma vez que estes têm uma faixa preferida de temperatura para se desenvolver. Se esse limite for ultrapassado, tanto para mais quanto para menos, os organismos são impactados e espécies mais sensíveis podem até mesmo ser extintas do local (Mota, 1995).

Sua importância como parâmetro de qualidade da água é que as elevações de temperatura aumentam as taxas das reações químicas e biológicas, diminuem a solubilidade dos gases e aumentam a taxa de transferência dos mesmos, o que pode gerar mau cheiro no caso da liberação de gases com odores desagradáveis (Von Sperling, 2005).

A temperatura desempenha um papel importante de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de parâmetros físico-químicos. Em geral, à medida que a temperatura aumenta de 0 a 30°C, a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam as solubilidades com a elevação da temperatura (Ferreira; Filho, 2012)

A temperatura influencia a química da água, ou seja, cursos de água fria têm maior capacidade de reter o oxigênio dissolvido do que a água quente. A temperatura também é a principal responsável por uma das características físicas da água: a densidade. As diferenças de temperatura geram camadas d'água com diferentes densidades, formando uma barreira física que impede que se misturem, e quando a energia do vento não é suficiente para misturá-las, o calor não se distribui uniformemente na coluna d'água, criando assim a estratificação térmica (Esteves, 1998).

- **Oxigênio dissolvido**

Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio (O₂) é um dos mais importantes na dinâmica e caracterização dos ecossistemas aquáticos. A atmosfera e a fotossíntese são as principais fontes de oxigênio na água. A perda desse gás relaciona-se com o consumo pela decomposição de matéria orgânica, perdas para a atmosfera, entre outros (Esteves, 1998).

Oxigênio dissolvido (OD): o teor de oxigênio dissolvido é um indicador de suas condições de poluição por matéria orgânica. Assim, uma água não poluída (por matéria orgânica) deve estar saturada de oxigênio. Por outro lado, teores baixos de oxigênio dissolvido podem indicar que houve uma intensa atividade bacteriana decompondo matéria orgânica lançada na água (Mota, 1995, p. 7).

O oxigênio dissolvido é vital para os seres aquáticos aeróbicos (dependentes de oxigênio). O nível de disponibilidade de oxigênio dissolvido na água depende do balanço entre a quantidade consumida por bactérias para oxidar a matéria orgânica e a quantidade produzida no próprio curso d'água através de organismos fotossintéticos, processos de aeração natural e/ou artificial (Gonçalves, 2011).

As principais fontes de oxigênio para o curso hídrico são a atmosfera, através da interface atmosfera-água, e a fotossíntese, que é a produção e liberação do oxigênio pelos organismos fitoplanctônicos e plantas aquáticas. O oxigênio dissolvido pode sofrer perdas através de diversos processos como a elevação da temperatura da água, consumo pela decomposição da matéria orgânica (oxidação), perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e a oxidação de íons metálicos (Fiorucci; Filho, 2005) (figura 2).

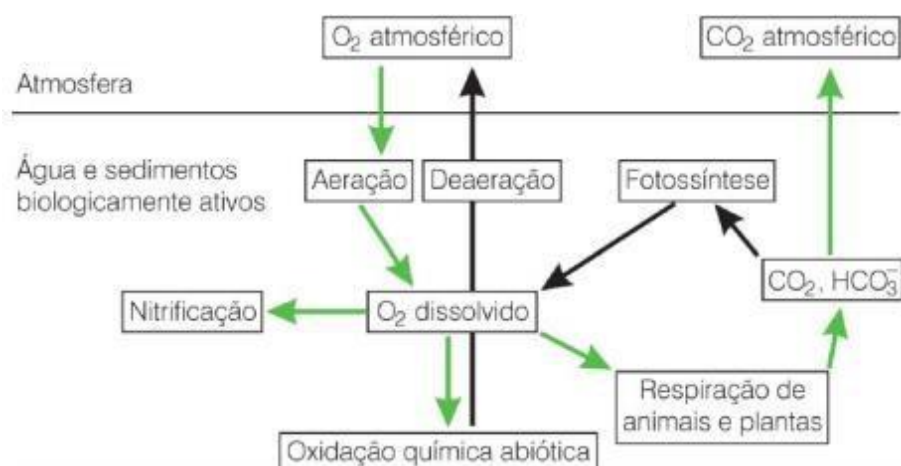


Figura 2. Fontes e processos de perda do oxigênio dissolvido na água
Fonte: Fiorucci; Filho (2005)

- **Demanda bioquímica de oxigênio**

A expressão Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) representa a quantidade de oxigênio molecular necessário à estabilização da matéria orgânica decomposta aerobicamente por via biológica (Mota,2012). Esse parâmetro é utilizado para exprimir o valor da poluição produzida por matéria orgânica, que corresponde à quantidade de oxigênio que é consumida pelos microrganismos do esgoto ou águas poluídas, na oxidação biológica, quando mantidos a uma dada temperatura por um espaço de tempo convencional.

Essa demanda pode ser suficientemente grande para consumir todo o oxigênio dissolvido da água, o que condiciona à morte de todos os organismos aeróbios de respiração subaquática. A morte de peixes em rios poluídos deve-se, também, à ausência de oxigênio e não somente à presença de substâncias tóxicas (Von Sperling, 2005).

A DBO é um bio ensaio que indica o consumo de oxigênio por organismos vivos (principalmente microorganismos) enquanto utilizam a matéria orgânica, em condições similares às encontradas na natureza. É considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo (padronizado em 5 dias) em uma temperatura de incubação específica (20°C). Os maiores aumentos da DBO em cursos d'água frequentemente estão associados a despejos de origem principalmente orgânica. A presença de alto teor de matéria orgânica pode induzir à completa extinção de oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixe e outras formas de vida aquática (Carvalho, 2005).

- **Potencial hidrogeniônico**

Conforme Deberdt (2000), o potencial hidrogeniônico (pH) é usado universalmente para expressar o grau de acidez ou basicidade de uma solução, ou seja, é o modo de expressar a concentração de íons de hidrogênio nessa solução. A escala de pH é constituída de uma série de números variando de 0 a 14, os quais denotam vários graus de acidez ou alcalinidade. Valores abaixo de 7 e próximos de zero indicam aumento de acidez, enquanto valores de 7 a 14 indicam aumento da basicidade (Ferreira; Filho, 2012).

Trata-se, portanto, de um dos parâmetros mais importantes e frequentemente utilizados na análise da água. Segundo Von Sperling (2005), os cursos d'água encontrados na natureza em sua maioria possuem valores de pH na faixa de 4 a 9, sendo a maioria ligeiramente básico.

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, de acordo com a legislação federal (Resolução nº 357 do CONAMA, de março de 2005). Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9 (Ferreira; Filho, 2012).

O pH influencia de maneira direta os processos bioquímicos, especialmente as trocas iônicas com o meio extracelular; dessa forma, processos de absorção e excreção de substâncias orgânicas e iônicas são diretamente afetados. Determinadas condições de pH têm efeito indireto e podem contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos. Além disso, o pH é fundamental para que os processos de coagulação, floculação, filtração e desinfecção ocorram eficientemente, para o tratamento da água para consumo humano, tendo a finalidade de conservar as redes de distribuição contra corrosões ou incrustações (Libânio, 2010).

O pH é um dos indicativos mais importantes de monitoramento de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos. A acidez exagerada pode ser um indicativo de contaminações, enquanto o excesso de solubilização de sais também pode tornar a água imprópria para consumo devido à elevada dureza (Baird; Cann, 2011).

- **Turbidez**

A turbidez é uma característica física da água decorrente da presença de substâncias em suspensão na coluna d'água, ou seja, é uma expressão da propriedade óptica que faz com que a luz seja espalhada ou absorvida e não transmitida em linha reta através da amostra. É a medida de redução da transparência, sendo determinante da sua condição e produtividade, conforme Von Sperling (2005).

Porto (2012), argumenta que a turbidez tem origem na degradação mecânica ou na transformação química ou biológica dos materiais e possuem conformação e tamanhos diferentes entre si, com tamanho oscilando entre 0,01 a 100 microns. O tamanho das partículas em suspensão varia dependendo do grau de turbulência do ambiente e o aumento da quantidade desses materiais particulados aumentam a cor.

A turbidez é uma característica da água devido à presença de partículas suspensas com tamanho variando desde suspensões grosseiras aos colóides, dependendo do grau de turbidez. Pode ser causada por detritos orgânicos, algas, bactérias e plâncton em geral. A presença dessas partículas provoca a dispersão e a absorção da luz, dando à água uma aparência nebulosa, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa (Richtter; Azevedo Netto, 2002).

Alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente seus usos doméstico, industrial e recreacional (CETESB, 2009). O tamanho das partículas em suspensão varia dependendo do grau de turbulência do ambiente, provocando a dispersão e absorção da luz.

- **Sólidos suspensos totais**

Os sólidos totais podem ser classificados de acordo com o seu tamanho, as suas características químicas e a sua decantabilidade: sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos, sólidos voláteis, sólidos fixos, sólidos em suspensões sedimentáveis e sólidos em suspensão não sedimentáveis. Os constituintes dissolvidos representam sólidos em solução verdadeira e constituem a salinidade total das águas (Von Sperling, 2005).

Os sólidos suspensos totais são toda matéria que permanece após um processo de evaporação, secagem ou calcinação da amostra durante um determinado tempo e temperatura, podendo ser, também, denominados de Resíduo Suspenso Total.

Em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água. A água com demasiado teor de sólidos dissolvidos totais não é conveniente para o uso, qualquer que seja. Quando contém menos de 500 mg/L, é considerada satisfatória para o uso doméstico e para muitos fins industriais. Já acima de 1000 mg/L, contém minerais que lhe conferem um sabor desagradável e a torna inadequada para diversos usos (Carvalho; Oliveira, 2003).

Sólido suspenso total é o material particulado não dissolvido, suspenso no corpo de água, composto por substâncias orgânicas e inorgânicas. Estas partículas influenciam na diminuição na transparência da água, impedindo a penetração da luz, provocando alterações dos parâmetros de turbidez (Silva; Hermes, 2004). Esse material particulado não dissolvido na água pode ter origem natural ou antrópica (Gonçalves, 2011).

A determinação dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos totais é utilizada nos estudos de controle de poluição das águas naturais, caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais e no controle de sistemas de tratamento de esgotos, resultando em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos dissolvidos e em suspensão) e com relação à natureza química (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos) (Esteves, 1998).

- **Fósforo total**

A importância do fósforo nos sistemas biológicos é notória, e deve-se à sua participação em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos (armazenamento de energia e estruturação da membrana celular) (Esteves, 1998). Dessa maneira, o fósforo pode ter origens naturais e/ou artificiais. Na maioria dos cursos d'água, o fósforo pode ser fator limitador da produtividade podendo conduzir à eutrofização do canal em que se encontra, modificando suas características físicas, químicas e biológicas (Lamparelli, 2004).

O fósforo é um nutriente essencial para todas as formas de vida. Ele aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. Nestes, os

detergentes constituem a principal fonte, além da própria matéria fecal, que é rica em proteínas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais (IAP, 2005).

A dinâmica do fósforo está intimamente ligada aos sedimentos aquáticos, a retenção ou liberação a partir do sedimento estão altamente correlacionadas às condições de oxirredução na interface água-sedimento. O fósforo pode ser encontrado na água na forma orgânica (matéria orgânica dissolvida e particulada da biomassa) e inorgânica (fração solúvel representada pelos sais dissolvidos de fósforo e fração insolúvel formada por minerais) e seus em conjunto com os de clorofila a e transparência da água são de grande importância para se determinar o estado trófico dos cursos de água (Esteves, 1998).

- **Nitrogênio total**

De acordo com Esteves (1998), o nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Isso se deve principalmente ao fato de esse elemento participar da formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. A presença desse elemento em baixas concentrações pode se tornar um fator limitante para a produção primária em ecossistemas aquáticos.

As principais fontes naturais de nitrogênio são o material orgânico e inorgânico de origem alóctone e a fixação de nitrogênio molecular dentro do próprio ambiente. O nitrogênio está presente nos ambientes aquáticos sob várias formas, sendo as principais o nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4^+) entre outros. Já o nitrogênio total representa a soma das concentrações de nitrato, nitrito, amônio e nitrogênio orgânico (Von Sperling, 2005).

O nitrogênio é um constituinte de proteínas, clorofila e vários outros compostos biológicos. As fontes de contaminação desse composto em cursos d'água são de origem natural ou antropogênica, sendo a última a mais importante, pois é constituída por despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes (Howarth et al., 2000).

O principal problema relacionado a altas concentrações de nitrogênio é a eutrofização. Por ser um elemento indispensável ao crescimento de algas e, estando em

elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos, causando interferências aos usos desejáveis do curso d'água, gerando problemas como gosto e odor, redução de oxigênio e transparência, declínio da pesca, mortandade de peixes, obstrução de cursos d'água e efeitos tóxicos sobre animais e seres humanos (Camargo; Alonso, 2006)

- **Coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli***

Os ambientes aquáticos são habitados por diversos tipos de bactérias que são importantíssimas para a autodepuração do rio, pois se alimentam de matérias orgânicas, consumindo a carga poluidora que é lançada nestes cursos de água (processo de decomposição) (Odum, 1988).

Os coliformes fecais também são conhecidos como coliformes termotolerantes, pois toleram temperaturas acima de 40°C e reproduzem-se nessa temperatura em menos de 24 horas. As bactérias do grupo coliforme constituem o indicador de contaminação fecal mais comum, sendo aplicadas como parâmetro bacteriológico básico na caracterização e na avaliação da qualidade das águas em geral (Von Sperling, 2005).

As bactérias coliformes termotolerantes ocorrem no trato intestinal de animais de sangue quente e são indicadoras de poluição por esgotos domésticos (Pelczar, 1997). Elas não são patogênicas, mas sua presença em grande número indica a possibilidade da existência de microrganismos patogênicos que são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica como, por exemplo, desintéria bacilar, febre tifoide e cólera (CETESB, 2006).

Estudos como os realizados por Hamilton et al (2005) e Garcia-Armisen et al (2007) mostram que *E. coli* é a bactéria predominante do grupo dos coliformes termotolerantes, encontrando proporções variáveis entre 84% e 104%, para as concentrações desses microrganismos e correlações elevadas entre eles (CETESB, 2008). Assim, Resolução CONAMA 357/2005, que dispõe sobre a classificação de cursos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, utiliza os coliformes termotolerantes como padrão de qualidade microbiológica, mas permite sua substituição pela *Escherichia coli*, de acordo com critérios estabelecidos pelo órgão ambiental

competente (BRASIL, 2005).

3.8 A relação homem/natureza: uso e ocupação do solo

Geografia é a ciência “que busca a compreensão do espaço produzido pela sociedade, suas desigualdades e contradições, as relações de produção que nele se desenvolvem, bem como a apropriação que essa sociedade faz da natureza” (Castrogiovani; Goulart, 1990). Segundo Moreira (2009), a relação sociedade e natureza constitui a totalidade de referência dos fenômenos em Geografia, representando o fundamento, o conteúdo primeiro, a matéria-prima e a realidade, a partir da qual e sobre a qual a ciência geográfica desenvolveu sua compreensão de mundo.

Andrade (1922) afirma: a preocupação central da Geografia é a formação da sociedade e os tipos de intervenção que esta sociedade executa na natureza[...]. A sociedade é quem determina as metas a serem atingidas, o tipo de espaço que deseja construir, modificando, transformando este desejo à proporção que mudam as formas de relação e as disponibilidades de capital e de técnica. É bem verdade que a sociedade não pode transformar a natureza arbitrariamente, da forma que se desejar, mas tem grande capacidade de modificá-la (Andrade, 1922).

Partindo de uma visão crítica, entendemos a natureza a partir de uma perspectiva marxiana, trazida por Caseti (1991). Segundo o autor

A natureza sempre é relacionada material e idealmente com a atividade social. A “primeira natureza” é entendida como aquela que precede a história humana. Portanto, onde as propriedades geológicas encontram-se caracterizadas por um equilíbrio climático, entre o potencial ecológico e a exploração biológica. [...] Essa natureza deve ser entendida ao longo do tempo geológico, desde o pré-cambriano até o “alvorecer” da existência humana. Portanto, toda transformação e modificação acontecida encontra-se inserida numa escala de tempo geológico, normalmente imperceptível numa escala de tempo humana. (Caseti, 1991, p. 12)

Assim, Caseti (1991) afirma que a investigação das formas de ocupação se dispõe exatamente de acordo com a dinâmica dos processos físicos e dos agentes sociais acerca do modelado de superfície em que estão inseridos. Ou seja, a partir da chegada do ser humano e seu processo de ocupação há modificações na natureza. A modernização, o intenso processo capitalista, o aumento das populações, das cidades, do consumo, dos produtos, a globalização, são alguns dos fatores que vão, involuntariamente, dando margens à depreciação da natureza naturata (Santi, 2015).

Ao se tratar de questões ambientais, observa-se uma crescente preocupação, consciência, sobre o tema a partir de 1970, devido à ampla cobertura de assuntos ambientais na imprensa popular. Tanto as comunidades científicas e governamentais, como a sociedade civil, passaram a entender e prezar pela necessidade fundamental de se entender o meio em que se vive de forma a tentar recuperar e proteger a biodiversidade mundial, garantindo um meio ambiente saudável e sustentável às presentes e às futuras gerações.

A apropriação do relevo e rede de drenagem de bacia hidrográfica possui como consequências negativas para a sociedade assim como para o ambiente o desmatamento seguido do manejo inadequado do solo, fazendo com que dificilmente sua biodiversidade seja recuperada sozinha, aumentando a possibilidade de ocorrer poluição das águas, solos, atmosférica e do lençol freático.

A ocupação das vertentes é a grande responsável pela forma atual em que se encontra o leito fluvial. É ela que fornece boa parte do material responsável pela sua modelagem, podendo provocar no canal a gradação de material ao fundo ou a degradação dele, para tanto a energia cinética da água e a qualidade dos sedimentos transportados serão fundamentais neste processo. Dessa maneira, a conformação das vertentes (tamanho, orientação, forma e processos) juntamente com modo de utilização do solo (cobertura) fornecerá quantidade e qualidade da água nos canais fluviais (Matos, 2014).

Com a retirada da cobertura vegetal original e esse modo de uso “intensivo do solo”, a floresta não consegue se reconstituir, havendo assim, modificações nas condições hidrológicas, acarretando a deteriorização radical dos solos. “A derrubada acelera a lixiviação, ao mesmo tempo em que priva o solo da matéria orgânica. Daí resulta uma modificação na estrutura do solo, pois tornando mais difícil a circulação do ar, vai ser diminuída a atividade dos colóides” (Monbeig, 1984). Esta nova dinâmica também favorece o aparecimento do material rochoso em todos os níveis topográficos (topos, vertentes e fundos de vale) tornando-o mais susceptível a erosão e transporte de seu material.

Os processos de degradação resultantes das atividades humanas nas bacias hidrográficas podem causar o assoreamento e a homogeneização do leito dos rios e córregos, aumentando a eutrofização artificial e diminuindo a diversidade de habitats e microhabitats, perdendo, portanto, sua qualidade ambiental (Goulart; Callisto, 2003).

Assim, demanda a compreensão da complexidade do processo de apropriação, produção e consumo do espaço, que é um processo no qual se produzem e/ou reproduzem relações sócio espaciais e se reproduzem relações dominantes de produção e de reprodução como parte integrante das relações societárias com a natureza. As relações de produção entre os homens determinam a relação com a natureza, conseqüentemente, a crise ambiental não se refere apenas aos problemas da natureza, meio físico, mas também à ação societária (Rodrigues, 1998).

A questão ambiental traz à tona uma crise societária, resultado de um processo histórico, no qual se estabeleceu uma relação conflituosa, predatória e contraditória entre sociedade e natureza. O agravamento dessa relação ocorre ao se tentar submeter a humanidade a uma mesma lógica mercantil e a um mesmo estilo de vida, com as quais a sociedade capitalista moderna colocou em risco o planeta (Moreira, 2021).

O sistema econômico capitalista baseado no consumismo é incompatível com a evolução da sociedade de maneira sustentável por levar ao esgotamento e deterioração dos recursos ambientais, fazendo ruir a economia. O desenvolvimento de uma economia sustentável deve levar em conta a busca do conhecimento e sua difusão através da educação e da adaptação da cultura à preservação ambiental de forma regionalizada.

3.9 Geotecnologias aplicadas ao estudo ambiental

O levantamento e o mapeamento das degradações sofridas pelo meio ambiente são importantes no conhecimento da realidade do uso e cobertura da terra e suas relações com as áreas de proteção permanentes, pois permitem estudos e planejamentos de atividades urbanas e rurais, bem como fornecem indicação de áreas propícias à exploração agrícola, pecuária ou florestal, previsão de safras e planejamento urbano (Silveira et al, 2010).

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isso era feito apenas em documentos e mapas em papel, o que impedia uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento simultâneo da tecnologia de Informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do geoprocessamento

(Câmara, 2001).

No que tange às geotecnologias, pode-se dizer que constituem o conjunto de tecnologias para coleta, armazenamento, edição, processamento, análise e disponibilização de dados e informações com referência espacial geográfica (Câmara; Monteiro, 2001).

No rol das geotecnologias estão o geoprocessamento, SIG (GIS, SGI) – Sistemas de Informações Geográficas, Cartografia Digital ou Automatizada, Sensoriamento Remoto por Satélites, Sistema de Posicionamento Global (ex. GPS), Aerofotogrametria, Geodésia, Topografia Clássica, entre outros. Dentre as geotecnologias destaca-se o geoprocessamento, principalmente na constituição de Sistemas de Informações Geográficas – SIGs (Zaidan, 2017, p. 198).

O uso de geotecnologias constitui uma importante ferramenta no gerenciamento dos recursos hídricos e na análise ambiental, pois permite avaliar a área de determinada bacia hidrográfica a ser estudada, como a situação da cobertura vegetal e a ocupação do solo, organizar e manipular tanto dados vetoriais quanto matriciais dentro de um banco de dados georreferenciados (Encina et al., 2018).

A Geografia é uma ciência antiga. O Processamento Eletrônico de Dados, ao contrário, é um campo de conhecimento recente. Nesse contexto, os Sistemas de Informações Geográficas, utilizando o Geoprocessamento, constituem uma estrutura de interface entre a Geografia, o Processamento de Dados e a Comunicação (Xavier da Silva, 2001).

Segundo Ibrahim (2014), o geoprocessamento é um conjunto de técnicas, métodos e ferramentas que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, influenciando e proporcionando a análise de recursos naturais, o transporte, as comunicações, a energia, o planejamento urbano, entre outros aspectos.

Para a manipulação de dados, o geoprocessamento utiliza um conjunto de técnicas ligadas à informação espacial, como: topografia, cartografia, sensoriamento remoto (SR), Sistema de Informação Geográfica (SIG) e sistema de posicionamento global (GPS).

Câmara e Monteiro (2001) argumentam que o Geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar, que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos. Ou ainda, que “o espaço

é uma linguagem comum” para as diferentes disciplinas do conhecimento.

As informações adquiridas com o processamento são utilizadas para a correta tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, visando a um desenvolvimento que não coloque em risco os sistemas naturais que sustentam a vida na Terra: a atmosfera, as águas, os solos e os seres vivos. Dessa maneira, o geoprocessamento tem papel fundamental nos estudos geográficos (Ibrahin, 2014).

Os SIGs (Sistemas de Informações Geográficas) podem ser considerados uma das geotecnologias que se encontram dentro do ramo de atividades do geoprocessamento. Existe uma tendência de se confundir o termo SIG com um simples software. Um SIG é um sistema constituído e operacional. Uma definição clássica de SIG seria a de um sistema automatizado de coleta, armazenamento, manipulação e saída de dados cartográficos (Burrough; Mcdonnell, 1998 apud Zaidan, 2017).

O SIG engloba em sua definição vários aspectos já abordados na definição de Geoprocessamento. Pode ser definido como um sistema composto por softwares e hardwares que estão submetidos a uma organização de pessoas interligadas para um mesmo fim, que se utilizam de dados georreferenciados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, a edição, o processamento, a análise e a disponibilização, visando a possibilidade de planejar e monitorar questões ligadas ao espaço físico geográfico através dos produtos gerados pelo sistema, que são arquivos digitais contendo Mapas, Gráficos, Tabelas e Relatórios convencionais (Zaidan, 2017, p. 200).

O objetivo geral de um sistema de informação geográfica é, portanto, servir de instrumento eficiente para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de mapas, possibilitando: integrar em uma única base de dados informações representando vários aspectos do estudo de uma região; permitir a entrada de dados de diversas formas; combinar dados de diferentes fontes, gerando novos tipos de informações; gerar relatórios e documentos gráficos de diversos tipos (Rosa, 2013).

A evolução dos SIGs está atrelada à progressão dos recursos da informática. O aumento da capacidade de armazenamento e processamento, a diminuição dos custos de hardware e software e, particularmente, a melhoria da interface com o usuário foram responsáveis diretos pela incorporação da tecnologia nos segmentos de pesquisa e ensino. (Queiroz, 2002, p. 115).

Além disso, os SIGs possibilitam de forma rápida a geração de mapas temáticos e relatórios. As atualizações gráficas e cadastrais são feitas diretamente no SIG através do banco de dados. Assim, essa tecnologia vem sendo uma importante ferramenta para a visualização e a análise da informação espacial, sendo usada extensivamente em aplicações como a cartografia de uso da terra, análise e planejamento, análise

geodemográfica (localização de serviços), cartografia de redes de infraestruturas (gás, água e energia elétrica) e em múltiplas aplicações de gestão de recursos naturais (Gonçalves, 2011).

Outra ferramenta importante para o geoprocessamento é o sensoriamento remoto, que seria, segundo Rosa (2003), a forma de obter informações de um alvo, sem que haja contato físico com o mesmo. Desse modo, consideram-se produto de sensoriamento remoto desde fotografias aéreas ou terrestres até as imagens orbitais de satélites espaciais.

Florenzano (2002) afirma que o termo Sensoriamento refere-se à obtenção de dados, e Remoto, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita a distância, ou seja, sem contato físico entre o sensor e a superfície terrestre. As principais aplicações do sensoriamento remoto na geografia estão na elaboração de mapas de uso ecobertura da terra, no planejamento urbano e ambiental, no estudo das alterações temporo-espaciais, etc. Assim, o sensoriamento remoto se torna uma importante ferramenta no que diz respeito ao monitoramento e quantificação de áreas, esta vem dar uma importante contribuição aos instrumentos de gestão dos recursos hídricos (Gonçalves, 2011)

3.10 A estatística multivariada como ferramenta na análise ambiental

Estatística é a ciência que tem por objetivo orientar a coleta, organização, descrição, análise e interpretação de dados, e sua utilização na tomada de decisões.

A estatística descritiva corresponde aos procedimentos relacionados com a coleta, elaboração, tabulação, análise, interpretação e apresentação dos dados. Já a estatística indutiva ou inferencial parte de um conjunto ou subconjunto de informações (subconjuntos da população ou amostra) e conclui sobre a população. Utiliza técnicas como a teoria das probabilidades, amostragem, dentre outras.

Uma alternativa muito utilizada em estudos ambientais para analisar as relações que ocorrem nos cursos hídricos é a técnica estatística multivariada, que corresponde à estatística descritiva. Hair Jr et al. (2009) definiram a análise multivariada como sendo todas as técnicas estatísticas que simultaneamente analisam múltiplas medidas sobre indivíduos ou objetos sob investigação. Segundo Neto (2004), a complexidade

matemática, própria dos métodos multivariados, remete ao uso do software estatístico o trabalho do cálculo.

A qualidade da água é considerada um fenômeno multivariado devido aos vários parâmetros existentes que são utilizados para caracterizar a qualidade de um curso hídrico (Landwehr, 1979). Um desenvolvimento notável nos últimos anos tem sido a introdução da análise estatística multivariada para discernir os parâmetros importantes para a avaliação do IQA (Lumb et al, 2011).

Através do uso dessa ferramenta é possível agrupar variáveis similares, investigar a dependência entre variáveis agrupadas, relacionar variáveis observadas objetivando prever uma ou mais variável, além de construir testes de hipóteses (Ferreira, 1996). Os métodos estatísticos multivariados podem ser empregados em dados coletados ao longo do tempo e em vários locais dentro de uma bacia hidrográfica para melhor compreender as relações entre os parâmetros monitorados (Olsen et al, 2012).

A realização de um monitoramento temporal consistente envolve a determinação de muitas características da água em vários períodos, o que gera um grande número de informações correlacionadas. Todavia, apenas uma pequena quantidade desses dados pode conter informações relevantes, enquanto a maioria das variáveis pouco pode adicionar em termos de informações importantes para caracterização da qualidade das águas (Andrade et al., 2007a). Tal fato frequentemente torna difícil a interpretação dos dados coletados para adoção de medidas mitigadoras dos impactos ambientais sofridos pelas bacias hidrográficas.

Os trabalhos de formulação ou aprimoramento de índices aplicando técnicas estatísticas incluem análise de fatores, análise de componentes principais e análise de agrupamento. A análise de componentes principais (ACP), análise fatorial (AF) e análise de cluster (AC) ou análise de agrupamento, são análises multivariadas que ajudam na interpretação das relações de dados complexos para entender melhor a qualidade da água e o estado ecológico dos sistemas estudados. Além disso, permitem a identificação de possíveis fatores que influenciam o ecossistema aquático e oferecem uma ferramenta valiosa para a gestão segura de água (Gholikandi et al., 2012).

Análise de agrupamentos, ou análise de conglomerados, classificação ou cluster, é uma técnica multivariada que tem como objetivo dividir os elementos da amostra em

grupos, de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo sejam similares entre si em relação às características que neles foram medidas, e os elementos pertencentes a grupos diferentes sejam heterogêneos em relação a essas mesmas características (Mingoti, 2005). Os grupos não são pré-definidos, a técnica de análise de agrupamentos é utilizada para identificar os grupos (Hair Jr et al., 2009).

Esse tipo de análise permite reduzir a informação contida em um número de variáveis originais, em um conjunto menor de variáveis estatísticas (fatores) com perda mínima de informação (Hair et al., 2005). Possibilita, ainda, identificar as variáveis que são responsáveis pela dispersão das observações e evidenciar possíveis agrupamentos, de acordo com seu grau de similaridade ou dissimilaridade (Andrade; Silveira; Azevedo, 2003).

Por meio das componentes principais, é possível selecionar aquelas características de maior participação em cada componente e definir as características físico-químicas da água que deverão ser monitoradas, reduzindo-se, assim, os custos com análises de características de menor importância na qualidade das águas.

3.11 Gerenciamento dos recursos hídricos: histórico e UGRHI 19

A aprovação da Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Recursos Hídricos, constitui o marco inicial de uma nova fase para os recursos hídricos brasileiros. Nela constam os cinco instrumentos considerados essenciais à gestão das águas: o Plano Nacional de Recursos Hídricos, a outorga do direito de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso da água, o enquadramento dos cursos d'água em classes de uso e o Sistema Nacional de Informações sobre os Recursos Hídricos, além dos quatro organismos institucionais do Sistema de Gerenciamento: o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), os comitês de bacias hidrográficas, as agências de água e as organizações civis de recursos hídricos (Berbert, 2003).

A Política Nacional de Recursos Hídricos tem como base os fundamentos de que a água é um bem de domínio público, sendo ela um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; a bacia hidrográfica é a unidade

territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; a gestão desses recursos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

O Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SIGRH) acompanha a Política Nacional de Recursos Hídricos, baseando-se também nos princípios de participação, descentralização e integração na gestão sustentável dos recursos hídricos do Estado de São Paulo, de acordo com a Lei de Águas Paulista, a Lei 7.663/1991. A Bacia hidrográfica é a referência de planejamento e gerenciamento, o que fortalece a identidade no Estado de São Paulo. Visando a fortalecer a sustentabilidade ao reconhecer o recurso hídrico como um bem público, cuja gestão deve assegurar padrões de quantidade e qualidade satisfatórios aos cidadãos.

Três órgãos fazem a coordenação e integração do SIGRH: o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH); os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) eo Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos (CORHI). Cabe a esses órgãos promover o envolvimento dos diferentes segmentos sociais no gerenciamento do PERH. É interessante dizer que o modelo paulista de gerenciamento de recursos hídricos serviu como referencial para outros estados e, em parte, para a União, na concepção do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

No Brasil, o órgão responsável pela classificação dos cursos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como por estabelecer as condições e padrões de lançamentos de efluentes, é o CONAMA, ligado ao Ministério do Meio Ambiente. A Resolução desse Conselho sobre Recursos Hídricos é a de nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005). Nesse documento, as águas doces são classificadas em cinco classes: especial, 1, 2, 3 e 4. Dessas, somente a classe 4 não pode ser utilizada no abastecimento ou qualquer outro tipo de utilização humana nem com a maioria dos seres vivos, devido à sua baixa qualidade, cujos custos de tratamento inviabilizam o seu aproveitamento. As demais diferem entre si pelo tipo de tratamento a ser utilizado na desinfecção, antes de sua distribuição à população (BRASIL, 2005).

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Baixo Tietê (UGRHI-19) representa uma das unidades de gerenciamento definidas pela Lei Estadual nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994. Está situada a noroeste do Estado de São Paulo, e

sua extensão vai desde a barragem da Usina Mario Lopes Leão, localizado em Promissão, até o Rio Paraná, fazendo divisa com o Estado do Mato Grosso do Sul, possuindo aproximadamente 200 km de extensão. Ela é subdividida em seis regiões hidrográficas, na quinta das quais localiza-se a área de estudo, o manancial Ribeirão Lajeado.

A UGRHI 19 ocupa o 5º lugar em extensão territorial, com 18.591,5 km², e sua área de drenagem é de 15.588 km². É composta por 42 municípios, e sua população total é de 745.688 habitantes, sendo os municípios mais populosos, Andradina, Araçatuba, Birigui, Penápolis, e Promissão, representam 58% da população da UGRHI 19 (SigRH, 2019).

O Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) caracteriza-se como um grupo de pessoas que tem por interesse discutir, planejar e elaborar instrumentos de gestão, composto por representantes das três esferas públicas, além da sociedade civil (gestão compartilhada entre nível federal, estadual e municipal). São locais de discussão e decisão democrática sobre o uso da água na bacia, controle e gestão, tendo como princípio a descentralização, ou seja, dividir as cotas de poder para as comunidades, trazendo empoderamento e responsabilidade para fazer uma boa gestão a partir da sustentabilidade ambiental, equidade social e eficiência econômica.

Assim, o Comitê de Bacias Hidrográficas possui um papel de decisão e negociação que é fundamental para gerenciamento e elaboração da política de bacias hidrográficas. A partir dessas discussões, buscam mitigar e resolver conflitos pelo uso da água, acompanhando a elaboração do Plano de Recursos Hídricos e construindo soluções intermediárias, sendo necessário dispor de recursos humanos, tecnologia e instrumentos, influenciando na melhoria dos recursos hídricos, na qualidade de vida da região e no desenvolvimento sustentável.

O gerenciamento da bacia deve beneficiar os diversos setores da sociedade, visando ao desenvolvimento regional de forma consciente e racional. É também atribuição do comitê promover obras que visem a prevenir a erosão, poluição, inundações e estiagem dos cursos d'água, além de promover programas de educação ambiental.

- ***Programas regionais para a conservação da bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado***

Para além da UGRHI 19 e do Comitê de Bacias Hidrográficas, a bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado conta com a representação do Consórcio Intermunicipal Ribeirão Lajeado (CIRL), que é uma entidade jurídica criada em 1991. O CIRL congrega os municípios de Alto Alegre, Barbosa e Penápolis, com a finalidade de realizar serviços de proteção, recuperação e preservação junto ao Ribeirão Lajeado, único manancial de abastecimento público da cidade de Penápolis (DAEP, 2019).

A criação do Consórcio deve-se, principalmente, ao fato de nas últimas décadas do século XX, as áreas de matas naturais da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado serem reduzidas em mais de 90%, cedendo lugar a agricultura, cana-de-açúcar e pecuária. Desde então, promove ações que visam à recuperação de áreas degradadas e recuperação de nascentes por meio de projetos como:

- Conscientização dos Produtores e Trabalho na rede escolar;
- Manejo Conservacionista de Solo Curvas de Nível nas Propriedades;
- Manejo Conservacionista de Solo Bacias coletoras (consiste no preparo do solo para melhoria do escoamento do que é produzido pelos proprietários rurais do município, através de tombamento de encostas e barrancos e posterior construção dos populares “camalhões”, curvas de nível e bacias coletoras de águas pluviais, com o objetivo de evitar o assoreamento dos cursos d’água da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado);
- Recomposição da mata ciliar;
- Manutenção / Preservação das áreas e nascentes (realização de plantio de reflorestamento com mudas nativas para recomposição das matas ciliares das nascentes e córregos da bacia do Ribeirão Lajeado. Além do plantio são realizadas ações de manutenção das áreas, com roçagem, estaqueamento, irrigação e controle químico de espécies invasoras e formigas).

Os projetos descritos acima foram criados ao longo da história do CIRL e todos estão ativos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado, visto que os cuidados com os mananciais d’água são constantes.

De acordo com o diagnóstico ambiental, realizado pela SHS Consultoria e Projetos de Engenharia no ano de 2017, houve um avanço das estratégias ambientais para a conservação do Ribeirão Lajeado. No documento em questão, é realizada uma análise dos diagnósticos ambientais anteriores, 1991 e 2003, sendo possível observar que: no primeiro momento, a situação do curso d'água foi considerada como crítica visto que as APPs estavam desprovidas de cobertura vegetal arbórea; na segunda análise eles consideraram que o Ribeirão Lajeado ainda estava em recuperação da degradação inicial e ainda apresentava trechos de erosão/voçorocas, solapamento das margens, processos de assoreamento de água e a presença de mata ciliar estreita. Assim, constataram que, de maneira geral, muitas áreas degradadas foram recuperadas, sendo positivas para a qualidade e quantidade da água do canal fluvial, considerando a análise temporal de 1991 a 2017 (SHS, 2017).

As Sub-bacias Hidrográficas a montante do ponto de amostragem limnológica no Ribeirão Lajeado (Sub-bacia Hidrográfica 1, 2 e 3) recebem atenção prioritária nas ações desenvolvidas pelo CIRL. A área é caracterizada pela predominância de pequenas propriedades. Entre os afluentes do Ribeirão Lajeado que se destacam nesse sentido têm-se o Córrego Grande e o Córrego Saltinho do Galinari.

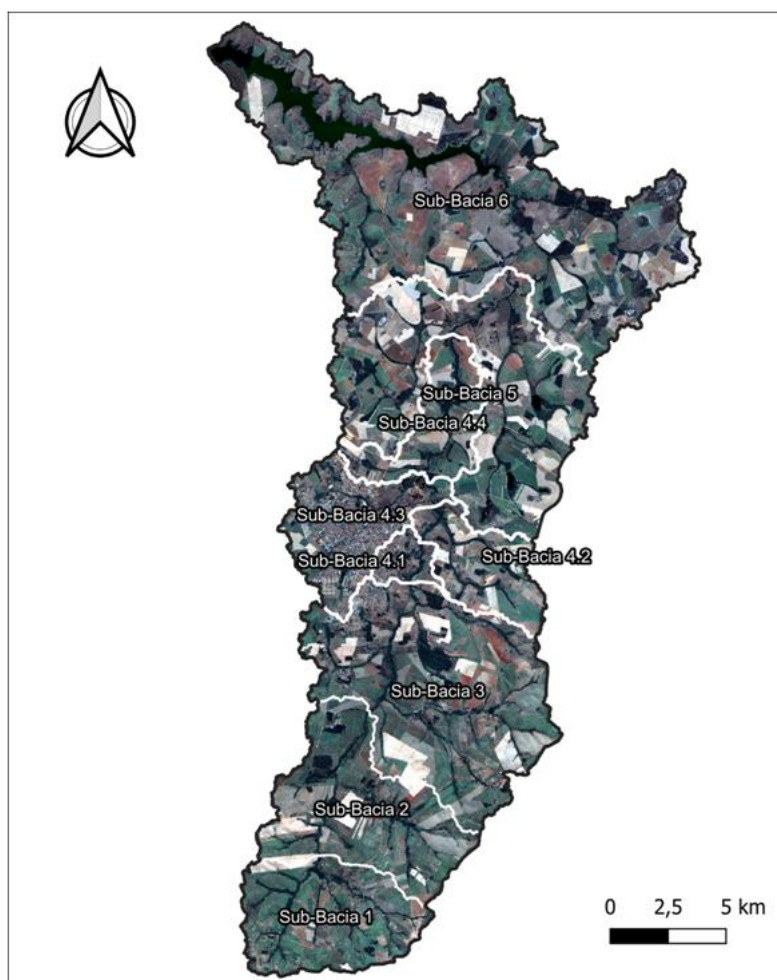


Figura 3. Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado e suas Sub-bacias de contribuição
Fonte: CIRL (2024)

Em dados quantitativos, e representando os projetos realizados pelo CIRL, de 2001 a 2021, houve o plantio de 237.484 mil mudas de árvores nativas, 628 propriedades atendidas e 25.518 horas/máquinas trabalhadas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado (CIRL, 2024).

4. CARACTERIZAÇÃO REGIONAL DA ÁREA

O canal fluvial principal, Ribeirão Lajeado, abrange o território de cinco municípios, tendo sua maior extensão, cerca de 80%, presentes em Penápolis. Seus principais formadores são os ribeirões: Lajeado, Dois Córregos, Araponga, Santana e os córregos Grande, Saltinho do Lajeado, Maria Chica, Saltinho do Galinari, entre outros (DAEP, 2022).

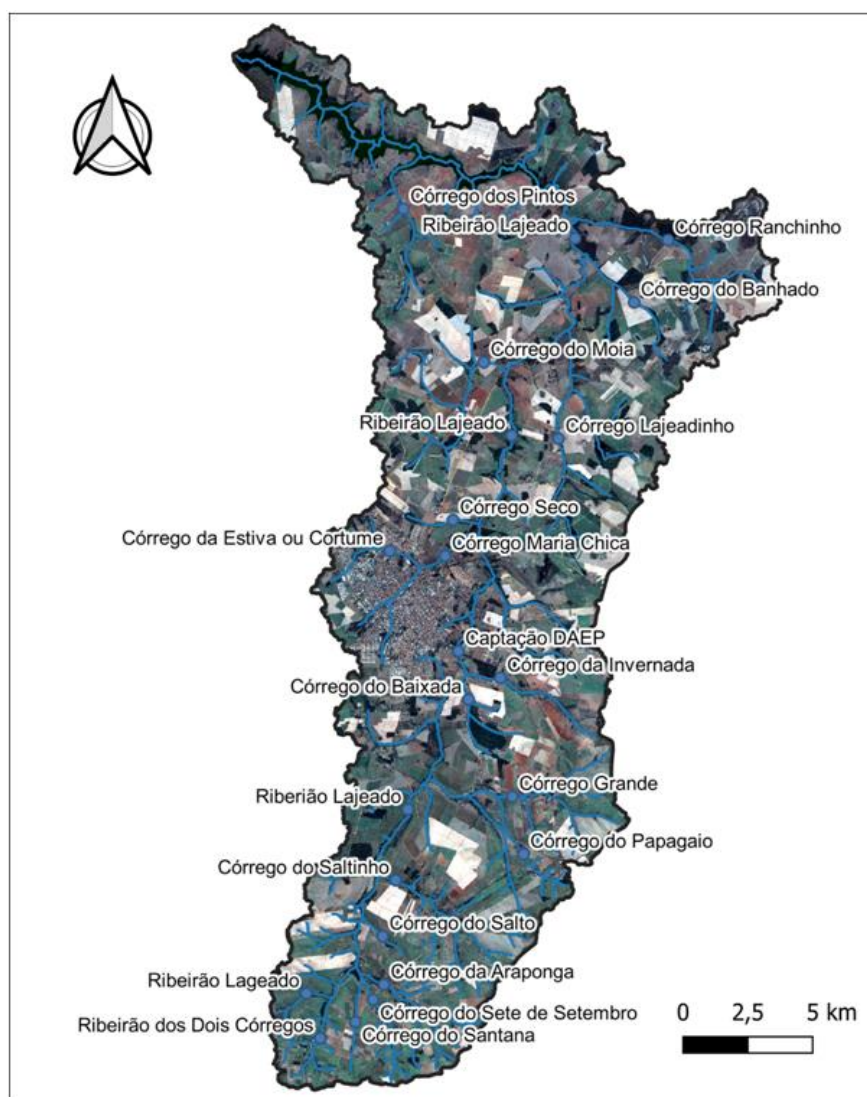


Figura 4. Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado e seus afluentes

Fonte: CIRL (2024)

A região em que se localiza a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado possui os seguintes atributos do meio físico:

A geologia e geomorfologia da região é composta por formações geológicas

provenientes da idade cenozoica e mesozoica, possuindo as seguintes formações geológicas: Formação Serra Geral, Formação Santo Anastácio, Formação Adamantina, e Depósitos aluviais (Moreira, 2016). Localizada no Planalto Ocidental Paulista, possui como formas de relevo planícies geradas pela gradação, com as unidades homogêneas Planícies Aluviais e Terraços Fluviais e relevos de degradação ou desgaste de erosão, como as unidades Colinas Amplas e Colinas Médias (IPT, 1997).

O clima regional possui basicamente duas estações bem definidas: verão quente e chuvoso e inverno ameno e seco. Frequentemente atuam na região as massas Tropical Continental, Tropical Atlântica, Polar Atlântica e Equatorial Continental, além do Cavado, da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Em decorrência de ter fatores físicos do relevo significantes, como a latitude e a continentalidade, ocorre uma maior variedade térmica e pluviométrica (Mendonça, 2007).

A área é caracterizada pelo bioma de Mata Atlântica que atraía os cafeicultores, sendo esse o maior surto ocupacional dos pioneiros e fazendeiros. Não podendo deixar de considerar as regiões de características de cerrado, onde a criação de gado já havia se instalado antes mesmo do café (Monbeig, 1984). As principais formações são a Floresta Estacional Semidecidual e a Formação Arbórea/Arbustiva em Regiões de Várzea (SigRH, 2019).

A ocupação do que corresponde à atual região noroeste do Estado de São Paulo iniciou-se no ano de 1842, com a vinda de famílias provenientes do sul de Minas Gerais para os Campos do Salto do Avanhandava, impulsionados pelo descontentamento das 54 medidas tomadas pelo Governo Imperial que resultaram na Revolução Liberal (1842). Essa região até então retratada pelos mapas como “sertão desconhecido” caracterizava-se por extensas e férteis glebas de terras, passando a ser denominada como nova “fronteira agrícola e pecuária” (Hecht, 2008).

Casseti (1991) argumenta que a história do processo de ocupação do território brasileiro tem demonstrado que a terra sempre foi utilizada de modo intensivo e numa visão imediatista, até o limite de sua potencialidade. A rápida ocupação da área ocorreu em virtude da junção dos interesses entre os coronéis latifundiários pelas terras indígenas e os objetivos da Companhia Estrada de Ferro Noroeste do Brasil (CEFNOB), a qual almejava penetrar no interior do Estado de São Paulo, gerar a ocupação das terras

consideradas devolutas pelo governo e promover assim a união das diversas províncias.

Atualmente, a base da economia regional é a agropecuária, com destaque para a comercialização de bovinos. Configura-se também como fronteira de expansão do cultivo de cana-de-açúcar no Estado. Na agroindústria, destacam-se indústrias sucroalcooleiras, frigoríficas, calçadista, de massas, de polpas de frutas, de processamento de leite em pó, de curtimento de couro, de desidratação de ovos, entre outras (SigRH, 2019).

5. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Realizou-se inicialmente um levantamento bibliográfico sobre os principais temas como: teoria geral dos sistemas e de sistemas ambientais; conectividade hidrológica; uso e ocupação do solo (relação do homem com a natureza); gerenciamento de recursos hídricos; estudos em bacias hidrográficas e seus elementos; limnologia e suas variáveis; geotecnologias e estatística multivariada em estudos ambientais.

Todas as leituras resultaram em fichamentos e resumos que foram utilizados como materiais de apoio, embasando o referencial teórico deste estudo. Foram feitas leituras de artigos, livros, manuais, publicações e sites a fim de contribuir com informações complementares durante todas as etapas do trabalho.

É tido em mente que a pesquisa bibliográfica é uma etapa de fundamental importância em qualquer trabalho científico e irá influenciar todas as etapas da pesquisa, pois dará suporte a todo o embasamento teórico do trabalho. Paratanto, é possível dizer que é imprescindível realizá-la antes da realização de qualquer trabalho científico.

O desenvolvimento desta pesquisa se dá de forma indutiva, em que as etapas estabelecidas foram realizadas por meio de coleta de todos os dados e informações e definição, análise e classificação, segundo a metodologia descrita por Christofoletti (1999). A organização da pesquisa pode ser melhor observada no fluxograma (figura 5).

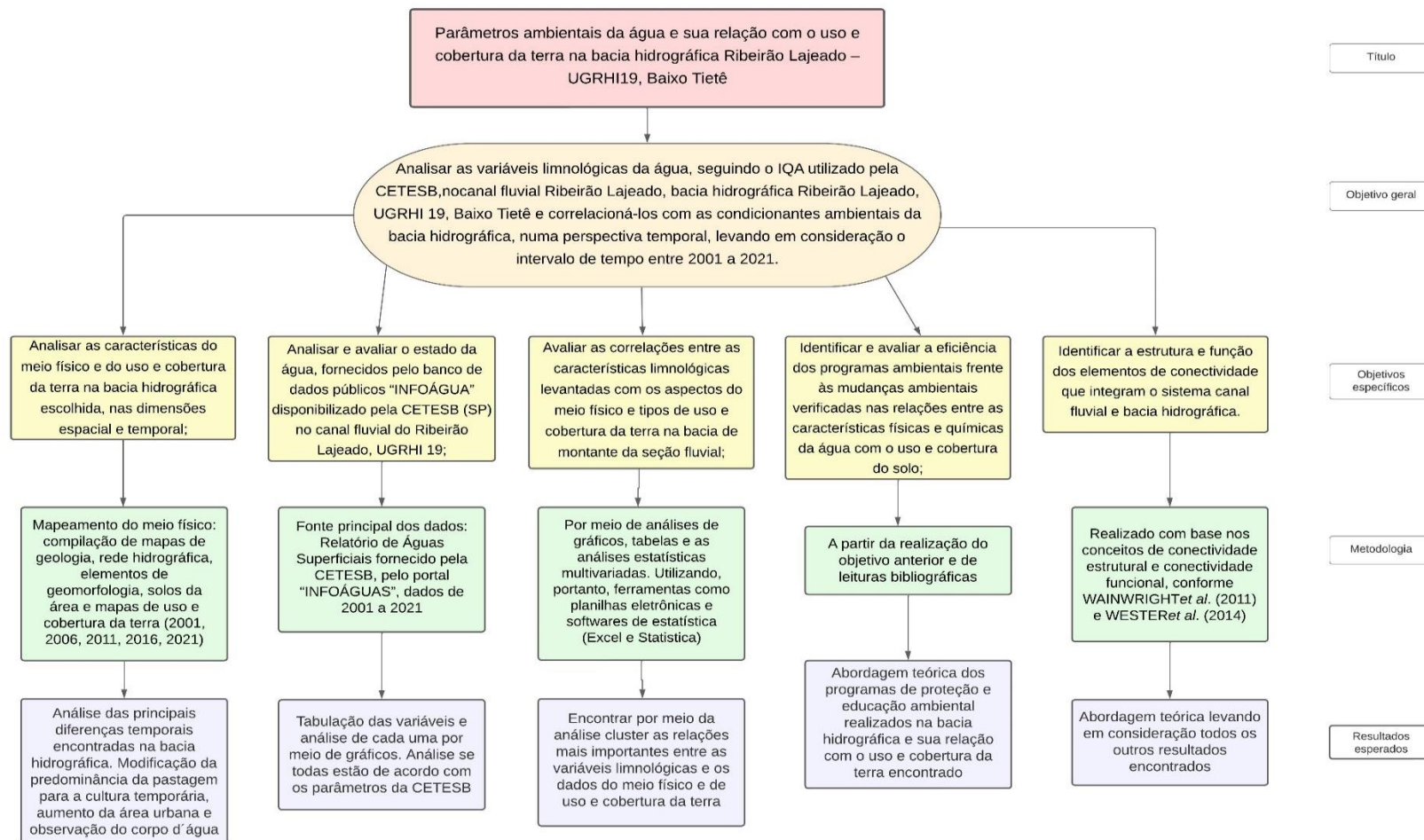


Figura 5. Fluxograma das atividades e metodologia de pesquisa
 Fonte: Elaborado pela autora

É importante ressaltar o recorte específico da área de estudo, que se refere à bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado, entendendo-a aqui como a área de drenagem do manancial de água da cidade de Penápolis (SP), não considerando, portanto, o Ribeirão Bonito, afluente do baixo curso do Ribeirão Lajeado e sua área de drenagem, visto que ele já não faz parte da área de manancial em questão. Dessa maneira, os mapas confeccionados em ambiente SIG (meio físico e uso e cobertura da terra) mostram o canal principal do Ribeirão Lajeado e do ponto de amostragem dos dados limnológicos localizado no médio curso do canal analisado.

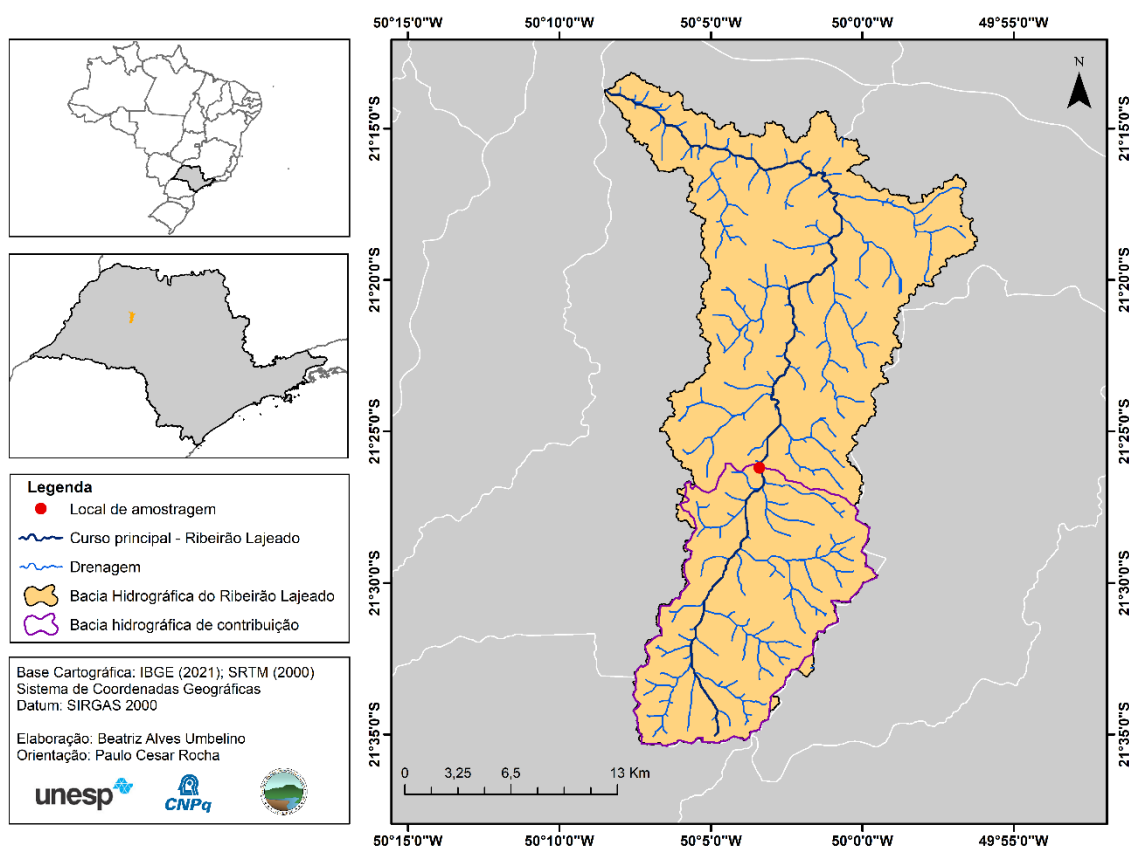


Figura 6. Localização da Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado com ponto de amostragem e área da Sub-bacia de drenagem

A diferenciação entre bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado e o alto curso da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado refere-se à área de drenagem que influencia nas variáveis limnológicas medidas no ponto de amostragem. A área da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado também é considerada na análise do meio físico e de uso e cobertura da terra, visto que é nele e em suas alterações que podem ocorrer mudanças na qualidade ambiental da água.

Nesta análise, foram considerados o uso e a cobertura da terra para cada 5 anos (2001, 2006, 2011, 2016 e 2021), para as análises limnológicas foram utilizados todas as

amostragens realizadas pela CETESB no recorte temporal (2001 – 2021), portanto, utilizaram-se as 60 amostragens. É necessário enfatizar que tais amostragens não seguem um padrão, havendo assim anos com mais amostragens que outros. Para a hidrologia foram considerados os dados pluviométricos, valendo da chuva diária, no dia da medição limnológicas, e o acúmulo de chuva dos últimos 10, 15 e 20 dias anteriores em todas as amostragens.

5.1 Uso de geotecnologias: as condicionantes do meio físico e do uso e cobertura da terra

Para a análise das condicionantes do meio físico e do uso e cobertura da terra, foram tomados os seguintes procedimentos: para com os processamentos dos dados orbitais, cadastrais e temáticos serão realizados em um ambiente de sistemas destinados ao armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados, ou seja, em um ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) para que se consiga manipular as imagens de satélites, nos quais serão executadas as seguintes etapas: elaboração da melhor composição colorida e realce a fim de facilitar a identificação dos alvos mapeados; segmentação; classificação supervisionada; elaboração dos mapas temáticos e quantificação das classes de uso e cobertura da terra. Para tanto, foi utilizado o *software* ArcGIS 10.5, que permitiu a execução das etapas descritas.

A delimitação da área de estudo, bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado, foi feita a partir de dados de altitude obtidos pela missão de levantamento topográfico por radar sub-orbital realizada pela NASA por meio de imagem de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography*), do ano de 2000. A delimitação da área de estudo compreendeu somente a área da bacia hidrográfica que serve como manancial d'água, tendo como canal principal o Ribeirão Lajeado e sua rede de drenagem.

A imagem de radar citada anteriormente também serviu como base para o mapeamento do meio físico (mapas de geologia, rede hidrográfica, elementos de geomorfologia e solos da área). Por meio da extração dos *layers* de drenagem (servindo também de suporte cartográfico para a elaboração dos mapeamentos temáticos, como o mapa clinográfico e hipsométrico).

Foram elaborados os mapas de uso e cobertura da terra a cada 5 anos (2001, 2006, 2011, 2016, 2021) por meio de imagens do Satélite Landsat (*Land Remote Sensing*

Satellite) do mês de fevereiro de cada ano analisado. O satélite Landsat 5, com sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) e possuindo resolução de 15 a 30 metros, foi utilizado como base para os mapas referentes aos anos: 2001, 2006 e 2011; já o satélite Landsat 8 foi utilizado para o mapeamento dos anos 2016 e 2021 e conta com sensor OLI (*Operational Terra Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) com resolução de 15 a 30 metros, sendo imagens ortoretificadas. Todas as imagens de satélite utilizadas referem-se ao mês de fevereiro dos anos analisados. Por meio desse tipo de mapeamento (uso e cobertura da terra) é possível se analisar a dinamicidade espaço-temporal das ações humanas sobre a Bacia Hidrográfica de estudo, assim como observar o seu estado ambiental, e posteriormente, correlacioná-lo com as variáveis limnológicas analisadas nesse período (2001 a 2021).

Para que isso fosse possível, utilizou-se do cruzamento de informações entre a geomorfologia e a cobertura da terra, obtida por meio de imagens Landsat 5 e Landsat 8 e tratadas no software ArcGIS 10.5, através da ferramenta *tabulate intersection*. Em ambiente GIS foi utilizada a classificação “não-supervisionada” nas imagens de satélite, procedimento esse que possibilita a diferenciação e quantificação de áreas urbanas, cultura temporária, áreas florestais, pastagem e cursos d’água. Ressalte-se que, nas etapas de classificação, parte dos elementos e atributos terrestres foram generalizados, tal como solo exposto e área urbana, que podem resultar em diferenças nos cálculos dos crescimentos das áreas ao longo dos anos.

A classificação do uso e cobertura da terra foi realizada tendo como base o Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE de 2013. O levantamento de uso e cobertura da terra e dos fragmentos florestais foi realizado através de consulta à bibliografia existente sobre as formas de ocupação da região, e também de consulta às Cartas Topográficas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) escala 1:50.000.

A identificação dos tipos de alterações ambientais mais presentes na bacia e os efeitos dos programas de proteção ocorridos no período em questão nesta área foram efetuados a partir da bibliografia existente, sendo consultado também o site do DAEP (2022) e da finalização dos mapas da área.

Para a análise do escoamento superficial, foram utilizados os dados do trabalho intitulado “Análise de variáveis de qualidade das águas e correlações com o uso da terra: o caso da Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado na UGRHI 19, Oeste Paulista” (Umbelino;

Santos; Rocha, 2023), no qual os autores trabalharam os dados dos anos 2006, 2011, 2016 e 2021.

5.2 Análise limnológica do canal fluvial Ribeirão Lajeado

Para a análise das variáveis limnológicas da água foram utilizados nove parâmetros: temperatura da água, potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez. Estas variáveis adotadas se aplicam na avaliação dos cursos hídricos que recebem esgotos domésticos, tendo como prioridade avaliar as características que indicam a qualidade da água para o abastecimento público.

A fonte principal de dados limnológicos é o Relatório de Águas Superficiais fornecido pela CETESB, adquiridas pelo portal “INFOÁGUAS” com início de operação em 2001 para a área, estando ativo até o momento. Em termos de localização geográfica, o ponto de coleta na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado está localizado nas coordenadas 21° 26′ 10″ de latitude sul e 50° 03′ 23″ de longitude oeste, com altitude de 390 m acima do nível do mar, localizado na Rua Altino Vaz de Melo, no município de Penápolis. O recolhimento das variáveis é em ambiente lótico do Ribeirão Lajeado, pertencente à UGRHI 19, Baixo Tietê.

Seguindo o portal INFOÁGUAS, a CETESB realizou um total de 60 amostragem limnológicas no local durante os anos 2001-2021, sendo todas elas consideradas neste estudo. É válido ressaltar que na série histórica analisada houve variação na quantidade de amostragem, havendo anos com mais amostragens que outros (variando de 2 a 6 amostragens por ano).

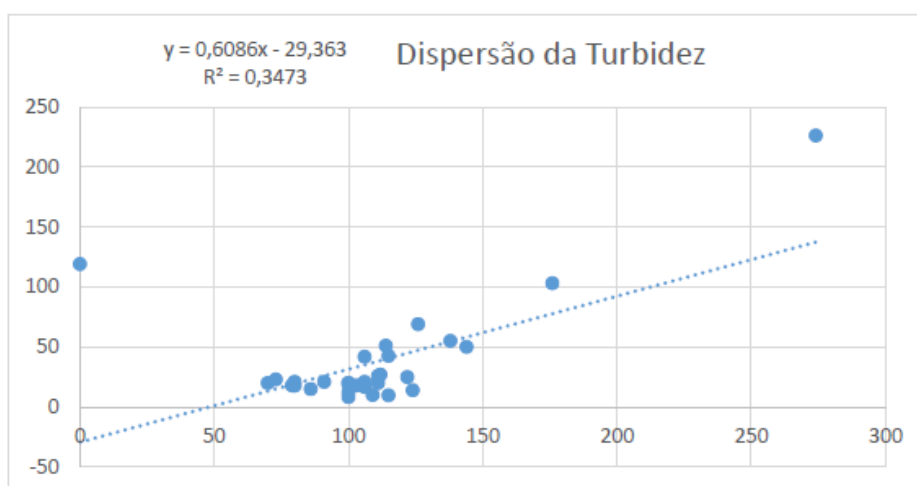
Além da variação das medições e das variáveis coletadas durante a série temporal (2001 – 2021), houve a substituição do termo e de medição da variável coliformes termotolerantes que foi utilizada até o ano de 2011 para *Escherichia Coli* a partir do ano de 2012. Segundo relatório técnico publicado pela própria CETESB (2008), de acordo com a resolução CONAMA 357/2005, a variável coliformes termotolerantes é considerada como padrão de qualidade microbiológica, mas se permite a substituição pela *E. coli*.

Para a variável nitrogênio total, foi realizada a soma dos valores de nitrogênio

kjeldahl, nitrogênio nitrito, nitrogênio nitrato e nitrogênio amoniacal.

Na variável turbidez, foi observada falta de dados no ano de 2001. Esta questão foi solucionada por meio da técnica de dispersão, utilizando, portanto, da função de dispersão realizada em ambiente *software* Excel. Por meio do diagrama de dispersão foi possível observar a correlação entre os dados coletados de sólidos em suspensão e turbidez, visto que essas duas variáveis são interligadas e que a variável sólidos suspensos está completa de 2001 – 2021 (gráfico abaixo). Para tanto, se considerou a variável turbidez como independente e a variável sólido suspenso como dependente. Desta forma, é certo dizer que a função utilizada resultou numa correlação positiva, como pode ser observado no gráfico:

Gráfico 1. Diagrama de dispersão da variável turbidez



Elaborado pela autora.

Todos os dados limnológicos foram tabulados e organizados no software Excel, para que fosse possível melhor visualizá-los. A organização se deu pelos tipos de variáveis e pelas duas coletas anuais.

A análise hidrológica utilizou os dados pluviométricos disponibilizado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Sendo utilizada a seção C7-010, localizada nas coordenadas 21° 26' 00" de latitude e 50° 04' 00" de longitude, próxima à seção da CETESB de análise limnológica. Para os dados de chuva, foram utilizados os milímetros de chuva referentes à escala temporal 2001 – 2021 e os dados de chuva no dia da amostragem limnológica e a soma dos 10, 15 e 20 dias anteriores à amostragem. A tabela abaixo mostra as datas em que houve amostragem limnológica e os dias de

amostragens com chuva estão realçados.

Tabela 1. Data das amostragens limnológicas e amostragens em dias com chuva

11/06/01	10/05/06	09/09/09	02/05/11	28/01/13	01/09/16
12/12/01	16/11/06	04/11/09	11/07/11	21/03/13	17/11/16
26/06/02	09/05/07	05/01/10	05/09/11	21/01/14	03/01/17
12/11/02	06/11/07	04/03/10	28/11/11	13/03/14	14/03/17
21/05/03	07/05/08	06/05/10	30/01/12	20/01/15	04/01/18
26/11/03	04/11/08	21/07/10	15/03/12	12/03/15	10/01/19
19/05/04	06/01/09	08/09/10	28/05/12	26/01/16	14/03/19
04/11/04	03/03/09	03/11/10	23/07/12	01/03/16	19/01/21
11/05/05	07/05/09	04/01/11	03/09/12	05/05/16	20/07/21
17/11/05	22/07/09	14/03/11	26/11/12	21/07/16	15/10/21

Elaborado pela autora.

5.3 Correlações entre as características do canal e da bacia hidrográfica e processos de conectividade

As correlações foram efetuadas a partir de análise integrada dos elementos do canal fluvial (dados limnológicos) e da bacia hidrográfica (meio físico e de uso e cobertura da terra). Para o entendimento das correlações, foram realizadas análises de gráficos, tabelas e as análises estatísticas multivariadas. Utilizando, portanto, ferramentas como planilhas eletrônicas e softwares de estatística (Excel e Statistica).

Os dados utilizados para análise estatística correspondem às 9 variáveis limnológicas com amostragem em dias de chuva, aos dados pluviométricos diários e os acumulados de 10, 15 e 20 dias e aos dados extraídos dos mapas de usos e cobertura da terra (2001, 2006, 2011, 2016 e 2021). Considerando que os dados pluviométricos e limnológicos foram medidos anualmente (em alguns casos mais de uma vez ao ano) e os de uso e cobertura da terra, considerou-se apenas o intervalo a cada 5 anos optou-se pela repetição do mesmo dado, resultando na seguinte relação:

Tabela 2. Relação entre a utilização dos dados de uso e cobertura da terra e dados limnológicos e pluviométricos

Uso e cobertura da terra	Referência aos dados limnológicos e pluviométrico
2001	2001, 2002, 2003
2006	2004, 2005, 2006, 2007, 2008
2011	2009, 2010, 2011, 2012, 2013
2016	2014, 2015, 2016, 2017, 2018
2021	2019, 2020, 2021

Elaborado pela autora.

Dessa maneira, os anos de uso e cobertura da terra mais significativos correspondem ao mapeamento de 2011 e 2016 com 6 análises limnológicas em dias com incidência de chuva; os outros 3 anos de uso e cobertura da terra (2001, 2006 e 2021) contaram com apenas 1 amostragem limnológica em dia de chuva.

No *software* Statistica, foi possível gerar gráficos de análise de agrupamento das diversas variáveis analisadas, correlacionando todos os dados obtidos. Isso se deu após a tabela com os dados estarem preenchidas por meio da ferramenta *statistics*, que leva até a ferramenta *multivariate techniques* e por fim, *cluster analysis*. Os diversos gráficos e tabelas feitos neste software serviram para garantir as correlações e testar os dados obtidos.

Nas análises de agrupamentos que correlacionou o uso e cobertura da terra com as variáveis limnológicas foram utilizados os dados extraídos da subbacia hidrográfica, relacionando, assim, a mesma área de drenagem.

Ainda no *software*, foram realizadas as análises de componentes principais por meio do comando *factor analysis*, gerando os valores de *factor score*, *factor loading* e *envalue* (considerando o cumulativo maior que 50%) e organizadas pela ferramenta *graphs*, seguido por *2D graphs* e *scatterplots*, onde puderam ser observadas as principais relações entre os anos de uso e cobertura da terra analisados e as principais variáveis limnológicas.

A interpretação dos processos de conectividade entre os sistemas fluvial e bacia hidrográfica foi efetuada com base nos conceitos de conectividade estrutural (como as paisagens estão fisicamente ligadas, em escalas temporais) e conectividade funcional (como as características estruturais influenciam nos processos ao redor), conforme Wainwright et al. (2011) e Wester et al. (2014) (Rocha, 2017).

A intensidade da conectividade hidrodinâmica superficial presente entre canal fluvial e bacia hidrográfica pôde ser observada por meio da análise de estimativa do escoamento superficial e das análises estatísticas realizadas.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 *Análise da bacia hidrográfica: o meio físico*

Para conhecer e entender a dinâmica da bacia hidrográfica, suas homogeneidades e heterogeneidades, realizaram-se o levantamento e a caracterização de seu meio físico, levando em consideração a geologia, o clima e hidrologia, a geomorfologia, a hipsometria, a declividade e a pedologia. A caracterização do meio físico na escala da área de estudo é a base de informações locais que levarão à melhor análise das características limnológicas e a distribuição dos usos e ocupações do solo.

Assim, observa-se a predominância da estrutura geológica do grupo Bauru. As rochas do grupo Bauru envolvem um conjunto de formações geológicas contemporâneas na escala geológica do tempo. A formação encontrada na área de estudo corresponde à formação Caiuá. A formação Caiuá tem origem eólica, sendo caracterizada por um ambiente seco, e desse modo é o melhor confinador de água de todo o grupo (mais permeável), assim, o vento, é considerado um bom selecionador de grãos. Os arenitos dessa formação são considerados de finos a médios, com formato bem arredondado, tendo geralmente o mesmo tamanho. Além disso, é possível observar a coloração em tons vermelhos/roxo dos grãos, que se deve à película envolvente de óxido de ferro, óxido desse que serve como um “cimento” entre os grãos, chamando esse ato de adsorção.

Além da formação Caiuá, na área de estudo há a presença geológica da cobertura cenozóica, que corresponde aos terraços holocênicos ou aluviões fluvio-lacustre. Os Terraços Holocênicos caracterizam-se como planície aluvial antiga, englobando sedimentos areno-argilosos e cascalhos, com perfis lateríticos e imaturos.

A planície de inundação é uma feição deposicional do vale do rio associada com um regime climático ou hidrológico particular da bacia de drenagem. Os sedimentos são temporariamente estocados na planície de inundação ao longo do vale e, sob condição de equilíbrio, sem aumento ou diminuição por um longo tempo (anos), a taxa de entrada de sedimentos é igual à de saída (Rocha, 2013, p. 2).

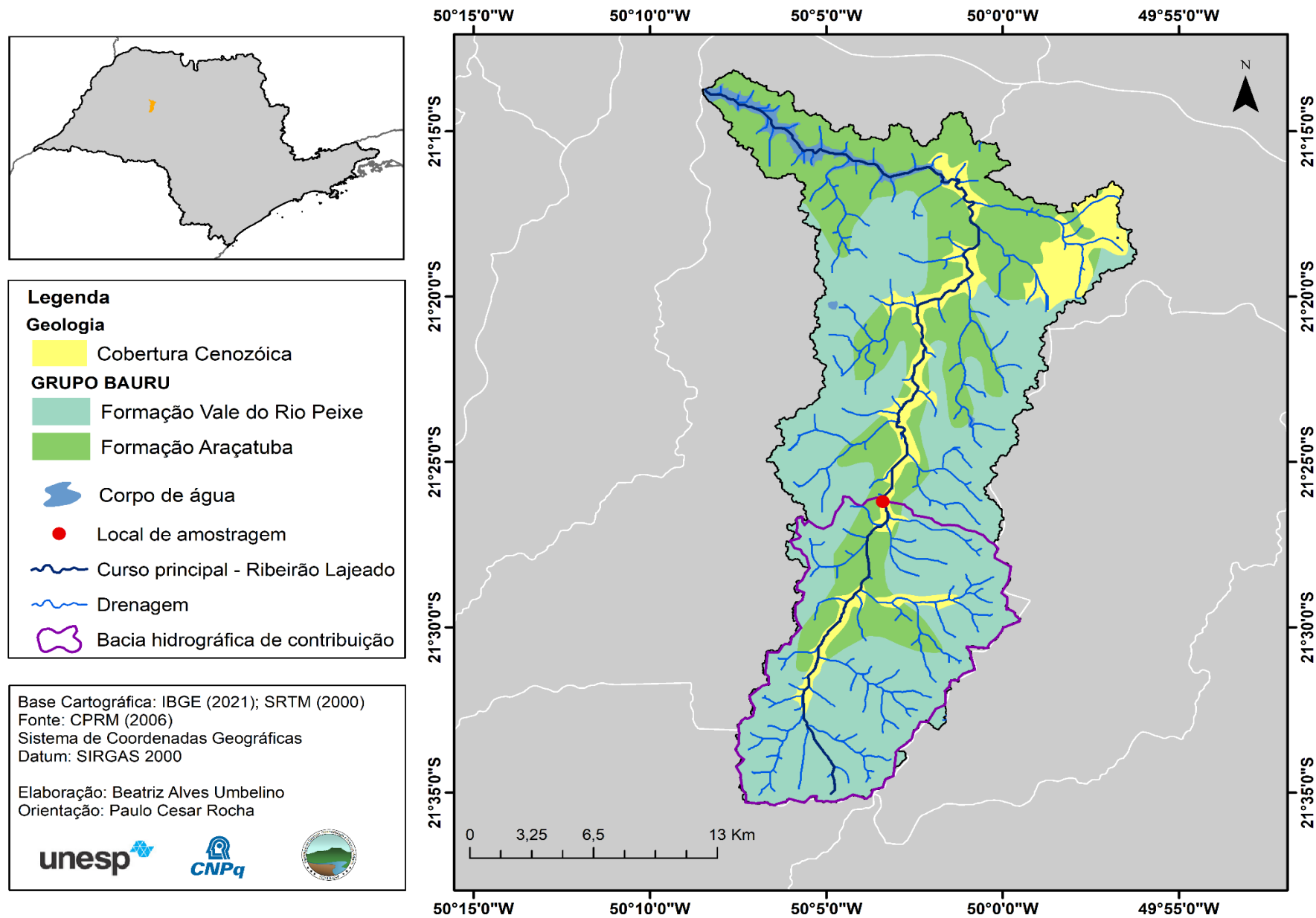


Figura 7. Mapa das Formações litológicas na Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado

A respeito da espacialização litológica da área, é possível observar a predominância da formação sedimentar Caiuá, sendo representado pelo grupo Bauru (formação Vale do Rio do Peixe e Araçatuba), enquanto a cobertura cenozóica é encontrada próxima ao leito do rio principal em sua extensão e a nordeste da bacia estudada, além de conter o local da amostragem limnológica, como pode ser observado no mapa 3. É válido ressaltar que a presença, apenas, desses aspectos litológicos é resultado da pequena área que compreende a bacia hidrográfica estudada.

Considerando a bacia hidrográfica como um todo, é possível obter a porcentagem de cada classe geológica em relação à área total. Assim, temos que: na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado predomina a Formação Caiuá, grupo Bauru, formação vale do Rio do Peixe com 230,2 km², ocupando 55,1% da área, seguido pela formação Araçatuba com 135,3 km², ocupando 32,4 % da área. A cobertura cenozóica ocupa 10,4% da área, com 43,3km², como pode ser observado na tabela:

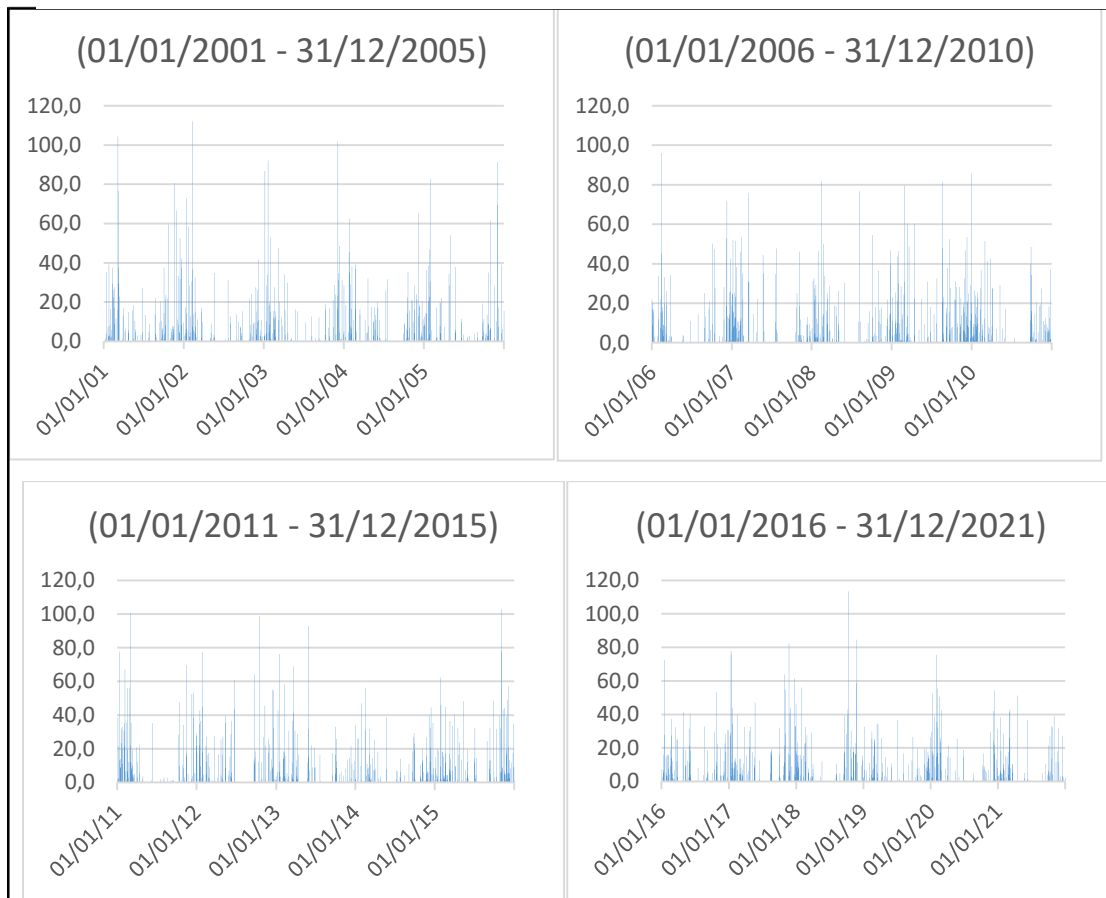
Tabela 3. Porcentagem de classes geológicas relacionadas a área da bacia hidrográfica.

Classes	Geologia	
	Área (km ²)	%
Cobertura cenozóica	43,3	10,4
Formação Vale do Rio do Peixe	230,2	55,1
Formação Araçatuba	135,3	32,4

Elaborado pela autora

A caracterização da hidrologia presente na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado é aqui representada pelos dados pluviométricos. Para tanto, foram utilizados em primeiro momento os dados diários de pluviometria na escala temporal 2011 – 2021, elucidando a quantidade de chuva na área de estudo. Os dados organizados na figura abaixo mostram a variação pluviométrica quanto aos anos analisados e foram divididos mantendo a análise de uso e cobertura da terra (5 em 5 anos).

Gráfico 2. Pluviometria diária (01/01/2001 a 31/12/2021)

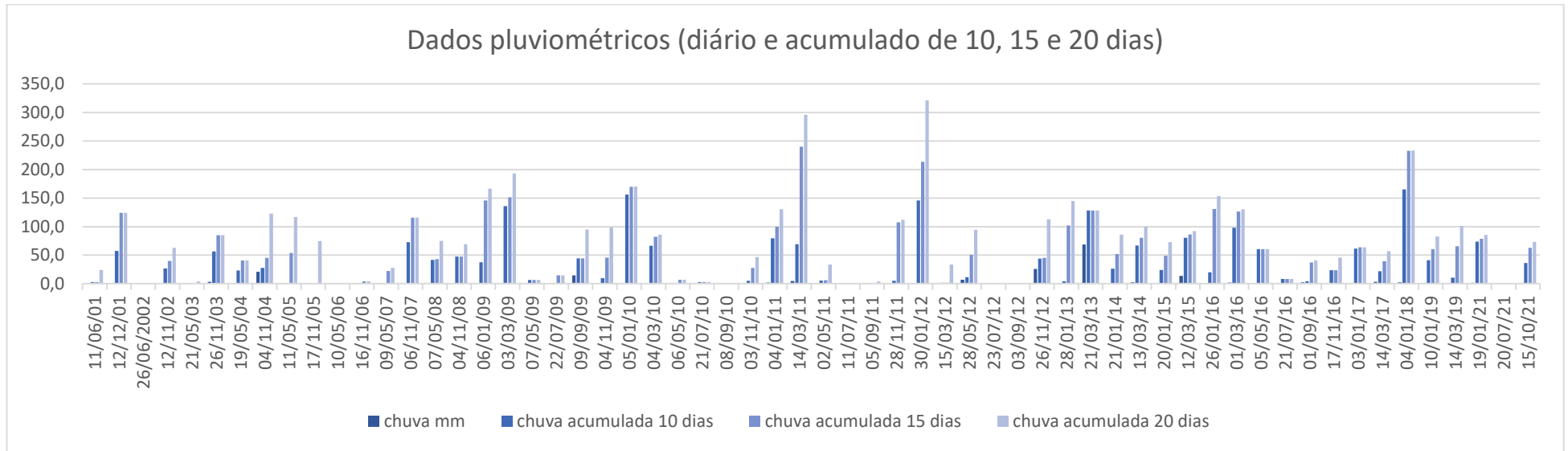


Elaborado pela autora

Ao observar os gráficos de pluviometria diária dos anos 2001-2021 é possível perceber a presença de chuvas concentradas nos meses referente ao verão e a diminuição ou a ausência da chuva nos meses de inverno, representando a classificação climática da região segundo Mendonça (2007).

Além dos dados diários, é válido ressaltar a pluviometria no dia da amostragem limnológica, observando também a soma pluviométrica dos 10, 15 e 20 dias anteriores à medição na bacia hidrográfica de estudo. Tais dados serão correlacionados por meio da estatística posteriormente.

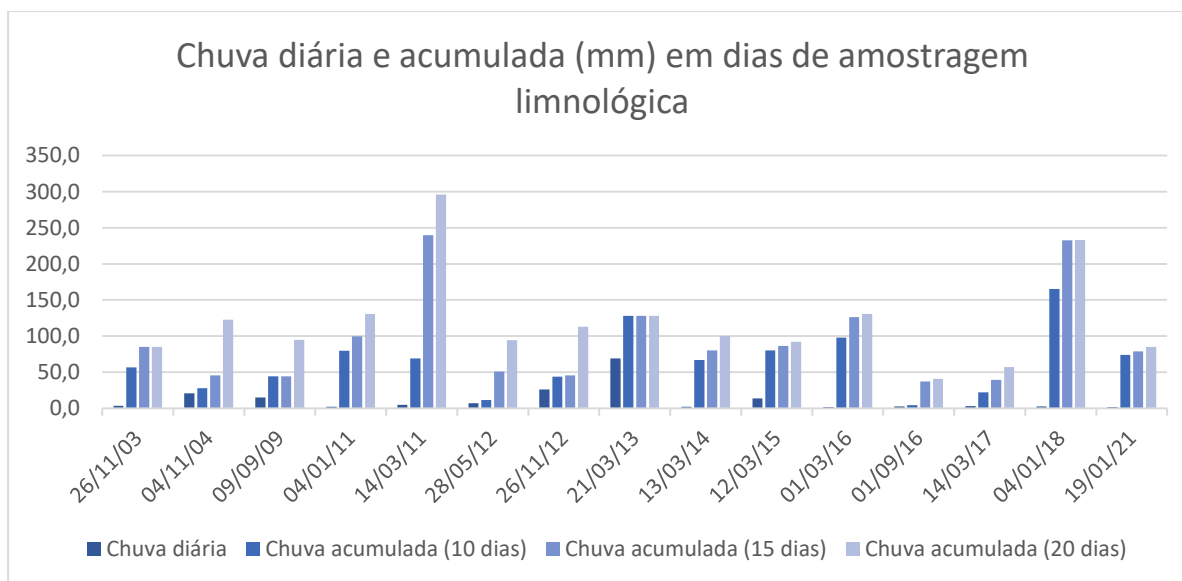
Gráfico 3. Dados pluviométricos (diário e acumulado de 10, 15 e 20 dias)



Elaborado pela autora

O gráfico anterior exibe que as amostragens limnológicas, da CETESB, na escala temporal analisada nem sempre ocorreram em dias com chuva, porém os dados de chuva acumulada de dias anteriores à medição são um bom parâmetro para que se compreenda a relação entre o canal fluvial e os dados limnológicos colhidos.

Gráfico 4. Quantidade de chuva diária e acumulada (10, 15 e 20 dias)



Elaborado pela autora

Das 60 amostragens limnológicas realizadas pela CETESB, apenas 15 ocorreram em dias com chuva, como observado no gráfico acima. A maior quantidade de chuva diária em mm foi no dia 21/03/2013 com 68,8 mm, enquanto a menor quantidade registrada nos dias de amostragem foi a de 19/01/2021 com 1,7 mm registrado. Tratando-se da soma da quantidade de chuva dos dias anteriores a amostragem limnológicas têm-se: a maior quantidade acumulada de chuva em 10 dias foi na amostragem do dia 04/01/2018 com 165,3 mm, com 15 dias, 14/03/2011 possuía 239,9 mm de chuva acumulada e com 20 dias de chuva acumulada ganha destaque a amostragem do dia 14/03/2011 com 296,1 mm.

O estudo das drenagens fluviais leva à compreensão e à elucidação de numerosas questões geomorfológicas, pois os cursos de água constituem processo morfogenético dos mais ativos na escultura da paisagem terrestre. Por drenagem entende-se a rede que a água constrói para ela mesma percorrer, sendo os padrões de drenagem a maneira como a água se relaciona com o substrato.

Os desenhos formados nos padrões de drenagem representam a estrutura e os tipos de rochas presentes no local. Assim, é possível notar a presença do padrão de drenagem dendrítica na Bacia hidrográfica de estudo, onde o canal principal corresponde ao tronco e seus afluentes aos ramos. Tal padrão é caracterizado por se desenvolver sobre rochas de resistência uniforme, ou em estruturas sedimentares horizontais. Observa-se, na figura abaixo, a presença da bacia sedimentar do Paraná e a bacia sedimentar Cenozóica como unidades morfoestruturais, acompanhadas respectivamente das seguintes unidades morfoesculturais: planalto ocidental paulista e planícies fluviais.

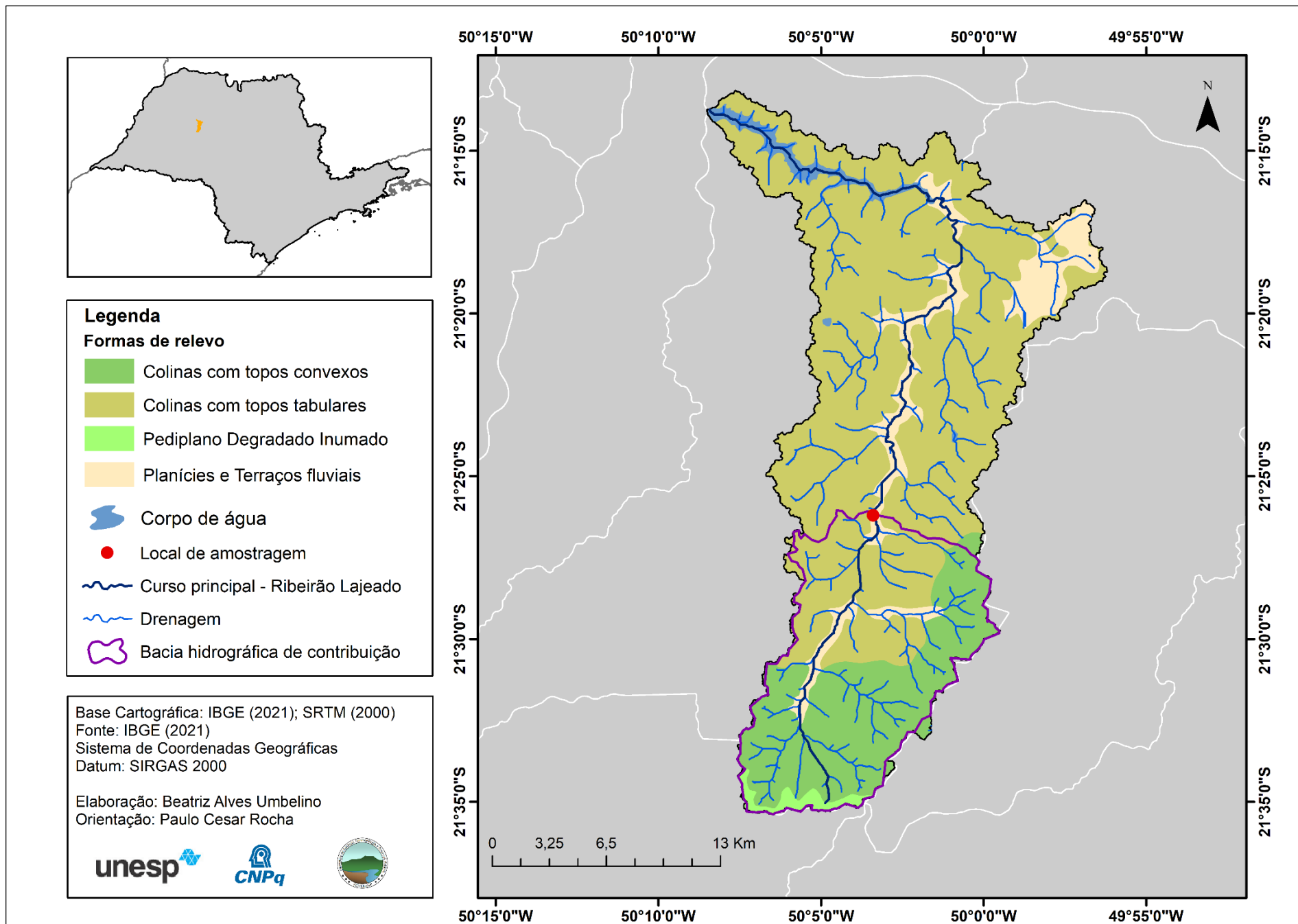


Figura 8. Mapa dos aspectos geomorfológicos na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado

Os modelados de acumulação, caracterizados por áreas planas resultante de acumulação fluvial, encontrados na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado são chamados de planícies e terraços fluviais, localizado ao longo do leito do canal fluvial principal (10,3%).

Já as formas de relevo caracterizadas por colinas amplas e baixas são divididas entre modelados de dissecação de topos tabulares (Dt), predominante na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado (66,3%), com rede de drenagem de baixa densidade, com vales rasos, apresentando vertentes de baixa declividade. Enquanto o modelado de dissecação de topos convexos (Dc) se localiza ao sul da área analisada (20%), sendo caracterizada por vales bem-definidos e vertentes de declividades variadas.

O pediplano degradado Inumado apresenta-se no extremo sul da bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado, alto curso do canal principal. Aparece frequentemente mascarada, inumada por coberturas detríticas e/ou de alteração, constituídas de couraçase/ou Latossolos (Pgi) (IBGE, 2009)

Tabela 4. Porcentagem de feições geomorfológicas relacionadas a área da bacia hidrográfica

Geomorfologia		
Classes	Área (km²)	%
Colinas com topos convexos	83,6	20,0
Colinas com topos tabulares	277,0	66,3
Pediplano degradado Inumado	4,9	1,2
Planícies e Terraços fluviais	43,3	10,3

Elaborado pela autora

A hipsometria é uma técnica de representação da elevação de um terreno através de cores. O conhecimento da altimetria de uma região nos auxilia no entendimento de seu escoamento superficial.

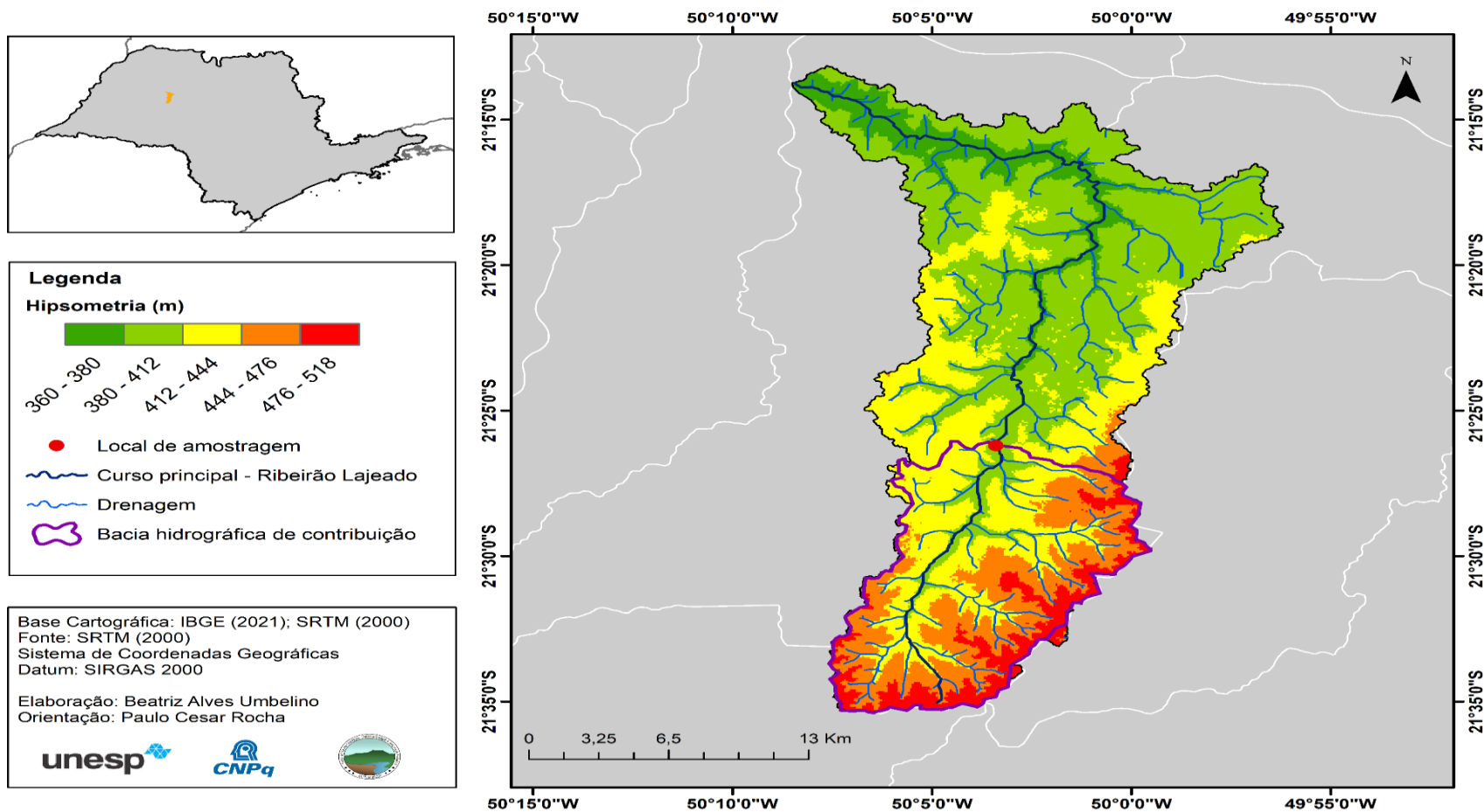


Figura 9. Hipsometria na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado

A identificação e análise hipsométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado possibilitou a observação e constatação da variação altimétrica do terreno, distribuídas em 5 classes iguais. Ao observar o mapa elaborado (figura 9), nota-se a presença de maiores elevações nos limites sul e sudeste da bacia hidrográfica, distante do canal principal, principalmente na área de cabeceira e médio curso do rio. As menores elevações deram-se junto ao leito do canal principal como sua maior presença na área de médio e baixo curso do rio.

A amplitude altimétrica da área de estudo varia de 339 a 510 metros. Sendo possível identificar que a bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado é caracterizada predominantemente por altitudes entre “380 a 412” metros, correspondendo a 42,2% da área total, seguida pela classe seguinte, “412 a 444” metros, com 28,1% da bacia hidrográfica em questão, onde se localiza o ponto de coleta limnológica. A menor altimetria encontrada é a de maior classe “476 a 518” metros, tendo 6,2% da área analisada.

Tabela 5. Porcentagem de classes hipsométricas relacionadas a área da bacia hidrográfica.

Hipsometria		
Classes	Área (km²)	%
360 – 380	38,4	9,2
380 – 412	176,4	42,2
412 – 444	117,3	28,1
444 – 476	59,7	14,3
476 – 518	26,0	6,2

Elaborado pela autora

A carta clinográfica ou de declividade, tem o objetivo de levantar e quantificar a inclinação ou declive do relevo.

A classificação da declividade revela o interesse no estabelecimento de critérios que sejam capazes de orientar o uso adequado do relevo, possibilitando a identificação de áreas suscetíveis aos processos erosivos e a movimentos de massa. Informações a respeito do declive das vertentes por si só são de considerável importância, tendo em vista a possibilidade de indicar fatores crítico e restritivo a determinados usos, como é o caso da rede viária e da agricultura. (IBGE, 2009, p. 114).

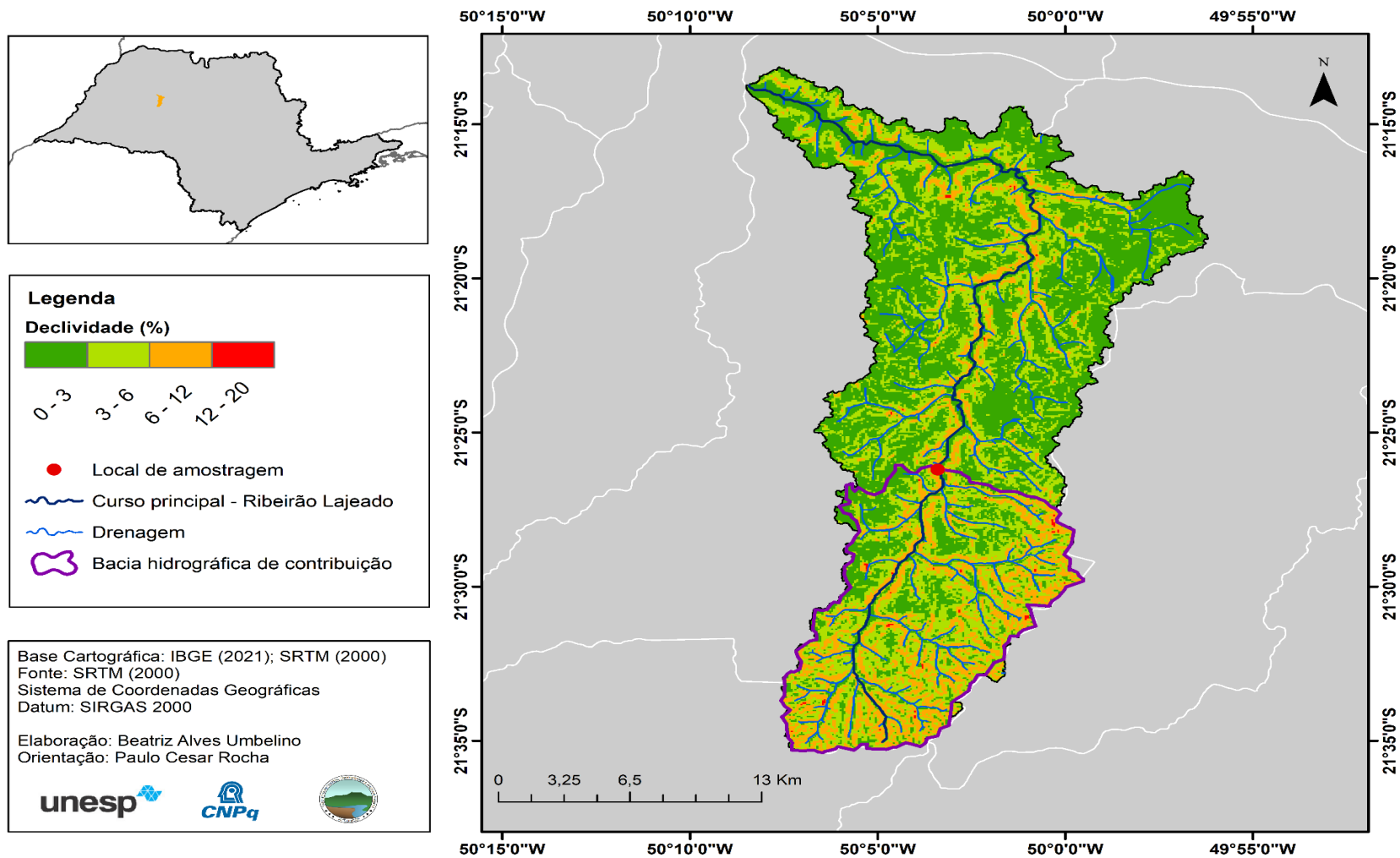


Figura 10. Declividade na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado

Seguindo a classificação de Ross (1994), as declividades na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado foram divididas em 4 classes: 0-3, 3-6, 6-12, 12-20, considerando a escala proposta para a área de estudo.

Ao analisar e interpretar o mapa de declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado observa-se que ela possui em seu alto e médio curso declives mais acentuados, enquanto os declives menos acentuados estão juntos ao leito do canal principal.

A declividade analisada como um dado contínuo dividida em 4 classes possui predominância da classe 0 - 3%, com 48,94% do total da área, correspondendo a 204,75 km², seguida pela classe 3 – 8% com 35,92% do total da bacia hidrográfica, com 150,28 km². A predominância dessa classe, primeira classe, na bacia hidrográfica como um todo pode mostrar que ela se encontra com baixas declividades, não tendo assim declives muitos acentuados.

Tabela 6. Porcentagem de classes clinográficas relacionadas a área da bacia hidrográfica.

Declividade		
Classes	Área (km²)	%
0 – 3	204,75	48,94
3 – 6	150,28	35,92
6 – 12	62,78	15,01
12 – 20	0,55	0,13

Elaborado pela autora

O mapa pedológico ou dos tipos de solo presentes na bacia hidrográfica mostrama presença de Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho e Argissolo Vermelho Amarelo.

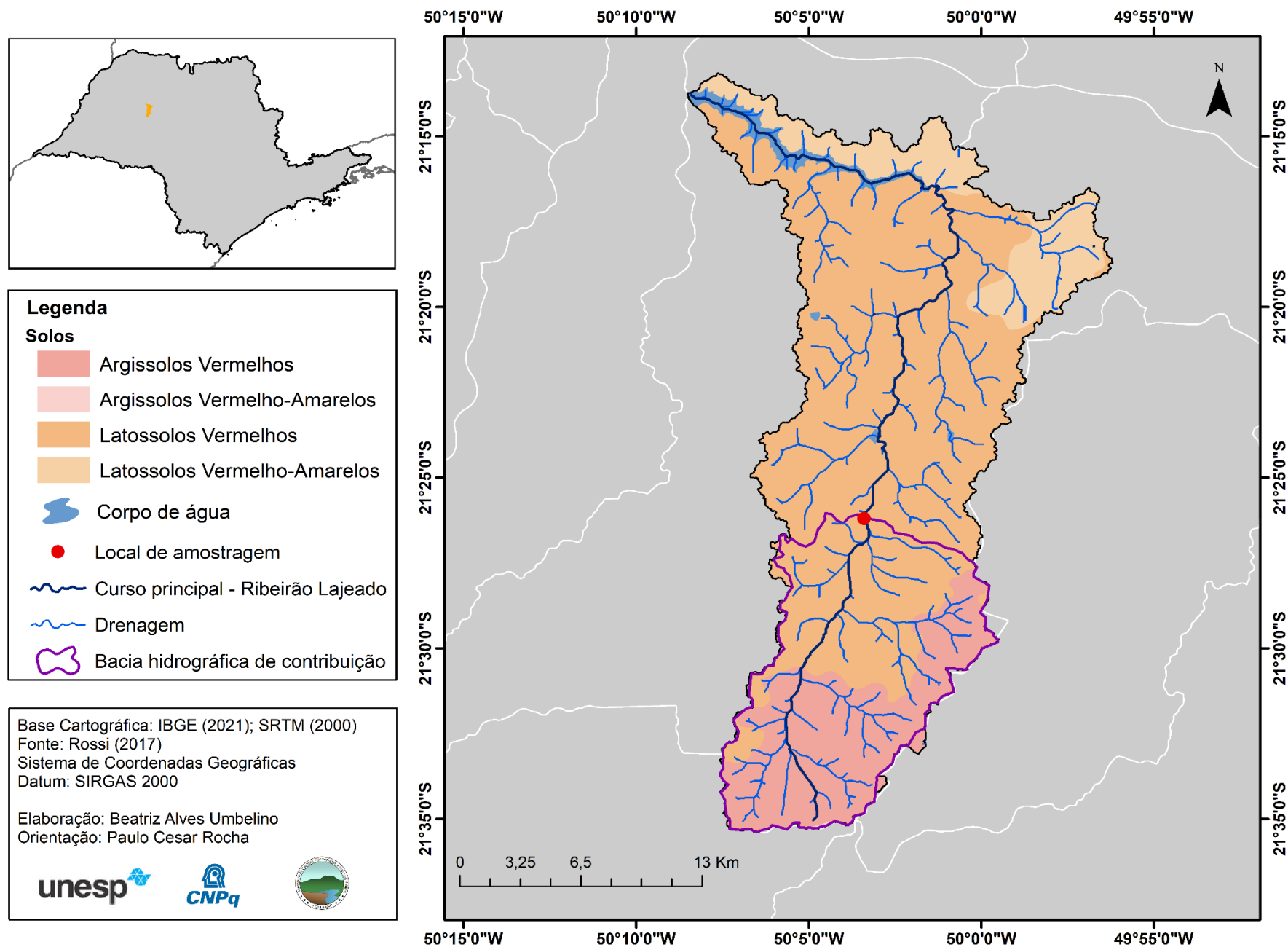


Figura 11. Distribuição dos principais tipos de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado

Segundo o “Sistema Brasileiro de Classificação de Solos”, publicado pela EMBRAPA (2018), os latossolos são um agrupamento de solos latossólicos. O latossolo vermelho distrófico é composto por solos minerais não hidromórficos, de coloração vermelho escuro e apresentam textura do substrato arenito, variando de argilosa a médiaargilosa, com saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B. O latossolo vermelho-amarelo distrófico, por sua vez, possui teores medianos de Fe_2O_3 , com saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA, 2018).

Seguindo a mesma classificação proposta pela EMBRAPA (2018), os argissolos são entendidos como grupamento de solos com B textural, com argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico. O argissolo vermelho eutrófico faz parte de um grupo de solos minerais com evolução pedogenética avançada, não hidromórfico, com saturação por bases $\geq 50\%$ na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B. Enquanto o argissolo vermelho amarelo eutrófico são solos bem a moderadamente drenados, variando de rasos a profundos e textura variando de arenosa/média a argilosa muito argilosa, com saturação por bases $\geq 50\%$ na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA, 2018).

Relacionando os tipos de solo presentes com a área total da bacia hidrográfica, fica em evidência que a classe pedológica latossolo vermelho predomina no local de estudo com 63,30%, correspondendo a 264,65 km² da área total.

Tabela 7. Porcentagem de classes pedológicas relacionadas a área da bacia hidrográfica.

Pedologia		
Classes	Área (km²)	%
Latossolo vermelho	264,65	63,30
Latossolo vermelho-amarelo	49,64	11,87
Argissolo vermelho	78,56	18,79
Argissolo vermelho-amarelo	0,14	0,04

Elaborado pela autora

6.2 Análise do uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado: perspectiva temporal

A partir da análise de imagens de satélites e da confecção de mapas da área de estudo, Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado, em ambiente GIS, determinaram-se as classes de uso e cobertura da terra existente na Bacia Hidrográfica, seguindo o “Manual técnico de uso da terra” do IBGE (2013), sendo elas: área urbanizada, cultura temporária, floresta, pastagem e curso d’água continental. Na perspectiva temporal, considerou-se a série de 2001 a 2021 e optou-se pela elaboração de 1 mapa de uso e cobertura do solo a cada 5 anos, ou seja, nos anos de 2001, 2006, 2011, 2016 e 2021, considerando que não houve grandes mudanças dentro de um ano na área de estudo.

O estudo ambiental que dá importância para a escala temporal, neste caso a cada 5 anos, permite observar as mudanças relacionadas ao uso e cobertura da terra com o passar dos anos. Isso significa que a partir desse tipo de análise foi possível perceber, por exemplo, o aumento da mancha urbana (área urbana da cidade de Penápolis/SP) presente na Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado; bem como notar a mudança quanto a área rural em que inicialmente predominava a pastagem passando a ser representada majoritariamente pela cultura temporária, entendida, neste caso, como a cultura da cana-de-açúcar.

É válido ressaltar, no entanto, que a metodologia utilizada para a classificação das imagens de satélite em ambiente GIS, classificação “não-supervisionada”, resultou na generalização de alguns elementos e atributos terrestres. Nesse sentido, a diferenciação e a quantificação das classes de usos foram afetadas, resultando na diferença dos cálculos de crescimento das áreas ao longo dos anos, como melhor explicado na seção de metodologia deste estudo.

➤ Uso e cobertura da terra 2001

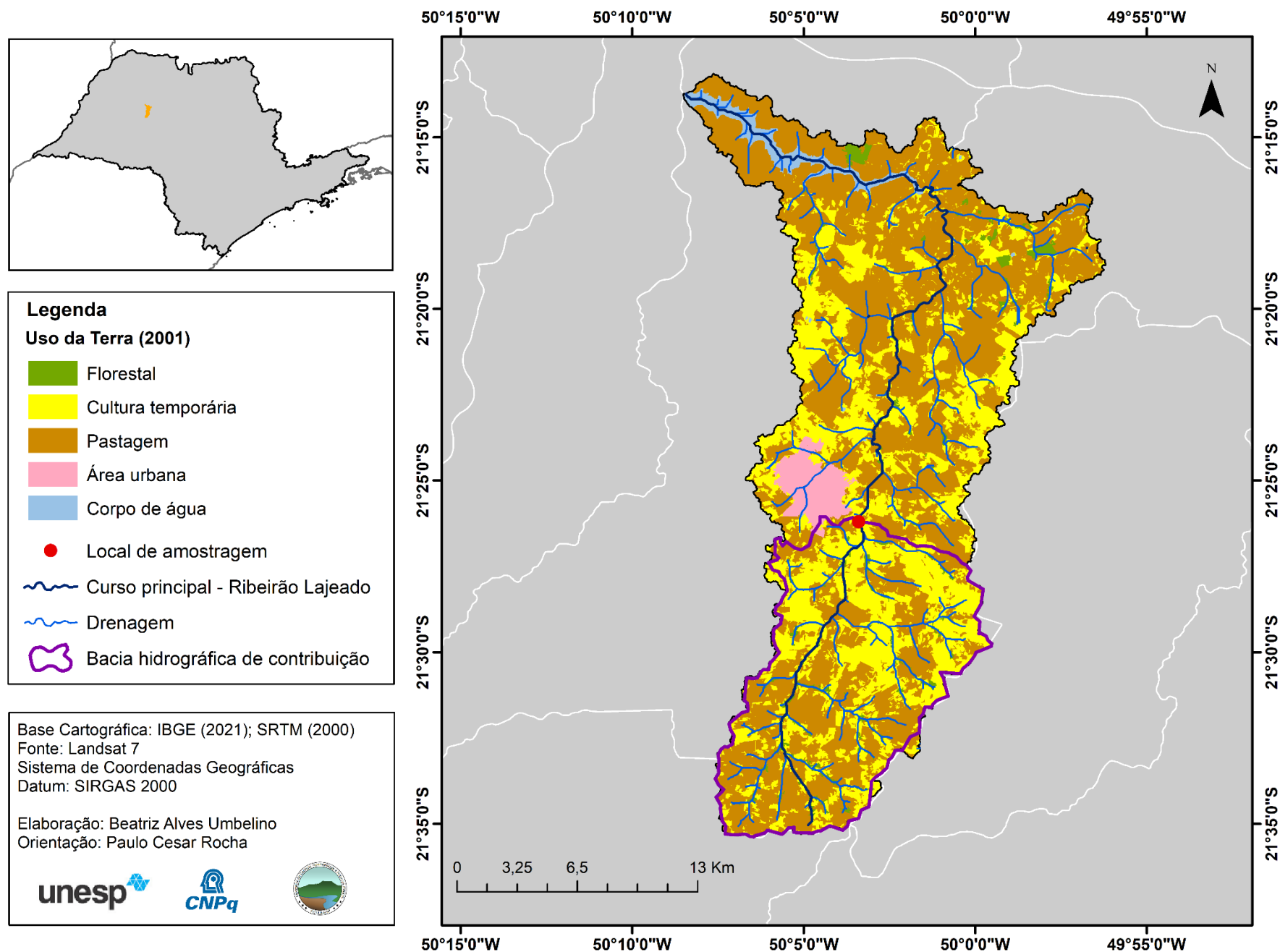


Figura 12. Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado em 2001

No mapa de uso e cobertura do ano de 2001 (figura 12) para a Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado é notável a presença predominante da classe de pastagem (59,65%), seguida pela área de cultura temporária (32,74%), entendida aqui como o cultivo de cana-de-açúcar. Nota-se também a presença da área urbana (2,65%), localizada no médio curso do canal principal, o ponto de coleta de variáveis limnológicas perto da área urbana e dispersos pequenos fragmentos florestais (2,70%), localizados ao norte da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado.

Tabela 8. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas a área da Bacia Hidrográfica em 2001.

Uso da Terra		
Classes	Área (km ²)	%
Área urbana	11,10	2,65
Cultura temporária	136,88	32,74
Florestal	11,30	2,70
Pastagem	249,40	59,65

Elaborado pela autora.

Ao considerar que todos os processos que ocorrem na Bacia Hidrográfica influem nas características presentes na água, o local de amostragem pode servir como marco para se observar mais de perto suas mudanças. Assim, optou-se por analisar também a Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado, que inclui a rede de drenagem da nascente do canal principal até o ponto de amostragem. Nesse sentido, a pastagem continua dominando a área de estudo (52,59), seguida pela cultura temporária (43,53%). É interessante ressaltar que, por meio desse ponto de vista, a área florestal (3,66%) é maior que a ocupada pelo urbano (0,22%).

Tabela 9. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas a área da Sub-bacia Hidrográfica em 2001.

Uso da Terra		
Classes	Área (km ²)	%
Área urbana	0,32	0,22
Cultura temporária	63,07	43,53
Florestal	5,30	3,66
Pastagem	76,19	52,59

Elaborado pela autora

- Uso e cobertura da terra 2006

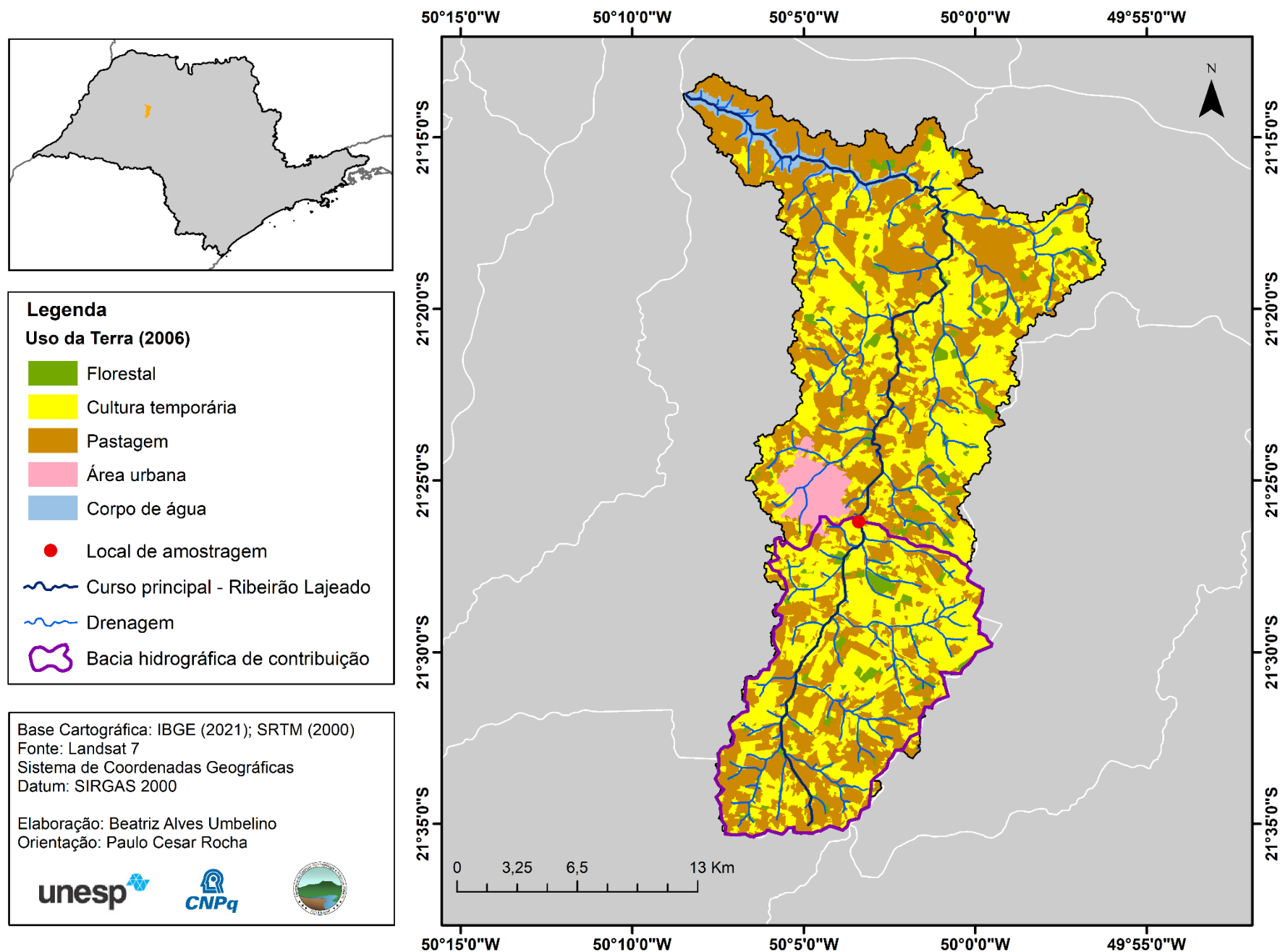


Figura 13. Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado em 2006

O mapa de uso e cobertura da terra em 2006 (figura 13) apresenta mudanças em relação ao de 2001 (figura 12). A partir desse ano, é possível observar que a pastagem, representando 43,5% da área total da bacia hidrográfica, dá lugar à cultura temporária, ficando com 47,1% da área de estudo.

Tabela 10. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas a área da Bacia Hidrográfica em 2006.

Uso da Terra		
Classes	Área (km ²)	%
Área urbana	10,4	2,5
Cultura temporária	196,8	47,1
Florestal	19,9	4,8
Pastagem	181,5	43,5

Elaborado pela autora.

A Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado no ano de 2006 também demonstrou mudanças, relacionadas a 2001. Seguindo o padrão da bacia hidrográfica, na sub-bacia hidrográfica também predomina, agora, a cultura temporária com 53,6% da área, seguida pela pastagem, com 40,7%.

Tabela 11. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas a área da Sub-bacia Hidrográfica em 2006.

Uso da Terra		
Classes	Área (km ²)	%
Área urbana	0,4	0,2
Cultura temporária	77,6	53,6
Florestal	7,9	5,4
Pastagem	59,0	40,7

Elaborado pela autora.

- Uso e cobertura da terra 2011

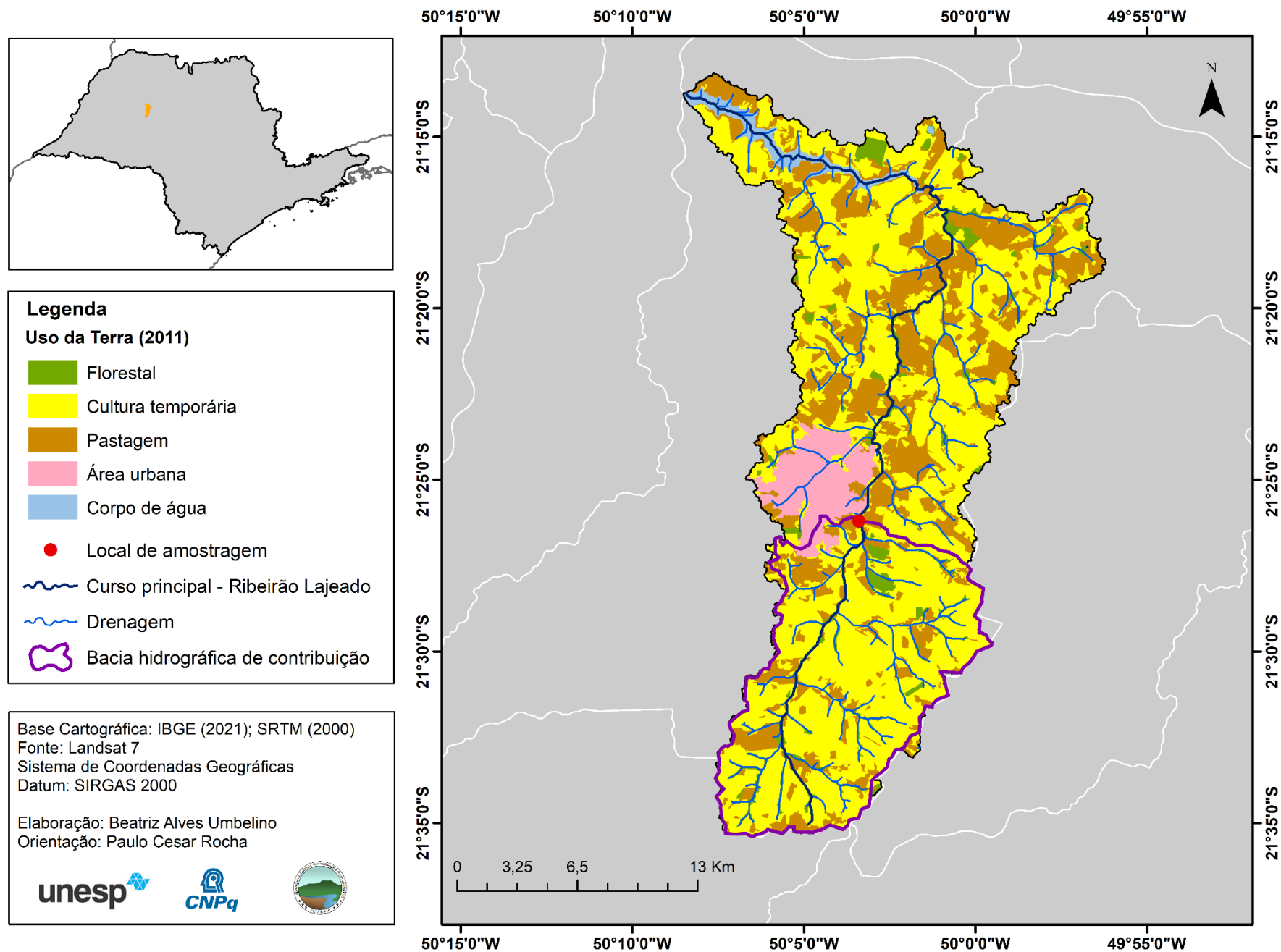


Figura 14. Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado em 2011

O mapa confeccionado de uso e ocupação da terra para o ano de 2011 (figura 14) apresenta a confirmação da tendência das classes de uso em 2006 (figura 13). Nesse sentido, é possível observar o definitivo aumento da cultura temporária frente à pastagem, tornando-se o uso predominante na Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado, ocupando 74,85% da área de estudo. Além disso, é possível perceber o aumento da área urbana, com 3,08% e da área florestal, 5,49%.

Tabela 12. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas a área da Bacia Hidrográfica em 2011.

Uso da Terra		
Classes	Área (km²)	%
Área urbana	22,2	5,3
Cultura temporária	255,5	61,1
Florestal	16,3	3,9
Pastagem	115,1	27,5

Elaborado pela autora.

Em relação à área da sub-bacia, manteve-se o que foi encontrado na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado, com aumento perceptível da cultura temporária, representando 75,5% da área. Já a classe da pastagem diminuiu pouco mais da metade de sua área em relação à análise anterior (2006), passando a ser, neste momento, 18,2% da área.

Tabela 13. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas à área da Sub-bacia Hidrográfica em 2011.

Uso da Terra		
Classes	Área (km²)	%
Área urbana	1,9	1,3
Cultura temporária	109,3	75,5
Florestal	7,3	5,0
Pastagem	26,4	18,2

Elaborado pela autora.

- Uso e cobertura da terra 2016

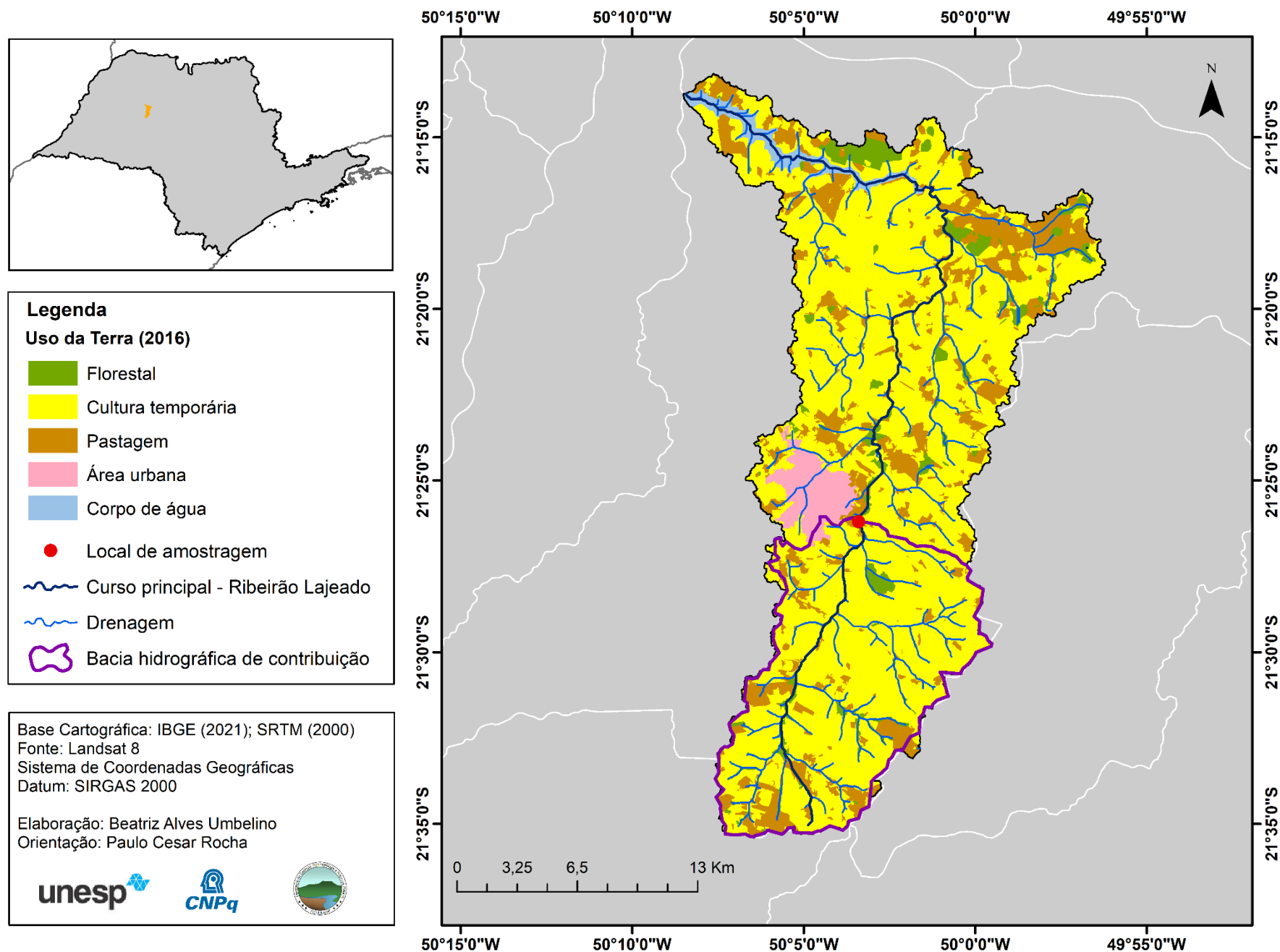


Figura 15. Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado em 2016

O uso e ocupação da terra no ano de 2016, figura 15, destaca-se pelo contínuo aumento da área destinada à cultura temporária e aumento da cobertura florestal. Em contrapartida, a pastagem diminuiu em sua composição total na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado. Nesse sentido, cabe ressaltar que a cultura temporária passou a ter 72,7% da área de estudo.

Tabela 14. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas à área da Bacia Hidrográfica em 2016.

Uso da Terra		
Classes	Área (km ²)	%
Área urbana	13,3	3,2
Cultura temporária	304,0	72,7
Florestal	19,9	4,8
Pastagem	72,0	17,2

Elaborado pela autora.

Diferente do encontrado na área da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado, na sub-bacia houve o aumento da cultura temporária, passando a compor 82,6% da rede de drenagem e a diminuição da classe de pastagem, ocupando, neste ano, 13,4% da área.

Tabela 15. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas à área da Sub-bacia Hidrográfica em 2016.

Uso da Terra		
Classes	Área (km ²)	%
Área urbana	0,7	0,5
Cultura temporária	119,7	82,6
Florestal	5,1	3,5
Pastagem	19,4	13,4

Elaborado pela autora.

- Uso e cobertura da terra 2021

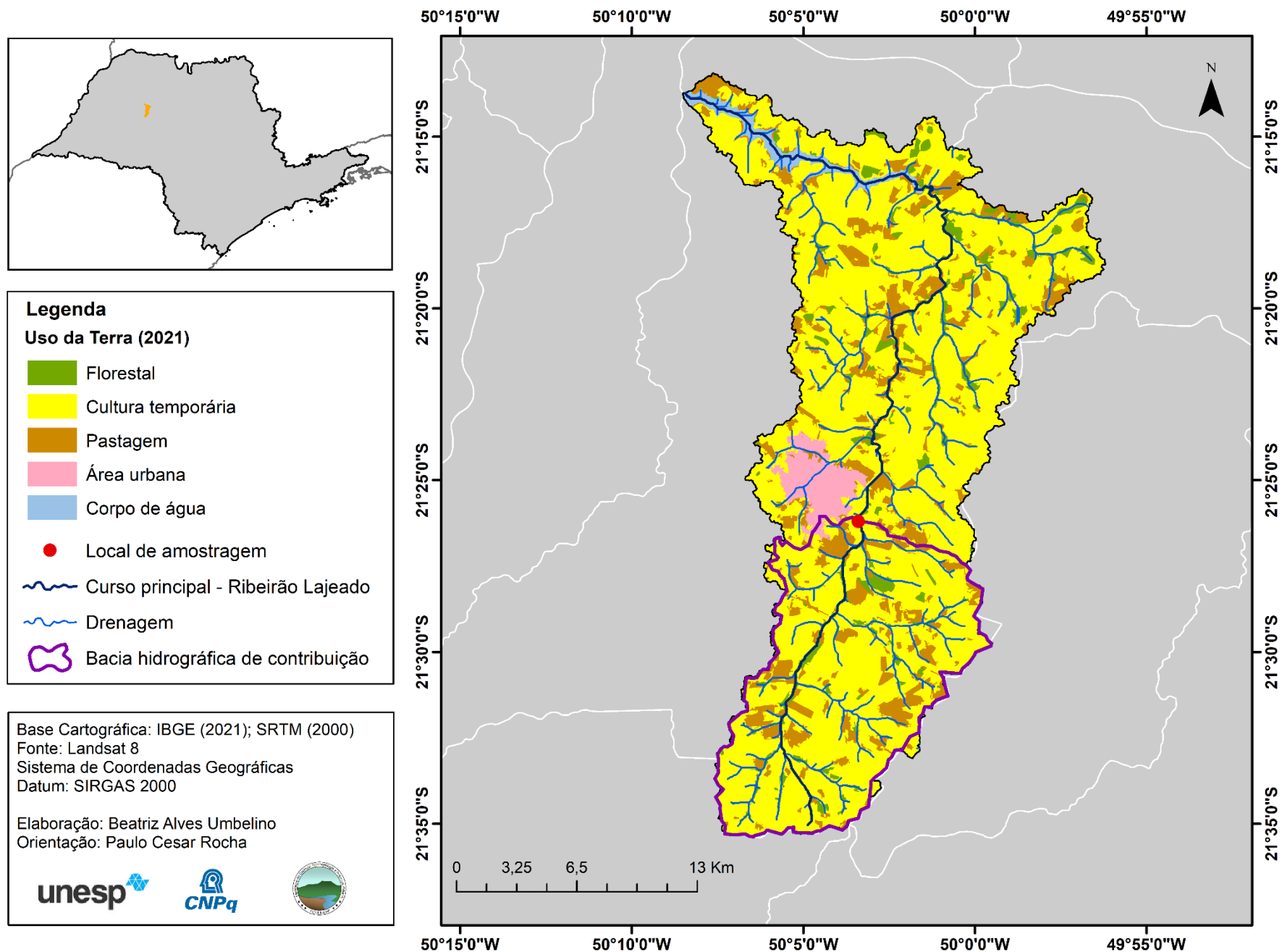


Figura 16. Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado em 2021

Completando o ciclo de 20 anos de análises, o uso e ocupação da terra no ano de 2021 nos mostra a situação atual em que a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado se encontra. Ao relacionar o uso e ocupação encontrado no ano de 2016 e no ano de 2021, é possível notar que a classe de cultura temporária ainda é predominante, com 74,9% da área total, porém, teve diminuição de 2,2% quanto à análise anterior. Além disso, a área urbana e a pastagem tiveram aumentos em suas áreas, com 3,0% e 14,6%, de ocupação em relação à Bacia Hidrográfica total, respectivamente.

Tabela 16. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas à área da Bacia Hidrográfica em 2021.

Uso da Terra		
Classes	Área (km²)	%
Área urbana	12,6	3,0
Cultura temporária	113,0	74,9
Florestal	23,0	5,5
Pastagem	61,2	14,6

Elaborado pela autora.

No recorte da área que se limita ao ponto de amostragem das variáveis limnológicas e sua rede de drenagem, ocorreu o mesmo fenômeno observado na Bacia Hidrográfica como um todo. A cultura temporária continuou predominando com diminuição ao ano de 2016, ocupando 78% da área. Houve aumento também nas classes florestal e pastagem, passando a ocupar 5,5% e 16,2%, respectivamente.

Tabela 17. Porcentagem de classes de uso da terra relacionadas à área da Sub-bacia Hidrográfica em 2021.

Uso da Terra		
Classes	Área (km²)	%
Área urbana	0,5	0,3
Cultura temporária	113,0	78
Florestal	7,9	5,5
Pastagem	23,5	16,2

Elaborado pela autora.

6.3 Escoamento superficial presente na Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado

Por meio dos dados do meio físico, hidrológicos e de uso e cobertura da terra é possível realizar uma análise mais aprofundada das relações presentes entre os elementos listados. Assim, o estudo do escoamento superficial é um aliado na observação das alterações negativas ou positivas que ocorrem nos cursos de água em função de práticas de manejo.

Nesse sentido, utilizou-se como base o estudo de Umbelino, Santos e Rocha (2023) que realizaram o mapeamento do escoamento superficial na Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado nos anos 2006, 2011, 2016 e 2021. Os mapas de escoamento superficial revelam a predominância de áreas com potencial muito alto de escoamento nos anos estudados, relacionando-se com o uso e cobertura da terra de cultura temporária (cana-de-açúcar) em argissolos vermelhos.

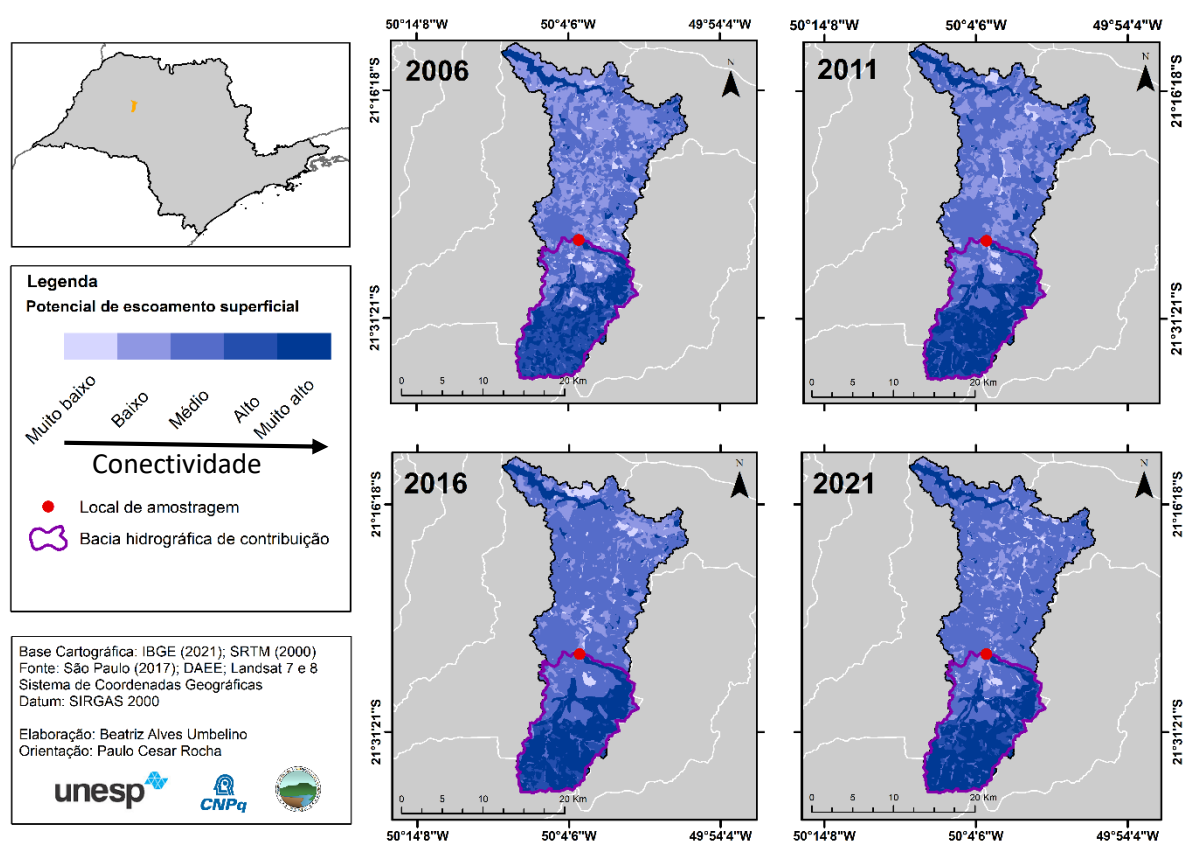


Figura 17. Distribuição das classes de Potencial de Escoamento Superficial na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado

Fonte: Umbelino; Santos; Rocha (2023).

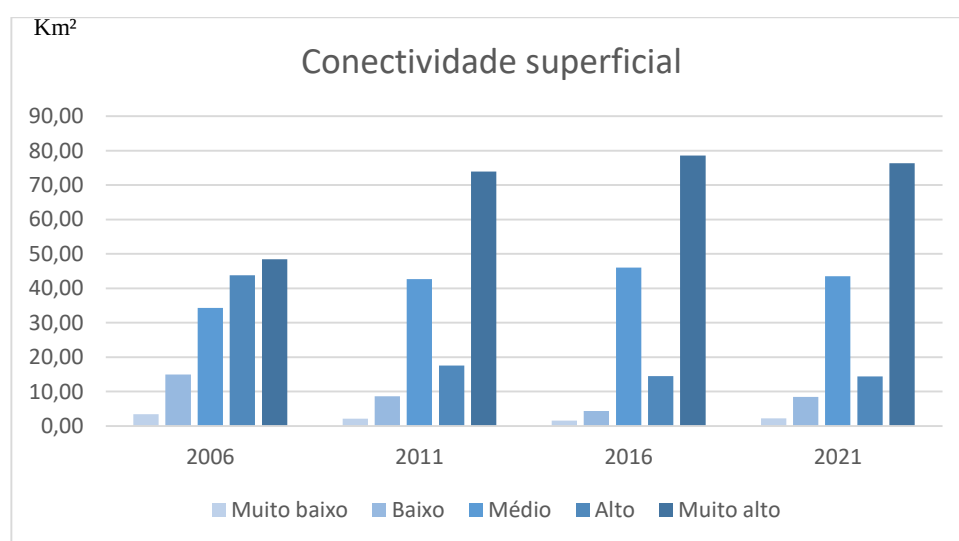
A análise temporal realizada no estudo em questão comunica a presença significativa do escoamento muito alto e alto, principalmente na área da Bacia Hidrográfica de contribuição. Relacionando com as modificações do uso e cobertura da terra, a passagem da predominância de pastagem para cultura temporária, é notável que à medida que a cultura temporária ganha espaço na área, o escoamento superficial se agrava.

Observou-se, da mesma maneira, a resposta do processo de escoamento à alteração do uso da terra de pastagem para culturas temporárias, estas que, no caso do Pontal, compreendem em sua maioria plantações de cana-de-açúcar. O escoamento aumentou nas áreas em que a cultura foi implantada, mesmo em solos com alta capacidade de infiltração (Santos, 2018, p. 87).

Em sua pesquisa, na UGRHI 22, Santos (2018), argumenta que o uso e cobertura da terra desempenha uma influência sob a capacidade da água de infiltrar o solo, dificultando o processo de escoamento superficial da água. Assim, o uso e a cobertura do solo podem modificar propriedades naturais do ambiente como a forma de infiltrar, escoar ou evaporar, afetando o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica. Tais observações também são encontradas na UGRHI 19, área de estudo.

Dessa forma, é possível compreender melhor a conectividade presente na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado, onde quanto maior o escoamento superficial mais se alterará a limnologia no canal fluvial, portanto, maior será a conectividade entre o canal fluvial e a bacia hidrográfica. Assim, podemos considerar o escoamento superficial como a conectividade superficial da área de estudo.

Gráfico 5. Conectividade superficial



Elaborado pela autora.

O gráfico acima exibe a maior proporção de conectividade média e muito alta nos anos analisados, também pode-se observar o crescimento do escoamento muito alto entre os anos 2006, 2011 e 2016, tendo um ligeiro decréscimo em 2021.

Esse resultado vai de acordo com as ações desenvolvidas pelo Consórcio Intermunicipal do Ribeirão Lajeado, que verifica a existência de alguns pontos críticos no que se refere à erosão e ao assoreamento do canal fluvial, assim, entende como área prioritária para a aplicação de seus projetos a sub-bacia a montante do ponto de captação d'água do município de Penápolis. A modificação da cobertura natural por predominância de pastagem e, com os anos, cultura temporária, sem manejo adequado, é preocupante pois intensifica os processos erosivos ligados ao escoamento superficial, reduzindo a fertilidade dos solos e a disponibilidade hídrica.

6.4 Análise das variáveis limnológicas do Ribeirão Lajeado

O canal fluvial do Ribeirão Lajeado é classificado, segundo o Decreto Estadual 10.755/1977, como água doce de classe II (DAEP, 2005). Dessa forma, suas águas podem ser destinadas:

a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e e) à aquicultura e à atividade de pesca (CONAMA, 2005).

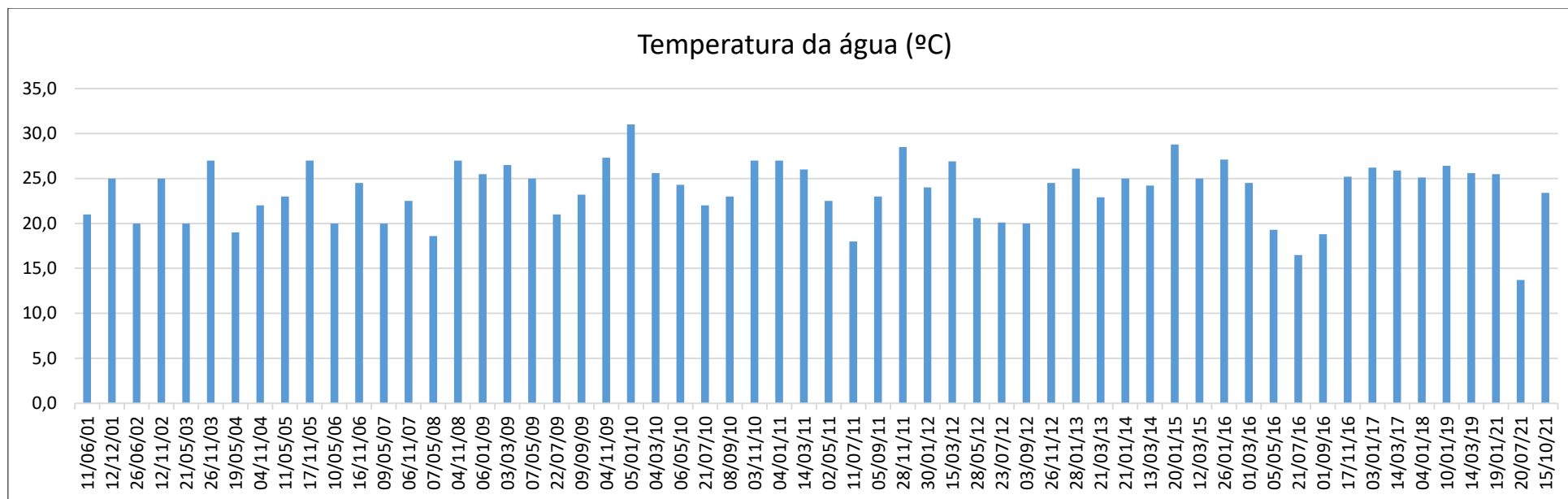
A aquisição das medidas das 9 variáveis limnológicas deu-se por meio do banco de dados disponibilizados pela CETESB, como descrito na metodologia.

➤ **Temperatura da água**

A temperatura da água durante a série temporal analisada ficou predominantemente entre 20° C e 25° C. É válido ressaltar que a menor temperatura da água medida foi de 13,7° C, em 20/07/2021, e a maior temperatura foi de 28,8° C em 20/01/2015, portanto, pode-se dizer que a temperatura variou 15,1° C. O cálculo da média da temperatura da água foi de 23,7° C.

A temperatura da água e suas variações serve como um verdadeiro termômetro para sua qualidade ambiental. A causa do seu aquecimento ou de seu resfriamento, nesse caso, pode estar relacionada à retirada e reintrodução da cobertura vegetal natural, como as matas ciliares, sendo benéfico para organismos aquáticos seu resfriamento.

Gráfico 6. Variação temporal da temperatura da água na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado



Elaborado pela autora

*Dado não parametrizado pelo CONAMA 357, 200

➤ **Oxigênio dissolvido**

O teor de oxigênio dissolvido está intimamente relacionado à poluição da água, assim, uma água não poluída possui maior teor de OD enquanto uma água poluída possui menor teor da mesma variável. Além disso, o oxigênio dissolvido pode ser relacionado com a temperatura da água. Nesse caso, a elevação da temperatura faz com que haja maior decomposição da matéria orgânica resultando na perda da taxa de OD. A velocidade da água é outro fator relevante para a análise do oxigênio dissolvido em rios.

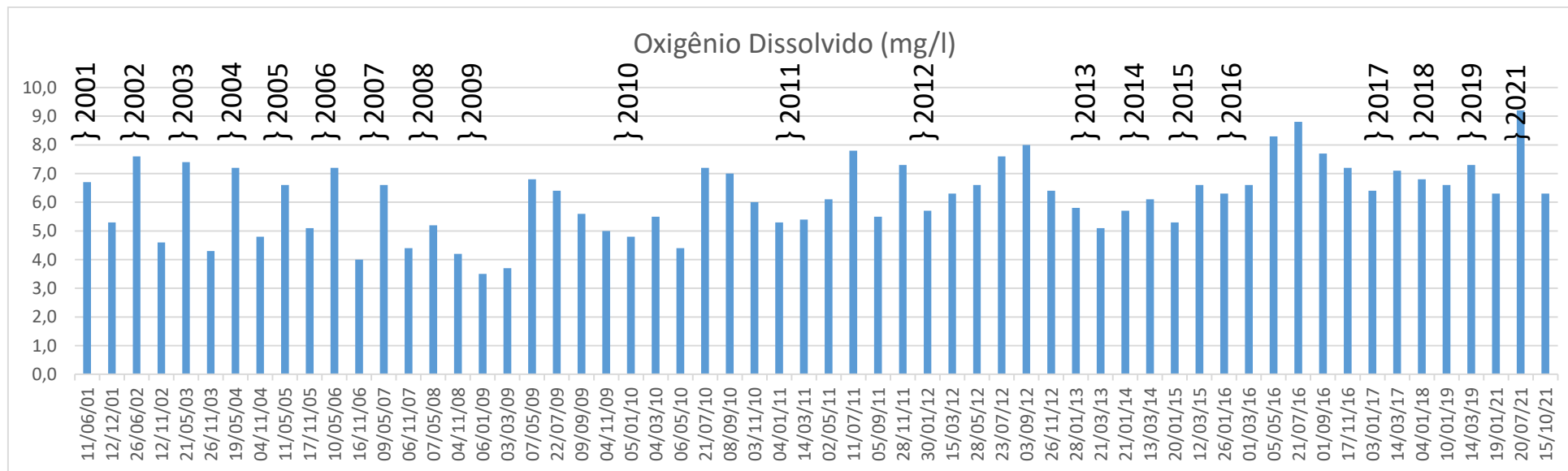
Ao observar o gráfico com as medições de oxigênio dissolvido no período analisado, é possível perceber a relação entre a temperatura da água e o oxigênio dissolvido, principalmente no ano de 2021, onde a temperatura da água aumentou enquanto a quantidade de oxigênio dissolvido diminuiu no mesmo período.

Em relação às taxas de oxigênio dissolvido, o menor teor se deu em 06/01/2009, com 3,5 mg/l, e o maior valor em 20/07/2021, com 9,2 mg/l. A média de todas as medições de oxigênio dissolvido na série temporal estudada foi a de 6,2 mg/l. Segundo o “Portal da Qualidade das Águas”, fornecido pela ANA,

“as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido mais elevadas, geralmente superiores a 5mg/L, exceto se houverem condições naturais que causem baixos valores deste parâmetro” (ANA).

Valores superiores a 10 mg/l são considerados como supersaturação. Dessa forma, considerando os valores encontrados, mínimo, máximo e a média, é possível dizer que a água do Ribeirão Lajeado durante a série analisada pode ser considerada como limpa, dentro dos padrões de qualidade da Agência Nacional de Águas.

Gráfico 7. Variação temporal do oxigênio dissolvido na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado.



Elaborado pela autora

Dado não inferior a 5mg/L O₂ (CONAMA 357, 2005)

➤ **Demanda Bioquímica de Oxigênio**

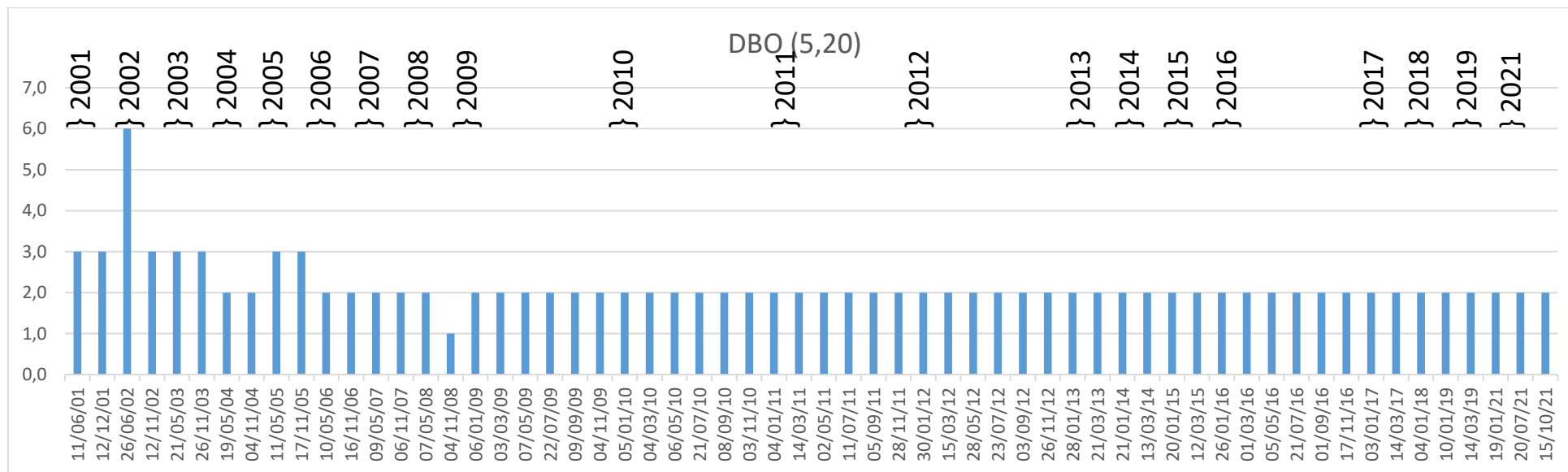
A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) corresponde ao consumo de oxigênio por organismos vivos. A denominação 5,20 refere-se ao processo de análise da variável, em que é considerada a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica na água, utilizando para tanto o período de 5 dias em temperatura de 20°C.

O “Portal de qualidade das Águas” aponta que

valores altos de DBO 5,20, num corpo d'água são provocados geralmente causados pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente esgotos domésticos. A ocorrência de altos valores deste parâmetro causa uma diminuição dos valores de oxigênio dissolvido na água, o que pode provocar mortandades de peixes e eliminação de outros organismos aquáticos. (ANA, 2021)

Ao analisar o gráfico de DBO (5,20) é notória a predominância do valor de 2 mg/l durante a série temporal analisada. Além disso, o maior valor encontrado foi o de 6 mg/l em 26/06/2002, enquanto o menor valor foi o de 1 mg/l em 04/11/2008 seguindo com 2 mg/l em todas as outras medições (2001-2021).

Gráfico 8. Variação temporal da demanda bioquímica de oxigênio na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado



Elaborado pela autora

Permitido até 5mg/L O₂ (CONAMA 357, 2005)

➤ **Potencial Hidrogeniônico**

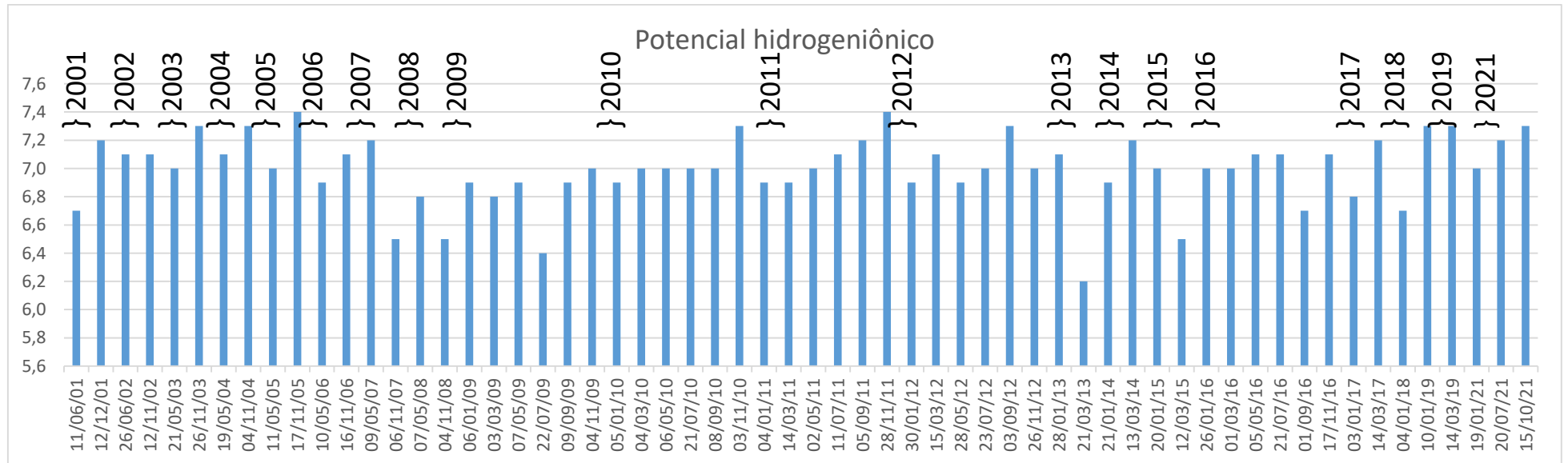
O valor de potencial hidrogeniônico expressa a concentração de íons de hidrogênio na solução estudada, demonstrando, assim, sua acidez (maior que 7) ou a basicidade (menor que 7), considerando a escala de pH indo do 0 ao 14. Ao se analisar o potencial hidrogeniônico de corpos d'água, ressaltando sua qualidade, os valores encontrados tendem a ser ligeiramente básicos. Sua acidificação assim como sua basicidade de forma excessiva a tornam imprópria para uso.

De acordo com a Agência Nacional de Águas, para a proteção da vida aquática, o ideal é manter o pH entre 6 e 9 em corpos d'água. Nessa faixa, há uma maior facilidade de trocas iônicas com o meio extracelular, influenciando assim os processos bioquímicos.

Os valores de pH medidos no Ribeirão Lajeado entre os anos de 2001 e 2021 têm variações de valores entre 6 e 7. A menor quantidade de pH encontrada foi de pH 6,2 21/03/2013, enquanto o maior valor medido é o pH 7,4 em 17/11/2005 e 28/11/2011. A média dos valores de pH é de 7,0, sendo um potencial hidrogeniônico neutro.

Considerando os valores medidos de pH, seu mínimo, seu máximo e sua média é possível afirmar que o Ribeirão Lajeado segue o parâmetro para a proteção da vida aquática, indo ao encontro da resolução CONAMA (2005) 357, que a estabelece como classe II para águas doces.

Gráfico 9. Variação temporal do potencial hidrogeniônico na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado



Elaborado pela autora

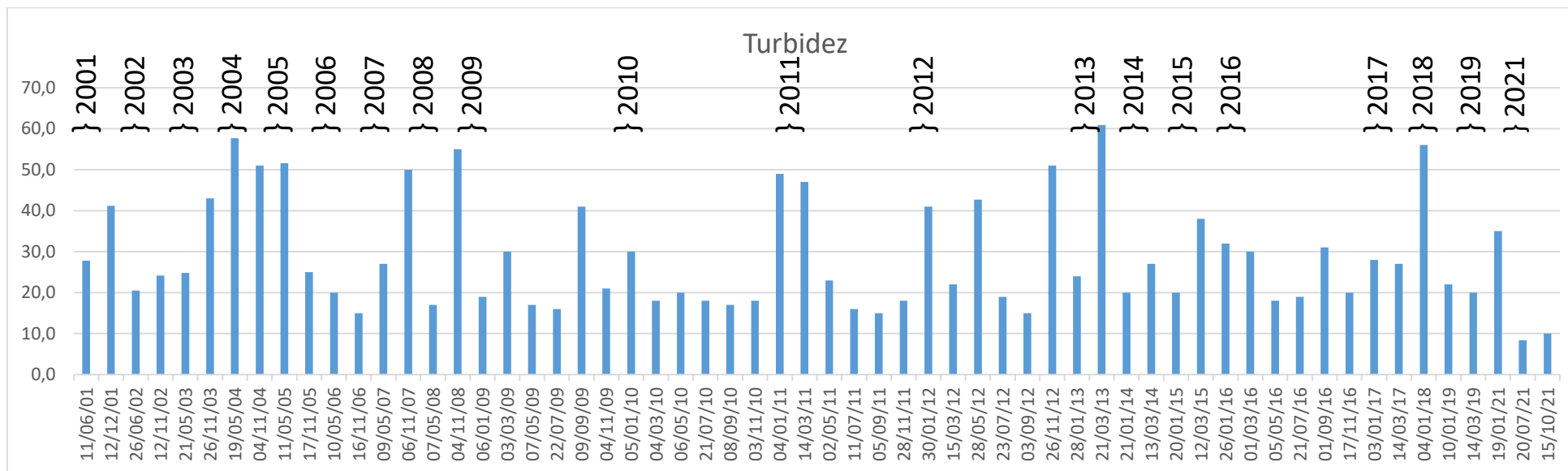
Permitido pH entre 6,0 e 9,0 (CONAMA 357, 2005)

➤ **Turbidez**

A variável limnológica turbidez diz respeito às substâncias suspensas na coluna d'água. Assim, sua medição dá-se por equipamento que identifica as partículas suspensas na água através da óptica, observando o espalhamento ou absorção da luz na amostra. Dada as informações anteriores, é possível dizer que quanto maior for a turbidez encontrada na água, menor será seu grau de transparência. O alto grau de turbidez influencia as comunidades biológicas aquáticas, diminuindo a produção de fotossíntese.

Ao analisar o gráfico de turbidez, levando em consideração os anos de 2001-2021, é possível observar que predominantemente os valores não ultrapassam os 50 NTU, sendo sua média 28,7 NTU. Em relação a valores, a menor turbidez medida no Ribeirão Lajeado foi em 15/10/2021, com 10 NTU medidos, sendo seguido pela maior taxa de turbidez, 60,9 NTU em 21/03/2013. É válido ressaltar que a maior medição de turbidez se relaciona com um dia de chuva na coleta de dados. A alta turbidez aumenta os custos do tratamento das águas para mananciais, visto que necessita de maior quantidade de produtos químicos para controlá-la.

Gráfico 10. Variação temporal da turbidez na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado



Elaborado pela autora

Permitido até 100 NTU(CONAMA 357, 2005)

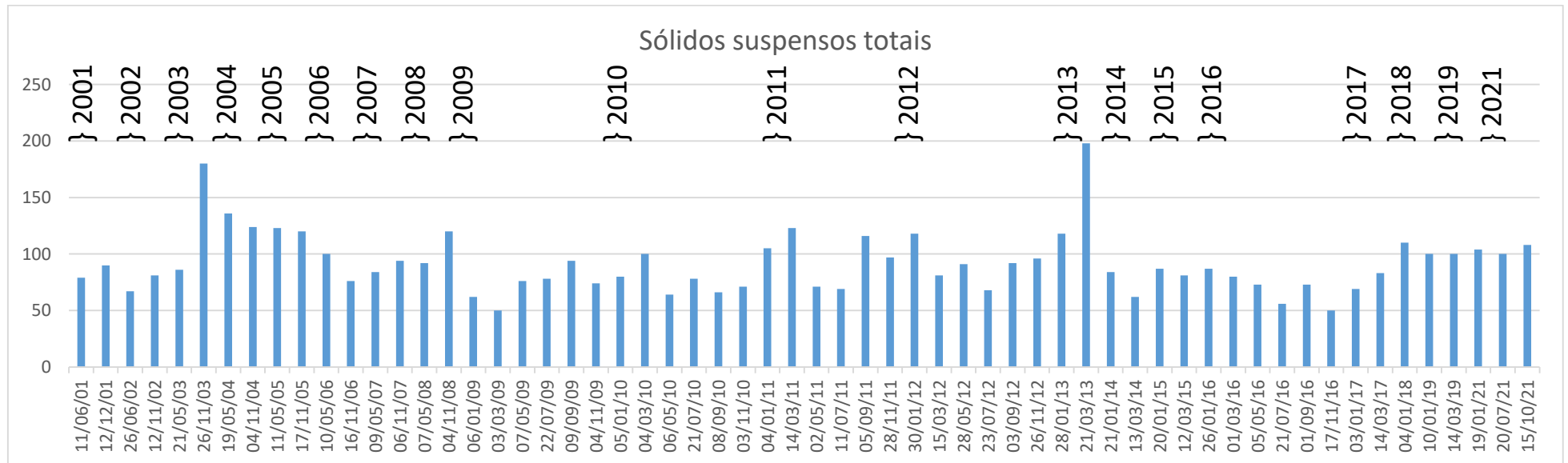
➤ **Sólidos suspensos totais**

Os sólidos suspensos totais são a substância que permanece em suspensão após os procedimentos laboratoriais da amostragem (evaporação, secagem, calcinação), e seu valor pode ser relacionado à turbidez da água da amostragem. A deposição dos resíduos suspensos nos leitos de rios pode causar assoreamento, gerando problemas ambientais como o aumento de enchentes e danos à vida aquática, por exemplo.

Analisando os dados coletados de sólidos suspensos totais, é possível observar sua variação entre >80 mg/l e <120 mg/l. O maior valor da concentração de sólidos totais encontrado foi o de 116 mg/l em novembro de 2001. Já o menor valor encontrado na série analisada foi de 80 mg/l em maio de 2016 e sua média tem o valor de 90,2 mg/l, tendo uma ótima avaliação segundo o gráfico de qualidade da água em função de sua concentração medida.

É possível perceber, relacionando as variáveis, que o aumento nos valores de sólido suspenso total coincide com valores maiores encontrados na variável turbidez (226 NTU), reforçando assim a premissa de que são variáveis dependentes (resíduo total é dependente da turbidez). Outro aspecto a se levar em consideração é o de que nas medições analisadas, as concentrações maiores são encontradas, em sua maioria, no mês de novembro, podendo, assim, ser relacionado ao clima, sendo um dos meses mais chuvoso da área de estudo.

Gráfico 11. Variação temporal de sólidos totais na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado



Elaborado pela autora

Valor máximo de 500mg/L (CONAMA 357, 2005)

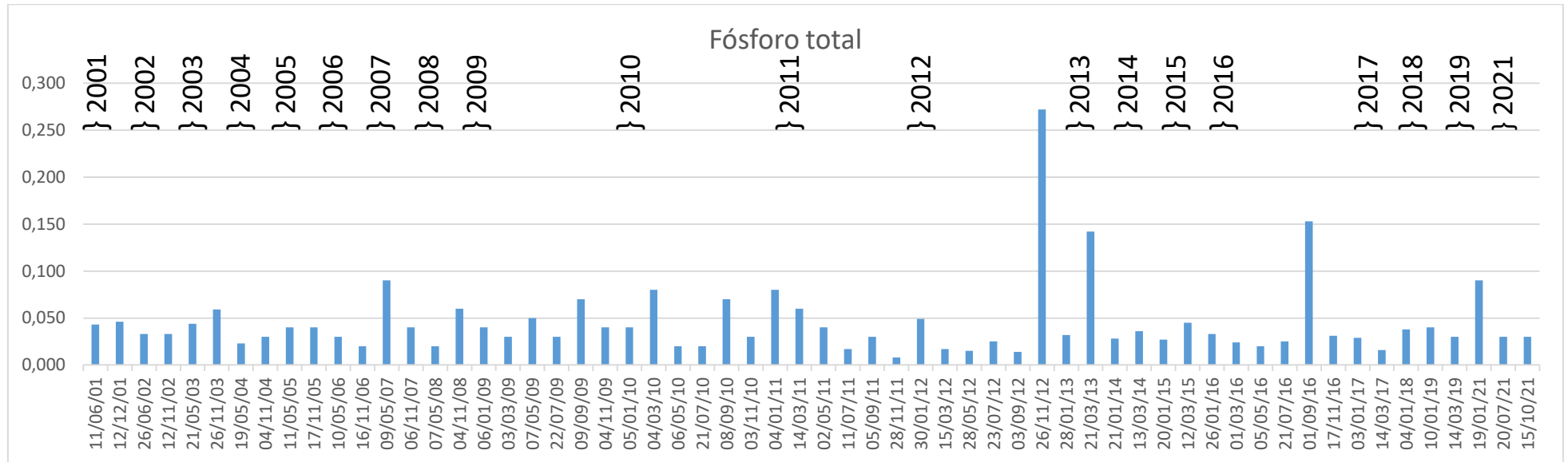
➤ **Fósforo total**

O fósforo total é uma variável limnológica que pode servir como um bom parâmetro para observar a poluição local das águas, visto que o aumento de fósforo total nas águas significa a eutrofização artificial dos ambientes aquáticos. É válido ressaltar que a presença do fósforo é importante para o funcionamento do metabolismo dos seres vivos e seu aumento, em águas naturais, se deve principalmente a esgoto sanitário (doméstico), seguido de áreas agrícolas (fertilizantes) e efluentes industriais (IAP, 2005).

A menor concentração de fósforo encontrada foi de 0,008 mg/l em 28/11/2011, enquanto a maior concentração de fósforo foi de 0,272 mg/l em 26/11/2012. A média de fósforo total para a série analisada foi de 0,045 mg/l.

Nesse sentido, cabe ressaltar a pequena distância que há entre a nascente e o ponto de coleta das amostragens, fazendo com que não haja tanta fonte de poluição da água. Além disso, os resultados das análises de uso e cobertura da terra mostram a predominância dos seguintes usos: pastagens e cultura temporária (cana-de-açúcar) a montante da captação d'água.

Gráfico 12. Variação temporal de fósforo total na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado



Elaborado pela autora

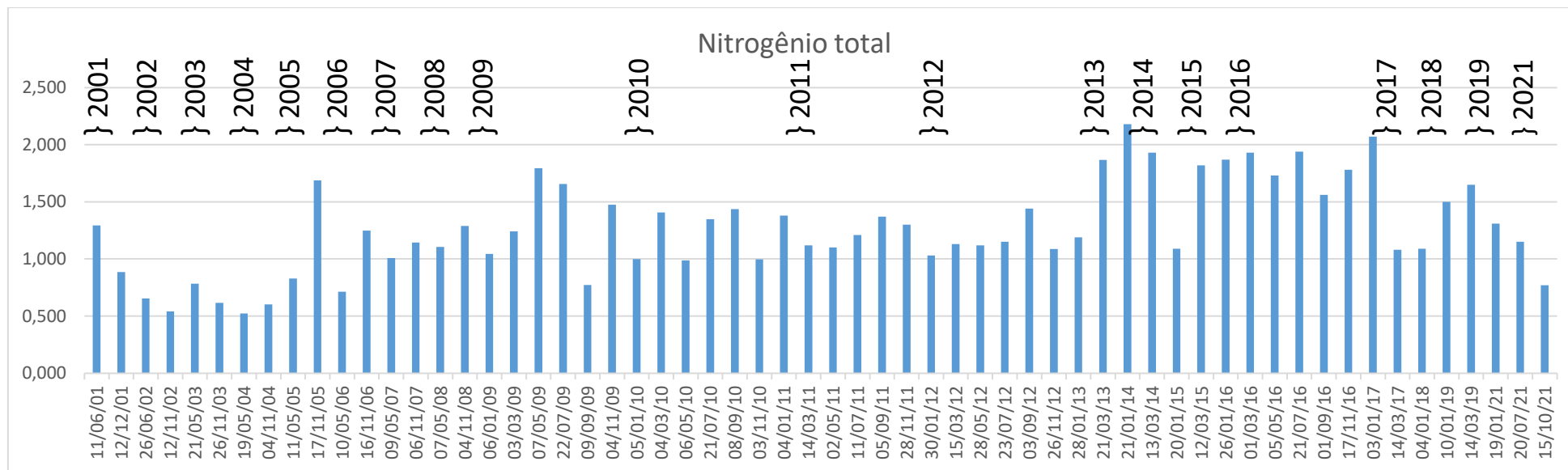
Permitido até 0,050mg/L em ambientes intermediários (CONAMA 357, 2005)

➤ **Nitrogênio total**

Assim como o parâmetro fósforo total, o nitrogênio total tem importância no metabolismo do ecossistema aquático, tendo como fonte natural o material orgânico e inorgânico. O aumento de nitrogênio pode ocorrer de forma natural e antrópica, sendo a segunda constituída pela contaminação de esgoto doméstico, industrial, advindos da criação de animais e da agricultura. Por sua vez, o acréscimo de nitrogênio total no ambiente aquático natural, juntamente com o fósforo total, favorece o crescimento de algas, ocorrendo assim a eutrofização, sendo prejudicial ao ambiente.

Seguindo os parâmetros adotados pela CETESB na coleta das variáveis limnológicas, o nitrogênio total é formado pelo nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato, nitrogênio nítrito e nitrogênio kjeldahl. É possível perceber que a menor amostragem ocorreu no dia 19/05/2004, com 0,523 mg/l, enquanto a maior concentração de nitrogênio total é de 2,180 mg/l em 21/01/2014 e a média dos valores medidos foi a de 1,267 mg/l.

Gráfico 13. Variação temporal de nitrogênio total na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado



Elaborado pela autora

A soma do nitrogênio total não se encontra parametrizada pelo CONAMA 357, 2005

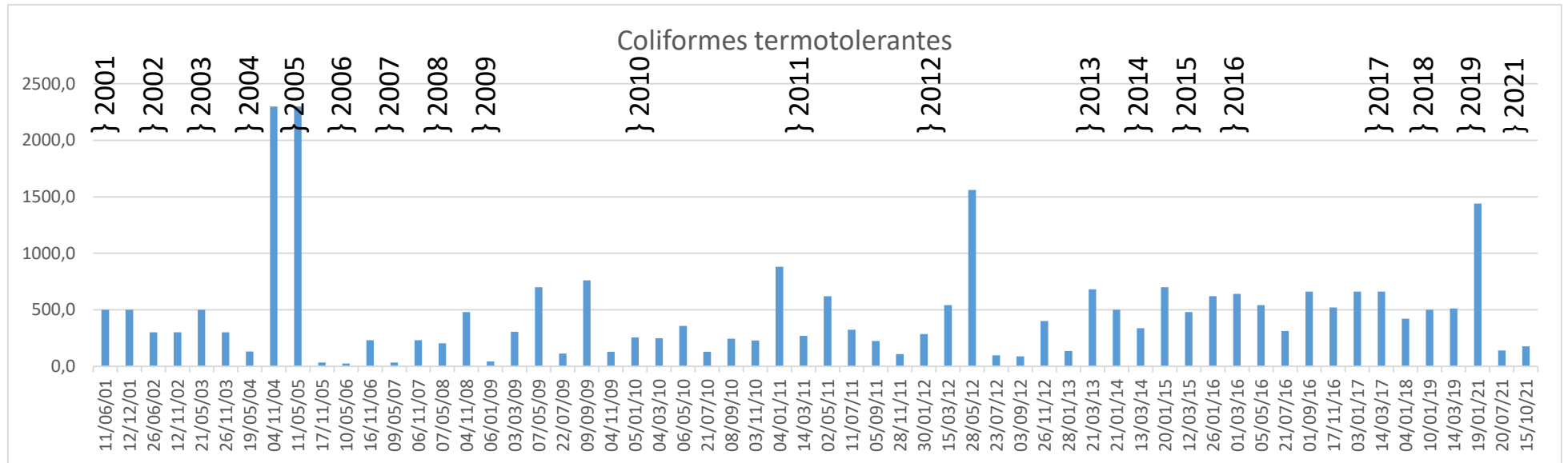
➤ **Coliformes termotolerantes**

Assim como o fósforo total e o nitrogênio total, os coliformes termotolerantes são indicadores de poluição aquática por esgoto doméstico, ressaltando nesse grupo a contaminação fecal. A presença em grande quantidade de coliformes termotolerantes indica a possibilidade de transmissão de doenças de veiculação hídrica.

A variável coliformes termotolerantes pode também ser medida por meio da *Escherichia coli*, visto que essa bactéria é predominante no grupo coliformes, assim adotado pela CETESB a partir de 2012. A maior concentração da variável em questão foi a de 2300,0 mg/l, em 04/11/2004 e 11/05/2005. Já o menor valor medido foi em 10/05/2006 com 24,0 mg/l, enquanto a média de concentração de coliformes termotolerantes foi de 464,9 mg/l.

Relacionando os coliformes termotolerantes com a análise obtida de uso e ocupação na terra, durante o mesmo período, 2001, 2006, 2011, 2016, 2021, é possível observar a predominância da pastagem na área de estudo, voltada para a criação de gado. Esse uso pode alterar, agravar, a concentração de coliformes termotolerantes no curso d'água do Ribeirão Lajeado. Apesar de a predominância do uso da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado se modificar com o tempo, passando de pastagem para cultura temporária, só foi possível perceber mudanças na concentração de coliformes termotolerantes a partir da segunda medição (novembro) de 2016, quando houve queda na concentração da variável, seguida por concentração mais baixas em 2021.

Gráfico 14. Variação temporal de coliformes termotolerantes na bacia hidrográfica Ribeirão Lajeado



Elaborado pela autora

Não deve ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros (CONAMA 357, 2005)

6.5 Análise estatística multivariada

Como elemento da análise estatística multivariada, foi utilizada a análise de agrupamento ou análise Cluster, que consiste na divisão dos elementos de uma ou mais amostras em grupos, de forma que as variáveis pertencentes a um mesmo grupo sejam similares entre si, com respeito às características que neles foram medidas, e que elementos em grupos diferentes sejam heterogêneos em relação a essas mesmas características (Guimarães et al, 2013).

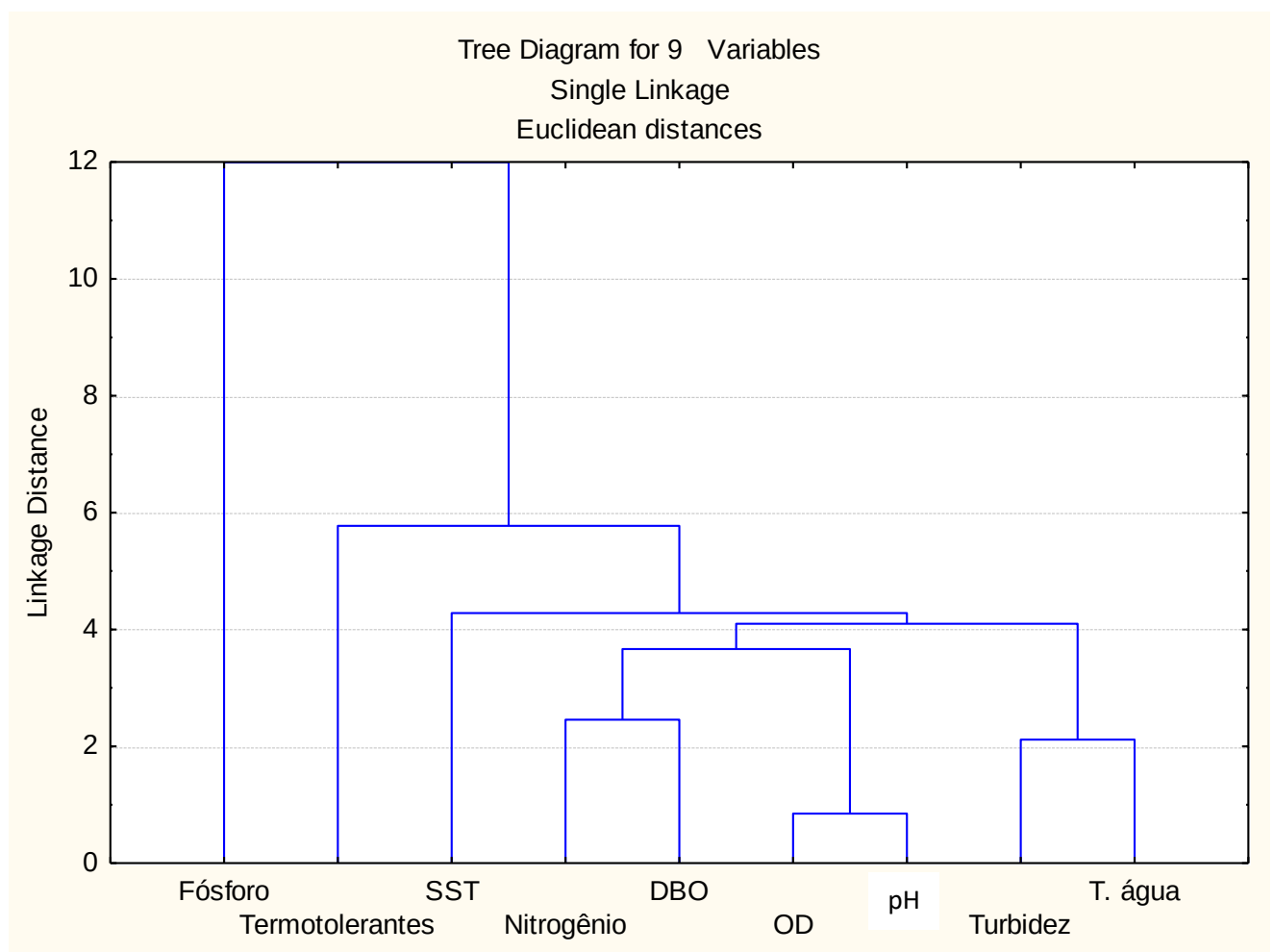


Figura 18. Análise de agrupamento das variáveis limnológicas do Ribeirão Lajeado
Elaborado pela autora

Ao analisar estatisticamente as variáveis limnológicas, percebe-se a formação de grupos com diferentes graus de similaridade. Partindo dessa visão, é observado que estão num grupo de correlação mediana, com a distância de ligação perto de 6, os coliformes termotolerantes, os sólidos suspensos totais, o nitrogênio total, a demanda bioquímica de

oxigênio, o oxigênio dissolvido, o potencial hidrogeniônico, a turbidez e a temperatura da água.

É interessante observar que dentro do grupo há a divisão de subgrupos a cada duas variáveis (nitrogênio total e DBO (5,20); potencial hidrogeniônico e oxigênio dissolvido; turbidez e temperatura da água).

O subgrupo com maior similaridade acontece entre a variável de oxigênio dissolvido e de potencial hidrogeniônico. Essas variáveis relacionam-se por influenciar diretamente na vida dos organismos aeróbicos presentes no canal fluvial, onde a variação de OD pode indicar a poluição por matéria orgânica, interferindo no pH, que por sua vez altera de diferentes maneiras o metabolismo destas comunidades (Mota, 1995; Porto, 2012).

O segundo subgrupo que melhor relaciona os elementos entre si é a turbidez e a temperatura da água. A turbidez é entendida como as partículas suspensas na coluna d'água e o tamanho das partículas depende do grau de turbulência do ambiente. A elevação da taxa de turbidez afeta as comunidades biológicas aquáticas, reduzindo a fotossíntese no local. Dessa maneira, o aumento da turbidez faz com que a incidência solar sobre a água seja afetada, refletindo sobre a temperatura da água. A alteração na temperatura da água (aumento ou diminuição) impacta organismos e espécies mais sensíveis, podendo ocorrer extinção local de espécies (CETESB, 2009; Mota, 1995).

É válido ressaltar que as variáveis limnológicas turbidez, temperatura da água, oxigênio dissolvido e potencial hidrogeniônico são similares em uma distância maior.

O subgrupo composto pelo nitrogênio total e a demanda bioquímica de oxigênio (5,20) possuem certa similaridade entre si. A similaridade entre esses elementos está relacionada à utilização de matéria orgânica pelos organismos. O aumento da concentração de nitrogênio pode causar a eutrofização do ambiente aquático aumentando assim a presença de algas, enquanto a DBO indica o consumo de oxigênio por organismos vivos enquanto utilizam a matéria orgânica como “alimento”. Logo, o aumento de nitrogênio faz com que haja uma maior poluição produzida por matéria orgânica (Von Sperling, 2005).

Os coliformes termotolerantes relacionam-se de maneira determinante aos outros elementos do grupo, sendo mais similar aos sólidos suspensos totais. Essa relação pode ser explicada da seguinte maneira: medida em que os coliformes termotolerantes que são oxidantes de matéria orgânica e agem no processo de decomposição, sendo responsáveis

pela autodepuração enquanto os sólidos suspensos totais são toda matéria que permanece na água após procedimentos laboratoriais.

Para que o estudo ambiental relacionando às variáveis do meio físico da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado e as características dos componentes do IQA seja eficiente, há a elaboração da análise estatística multivariada contendo os usos e ocupações da terra e as variáveis limnológicas, com o dado hidrológico diário, como pode ser observado abaixo.

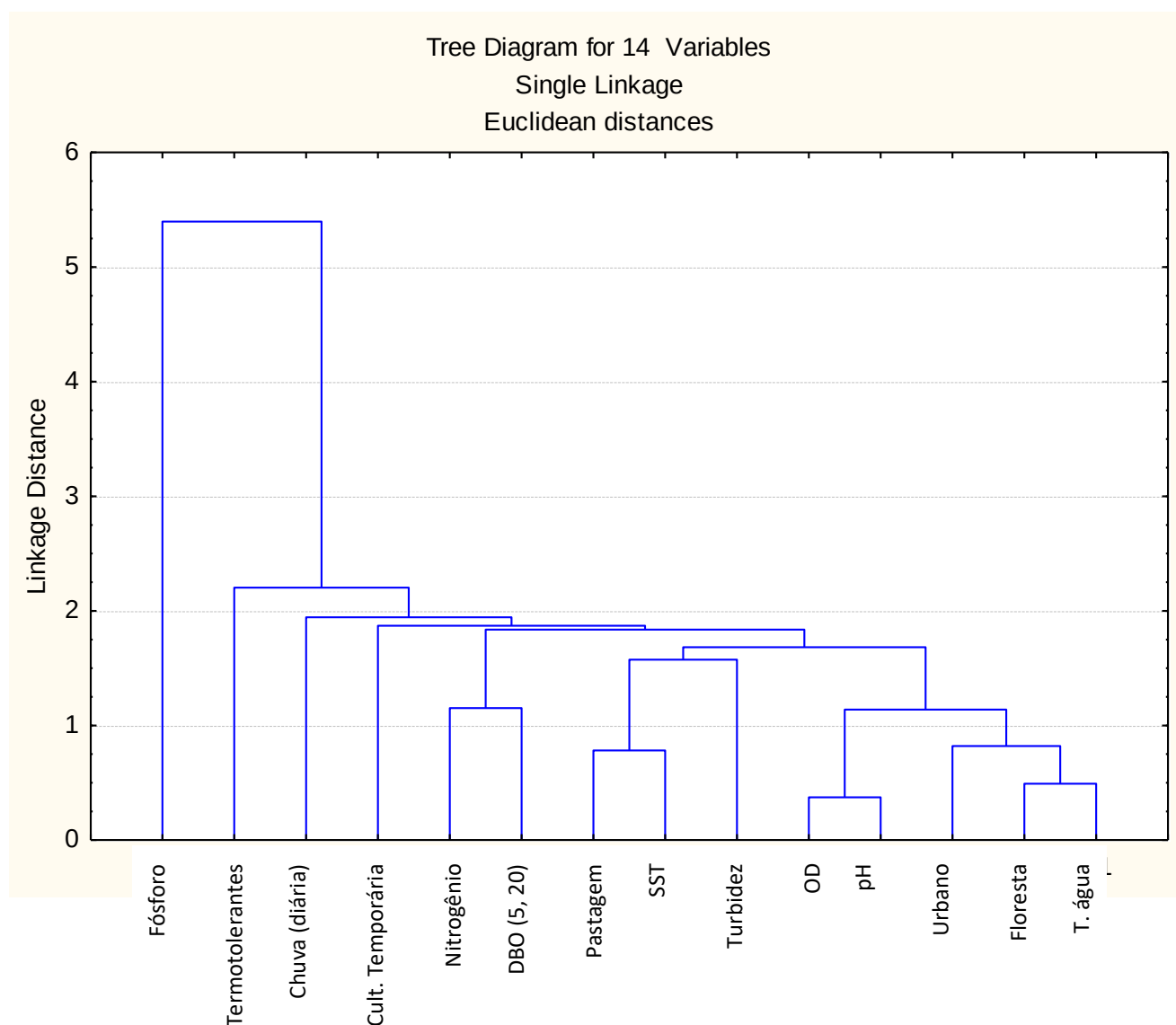


Figura 19. Análise de agrupamento das variáveis limnológicas e de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado
Elaborado pela autora

Partindo da menor distância de ligação entre as variáveis temos a relação entre o pH e o OD, corroborando com o observado no *cluster* de limnologia.

Considerando os mapas produzidos de uso e cobertura da terra e a alteração em relação à predominância encontrada na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado no recorte temporal do estudo (nos primeiros anos o uso predominante correspondia à pastagem, sendo “substituída” pela cultura temporária), faz-se necessária uma observação mais atenta desses usos, pastagem e cultura temporária, com as variáveis limnológicas sólidos suspensos, turbidez, nitrogênio e DBO (5, 20).

Assim, há uma maior similaridade entre pastagem e sólidos suspensos totais, que se relacionam com a turbidez presente no canal fluvial. Pensando que a pastagem é composta por gramíneas e que por meio da fragilidade do solo e do escoamento superficial presente há o aumento de partículas suspensas totais na coluna d’água, aumentando assim a turbidez medida. Por meio do aumento da taxa de turbidez, ocorre a redução de fotossíntese da vegetação aquática e altera-se a temperatura da água no local.

Outra relação apresentada se dá com o nitrogênio total e a demanda bioquímica de oxigênio (5,20) e ocorre devido à utilização de matéria orgânica pelos organismos (aumento de nitrogênio aumenta a DBO) sendo a cultura temporária (cana-de-açúcar) determinante nesse processo, fazendo com que sua maior quantidade aumente os níveis de nitrogênio e DBO (5, 20) no canal fluvial.

Em uma distância de ligação mais distante das outras variáveis se encontram em ordem decrescente os coliformes termotolerantes e a chuva diária. Esses dois elementos interagem de maneira determinante para a ligação, conexão entre as outras variáveis. Nesse caso, pode-se dizer que a chuva diária afeta as variáveis limnológicas e de uso e cobertura da terra, fazendo com que seja possível observar a conectividade existente entre canal fluvial e bacia hidrográfica.

Observa-se que a variável fósforo total mantém o mesmo comportamento da análise estatística limnológica realizada anteriormente. Ou seja, o fósforo total medido no canal fluvial é determinante para eutrofização artificial dos ambientes aquáticos, sendo influenciado pelos usos e cobertura da terra, tendo maior distância de ligação das outras variáveis, podendo conduzir à eutrofização do canal, alterando suas características físicas, químicas e biológicas (Lamparelli, 2004).

É necessário enfatizar que na figura acima a chuva equivale à chuva no dia da amostragem limnológica. Ao realizar a análise estatística com todos os dados pluviométricos medidos (chuva diária e chuva acumulada em 10, 15 e 20 dias) a relação entre as variáveis se modifica em alguns níveis.

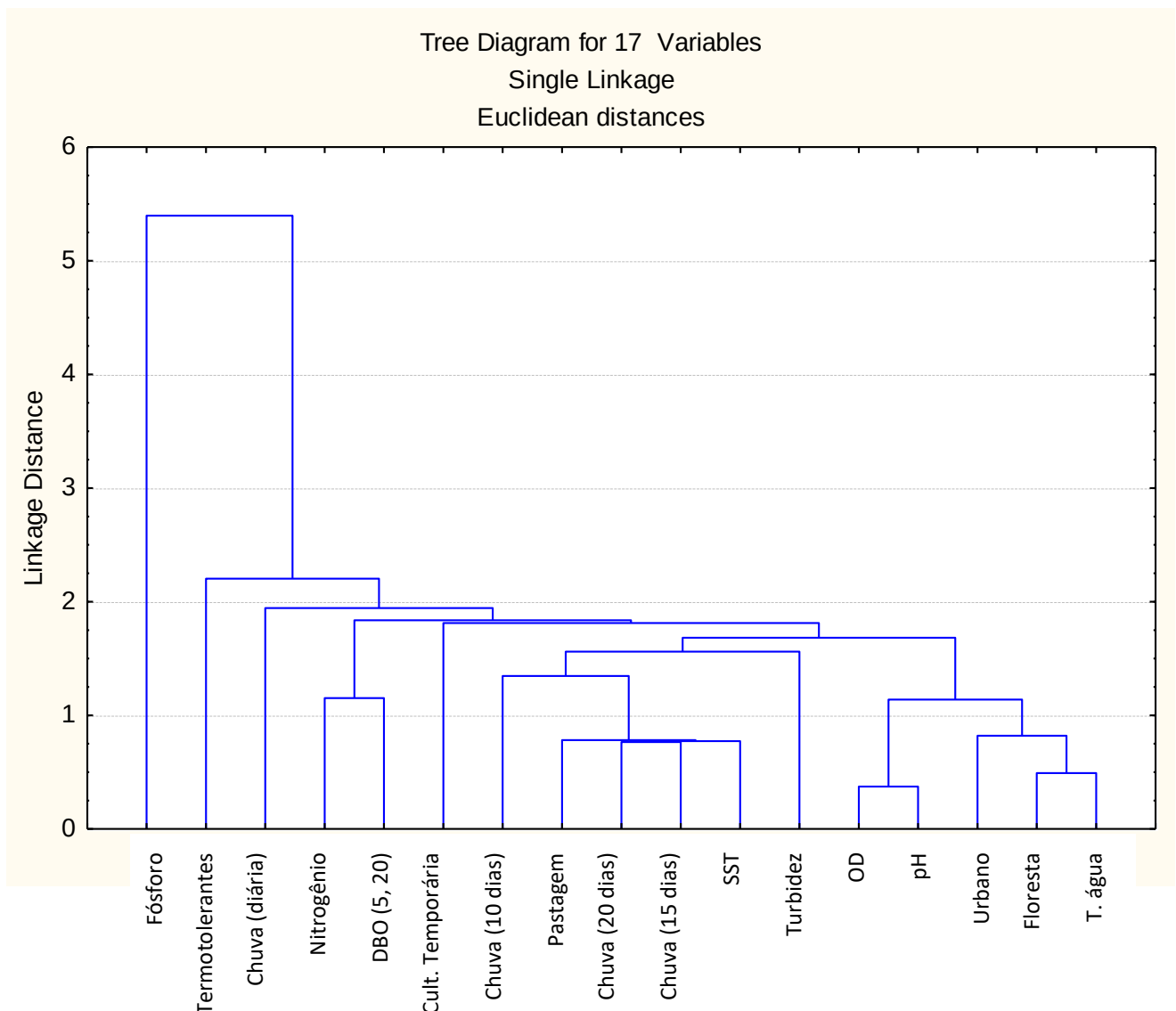


Figura 20. Análise de agrupamento das variáveis limnológicas (com amostragem em dias de chuva) e de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado
Elaborado pela autora

Ao observar o dendograma contendo todas os dados pluviométricos, o uso e cobertura da terra e as características limnológicas do canal fluvial é notório que as distâncias de ligação entre as variáveis não se modificaram, assim, permanece a formação dos mesmos grupos similares. A diferença encontrada fica por conta das chuvas

acumuladas, em que a chuva acumulada de 15 e 20 dias tem uma maior similaridade com a pastagem e os sólidos dissolvidos totais enquanto a chuva acumulada de 10 dias possui uma maior distância de ligação com o mesmo grupo similar.

Por meio dessa análise, verifica-se que a amostragem limnológica em dias com precipitação se mostra mais eficiente do ponto de vista de integração das variáveis limnológicas do canal fluvial com os atributos presentes na Bacia Hidrográfica. Entretanto, ao realizar a análise de agrupamento com as 60 amostragens limnológicas realizadas entre 2011 – 2021 e seus respectivos dados de chuva diária e acumulada, a relação se modifica.

A análise de agrupamento com as 60 amostragens expõe dois grandes grupos similares, um grupo formado pelas chuvas acumuladas de 10, 15 e 20 dias e outro pelas outras variáveis analisadas, exceto o fósforo total que se mantém a parte da similaridade entre as variáveis.

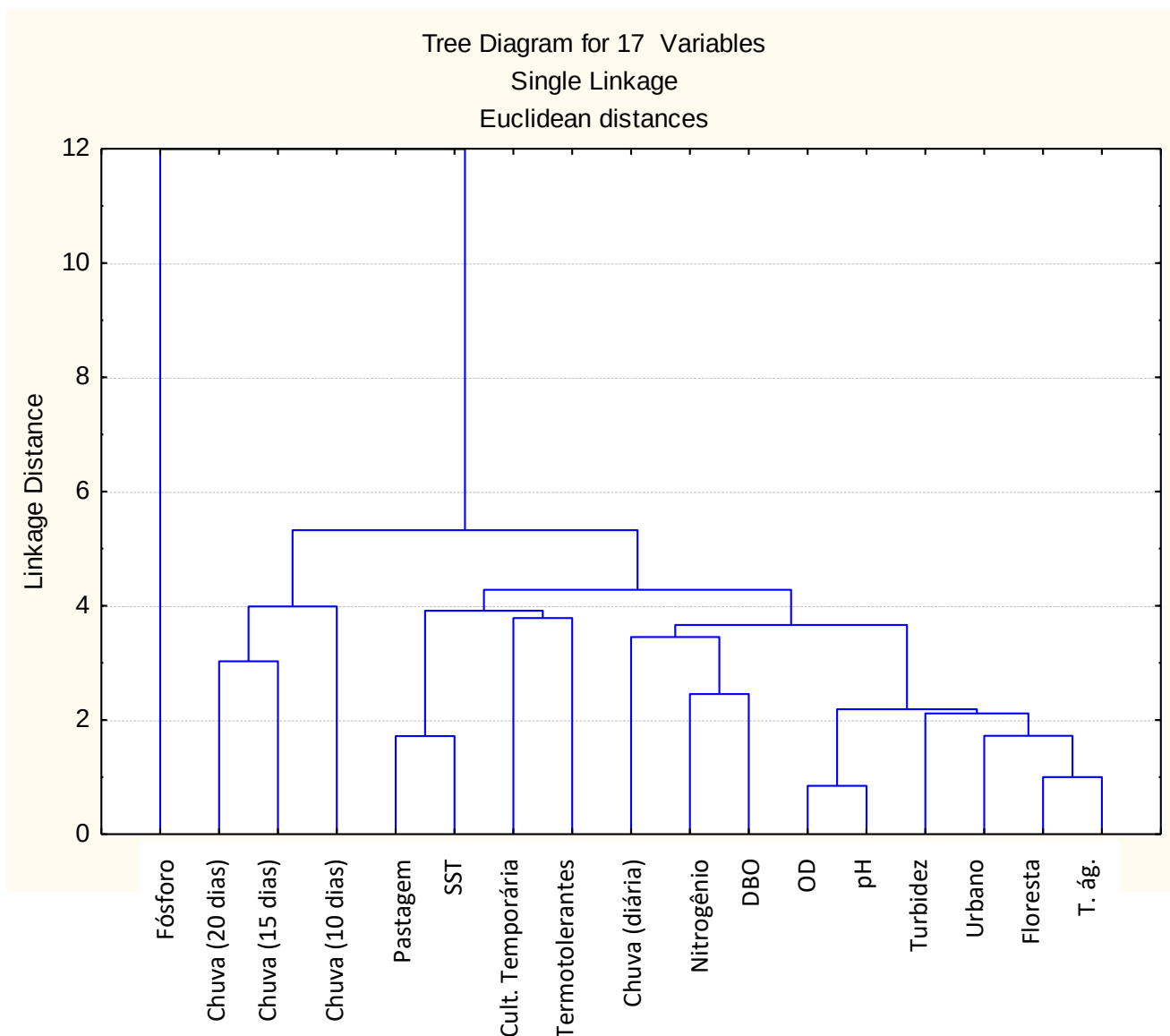


Figura 21. Análise de agrupamento das 60 amostragens limnológicas e de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado
Elaborado pela autora.

Das relações observadas, o nitrogênio e a DBO passam a se correlacionar com maior afinidade com a chuva diária, dessa maneira, entendendo que a chuva conecta o canal fluvial e a bacia hidrográfica, a contaminação antropogênica da água pelo nitrogênio se faz relevante, visto que há a presença de cultura temporária e pastagem, fontes da variável citada (Howarth et al., 2000). O aumento da DBO está atrelado à relação anterior, aumentando a quantidade de oxigênio molecular necessário à estabilização da matéria orgânica decomposta aerobicamente por via biológica (Mota, 2012).

Outro grupo similar está contido a pastagem e os sólidos suspensos totais e em um grau um pouco mais distante a cultura temporária e os coliformes termotolerantes. A

relação presente entre os dois usos e coberturas principais na bacia hidrográfica com os SST e os termotolerantes leva à melhor compreensão do escoamento superficial presente na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado, visto que a modificação da cobertura vegetal natural sem manejo correto pode levar a quadros de assoreamento e erosão, aumentando assim os sólidos suspensos totais e os coliformes termotolerantes presentes no canal fluvial, que são fontes de poluição antrópica (Pelczar, 1997; Esteves, 1998).

6.6 Análise dos componentes principais

Por meio do software Statistic também foi possível a realização de análises baseadas nos componentes principais (ACP). A ACP está associada à redução de massa dos dados com menor perda possível de informação. Dessa forma, é possível julgar a importância das variáveis escolhidas inicialmente (Manly, 1986).

Dessa forma, foram confeccionadas duas ACP: a primeira exibe os componentes principais da relação entre uso da terra e as amostragens em dias com chuva e no segundo momento será exposta a relação do uso da terra com as 60 amostragens limnológicas do recorte temporal estudado.

Para a primeira ACP confeccionada foram encontrados os seguintes valores:

Tabela 18. Fatores de componentes principais

Valor	Eigenvalue	% Total de variância	Eigenvalue acumulado	% Acumulada
1	5,160912	30,35831	5,160912	30,35831
2	4,001165	23,53626	9,162077	53,89457
Factor loading	PC1		PC2	
T. água	0,393234		-0,244009	
pH	0,562569		0,601858	
OD	-0,721678		0,523809	
DBO	0,884161		0,021707	
Termotolerantes	-0,187526		-0,430398	
Fósforo	-0,091142		-0,341439	
Nitrogênio	-0,705797		-0,086990	
Turbidez	-0,085894		-0,887322	
SST	0,552238		-0,746668	
Chuva	-0,082496		-0,571087	
Chuva (10 dias)	0,124834		-0,664752	
Chuva (15 dias)	0,023538		-0,611517	
Chuva (20 dias)	0,020209		-0,646571	
Urbano	-0,273178		0,119297	
Cult. Temporária	-0,964012		-0,063857	
Floresta	-0,827583		-0,232727	
Pastagem	0,906132		0,133369	

Elaborado pela autora

Os valores de eigenvalue acumulada acima de 50% demonstram que há uma boa correlação entre as variáveis selecionadas, assim, foram considerados os valores acima de 0,5 (positivo e negativo) referentes ao PC1 e ao PC2. Dessa forma, vê-se uma predominância dos dados negativos de PC2, demonstrando um setor dos componentes principais da análise.

O gráfico 2D confeccionado com os valores do PC1 e P2 ilustra as relações e a ACP das variáveis e da escala temporal estudada.

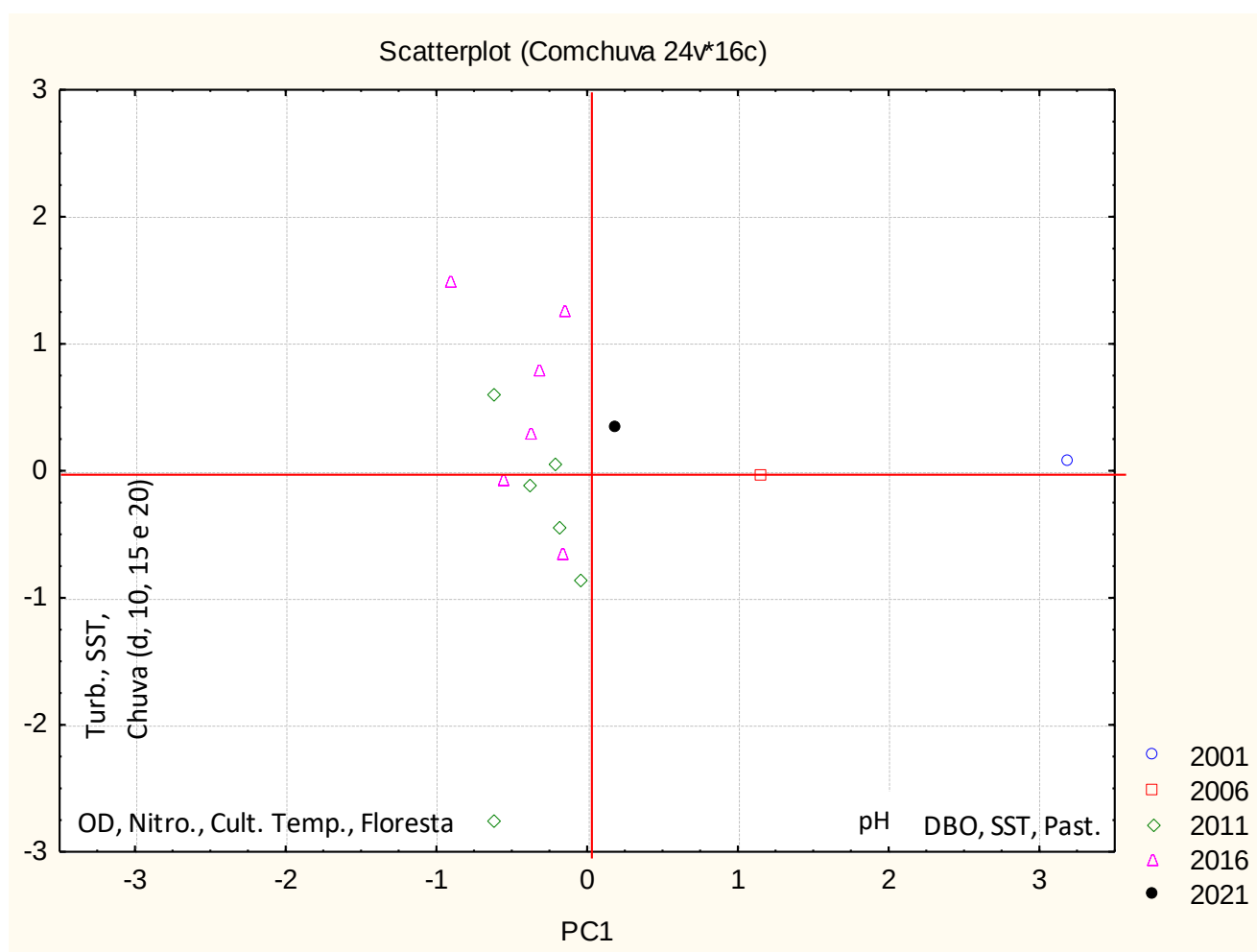


Figura 22. Análise dos componentes principais, amostragem em dias com chuva
Elaborado pela autora

Por meio da ACP das amostragens limnológicas em dias com chuva, foi possível identificar a variação de amostragens em relação ao tempo. Assim, houve somente uma amostragem para os usos e coberturas da terra nos anos de 2001, 2006 e 2021. Além disso, essas três amostragens se encontram positivas no PC1 e PC2. Os anos de 2011 e 2016, com maior número de amostragens, relacionam-se entre si, ressaltando que nesses anos

houve o aumento expressivo da cultura temporária e se encontram no setor negativo do componente principal 1.

Em relação aos componentes principais dessa análise, é possível notar algumas relações já presentes na análise cluster, como por exemplo a cultura temporária e o nitrogênio total. No trato de monoculturas, como a cultura temporária, há a ampla utilização de fertilizantes e pesticidas que possuem em sua composição o nitrogênio pois, a necessidade da regeneração da produtividade e o controle de pragas é algo rotineiro a cada nova safra, afetando o equilíbrio ecológico de uma determinada área, atingindo o canal fluvial (Moura, 2017).

Outra relação identificada ocorre entre os sólidos suspensos totais, a demanda bioquímica de oxigênio, o pH e a pastagem, que apontam para a presença de carga orgânica (lançamento de esgotos clandestinos e pastagem) e sedimentos (solo exposto, movimentação de terra e erosão nas margens). O uso e cobertura da terra pastagem compreende, neste estudo, a criação bovina extensiva, podendo gerar o pisoteio do gado em áreas próximas ao leito do canal fluvial, influenciando na ocorrência de compactação do solo e de erosões e sedimentos nas amostragens limnológicas. A alteração antrópica da DBO (5, 20) presente em fertilizantes e pesticidas faz com que as comunidades aquáticas interfiram no pH, modificando-o (Porto, 2010).

Integrando o canal fluvial com a bacia hidrográfica, há a associação da chuva (diária e acumulada, 10, 15 e 20 dias) com a turbidez e os sólidos dissolvidos totais. Estando a bacia hidrográfica fragilizada, no que tange o manejo incorreto do solo, ela se torna mais propensa ao assoreamento e erosões, influenciando assim a maior quantidade de SST e turbidez no canal fluvial em dias com chuva (Mota, 1995; Tundisi, 2003).

A segunda ACP confeccionada esclarece os seguintes dados:

Tabela 19. Fatores de componentes principais

Valor	Eigenvalue	% Total de variância	Eigenvalue acumulado	% Acumulada
1	4,789177	28,17163	4,789177	28,17163
2	3,662793	21,54584	8,451970	49,71747
Factor loading	PC1		PC2	
T. água	-0,547371		0,040575	
pH	0,465373		-0,018600	
OD	0,438706		-0,321654	
DBO	0,448216		0,563838	
Termotolerantes	-0,481240		0,160397	
Fósforo	-0,441517		0,310439	
Nitrogênio	-0,258760		-0,627873	
Turbidez	-0,704179		0,423831	
SST	-0,325656		0,500110	
Chuva	-0,569645		0,208103	
Chuva (10 dias)	-0,807378		0,176784	
Chuva (15 dias)	-0,825570		0,163673	
Chuva (20 dias)	-0,817494		0,192941	
Urbano	-0,081762		-0,343595	
Cult. Temporária	-0,408990		-0,880113	
Floresta	-0,365918		-0,744133	
Pastagem	0,387499		0,841661	

Elaborado pela autora

Nesse caso, a porcentagem de eigenvalue acumulado chegou a quase 50%. Dessa forma, os valores dispostos nas colunas PC1 e PC2 se correlacionam, sendo notável a predominância de variáveis negativas no PC1 e valores iguais de variáveis positivas e negativas na PC2.

O gráfico formado pelos valores anteriores possui conexões com o que foi percebido na análise de componentes principais anterior.

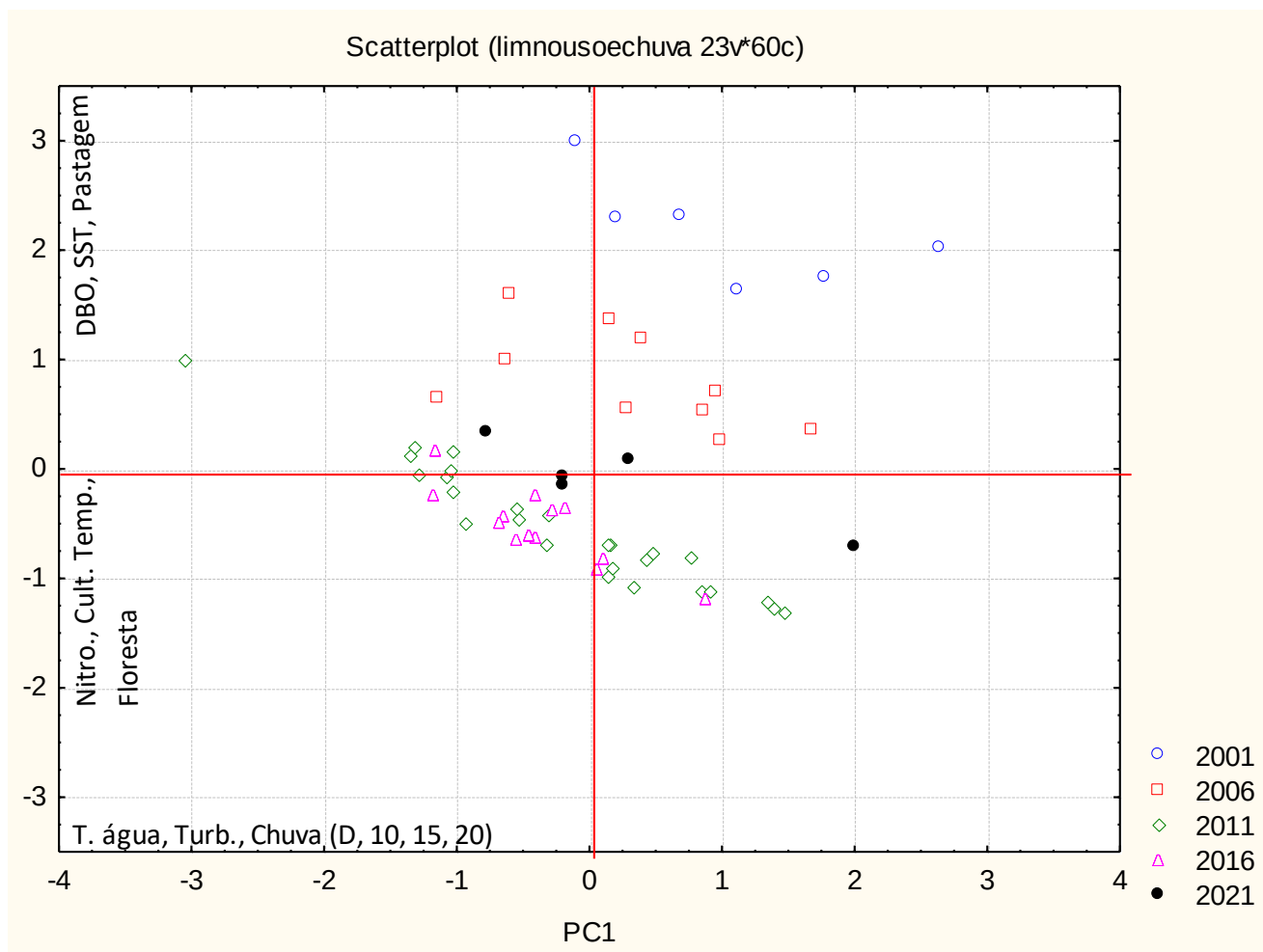


Figura 23. Análise dos componentes principais, total de amostragens
Elaborado pela autora

A organização dos pontos por ano leva à separação do de 2001 dos demais, sendo ligada ao uso e cobertura da terra predominante, pastagem. Assim, é interessante observar que o de 2006 já se assemelha aos demais (a cultura temporária começa a ganhar força nesse ano) e os demais anos variam entre si, principalmente 2011 e 2016, quando há o ápice da cultura temporária presente na bacia hidrográfica. Ao analisar e comparar as duas ACP realizadas, verificam-se as mesmas relações, a diferença entre elas está contida nos eixos em que se relacionam.

Dessa forma, as principais relações, sejam elas encontrada por meio da análise cluster, seja pela análise de componentes principais, expõem a ligação presente entre os usos e coberturas da terra predominantes na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado, pastagem e cultura temporária (cana-de-açúcar), e variáveis limnológicas ligadas a fertilizantes e pesticidas (nitrogênio, DBO (5,20)).

Ao analisar as características físicas, químicas e biológicas dos recursos hídricos, verifica-se uma relação destas com os usos da bacia hidrográfica, o que faz com que o compartimento água seja representativo das diversas

atividades humanas desenvolvias na bacia. Dentro deste contexto, é possível verificar diferenças significativas no eixo longitudinal do rio (da nascente a foz), as quais são decorrentes da urbanização, industrialização, mineração e atividades agropastoris, que, direta ou indiretamente, promovem alterações na estrutura e funcionamento dos sistemas hídricos, com consequências finais para o próprio homem (Moraes, 2001. p. 5).

Partindo do pressuposto, é possível entender a conectividade presente na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado a partir da relação canal hidrológico com uso e cobertura da terra, onde pôde-se observar a variação no uso e cobertura da terra na escala temporal por meio da análise do mapeamento do uso e cobertura da terra e da análise estatística. No ano de 2001, havia a predominância da pastagem na região e em 2021, último ano desta análise, a paisagem era composta em sua maioria pela cultura temporária. Tais afirmativas revelam que na área de estudo há uma paisagem fragmentada composta por diferentes usos e coberturas que se conectam estruturalmente pela escala temporal (Ribeirão Lajeado).

Nas análises estatísticas que relacionam a limnologia com o uso e cobertura da terra, a variável chuva possui papel fundamental na interligação dos elementos presentes no sistema em questão, corroborando com a conectividade funcional presente entre canal hidrológico e as modificações humanas realizadas.

Dessa maneira, é possível dizer que as análises de agrupamento elucidam os elementos estruturais de funcionais da conectividade. Elucidando o papel das variáveis pela distinção entre componentes da conectividade estrutural (meio físico, uso e cobertura da terra e limnologia) e conectividade funcional (modificações temporais no uso e cobertura da terra).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo intitulado “Parâmetros ambientais da água e sua relação com o uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica Ribeirão Lajeado-UGRHI 19, Baixo Tietê” elucida a situação ambiental na escala temporal de 2001 – 2021. Assim, pode ser classificada como dinâmica tendo em vista o recorte temporal para as variáveis limnológicas e físicas elencadas, observando as mudanças espaciais que ocorreram. As relações das variáveis físicas, limnológicas e de uso e cobertura da terra ampliam o trabalho, fazendo com que o estudo seja completo, fornecendo as ferramentas necessárias para que a partir daqui seja feito um melhor planejamento ambiental da área.

No que tange ao objetivo central da pesquisa, foi alcançado, visto que, a partir dos levantamentos físicos e de uso e cobertura da terra, se tornou possível relacionar suas interferências nas variáveis químicas e físicas do Ribeirão Lajeado.

Ao longo dos 20 anos, constatou-se a mudança significativa no uso e cobertura da terra, da pastagem para o cultivo temporário, sendo conectadas pelo alto escoamento assistido na área de drenagem à montante do ponto de monitoramento das variáveis limnológicas da Bacia Hidrográfica estudada. Assim, observa-se a conectividade presente entre os sistemas: canal fluvial e bacia hidrográfica, seguindo a abordagem geral de sistemas. Buscando apriomorar a relação descrita, outras relações entre o escoamento superficial e o uso e cobertura da terra podem ser exploradas.

Em contrapartida, das relações encontradas, a qualidade ambiental da água na escala temporal mostrou-se dentro dos parâmetros estabelecidos pelos órgãos reguladores. Ponto a ser ressaltado é a falta de padronização das amostragens limnológicas entre 2001-2021, visto que houve anos com 6 amostragens enquanto alguns anos contaram com apenas 2 amostragens, surgindo ruídos para resultados mais profundos neste estudo.

Outro fator importante observado para as relações encontradas é o trabalho constante do CIRL e DAEP para a conservação e recuperação de áreas degradadas dentro da bacia hidrográfica em questão. As ações realizadas juntamente com os poderes públicos e a população são de suma importância para que haja um efetivo entendimento sobre a real situação dos recursos naturais regionais e, assim, se orientar para estratégias futuras, tentando ajustar a qualidade ambiental com a pressão sofrida por parte do

agronegócio. Nesse sentido, é notável o boom da cultura temporária (cana-de-açúcar) com o crescente número de usinas sucroalcooleiras na região.

Mesmo que esteja em andamento a construção de um poço profundo no Aquífero Guarani para a captação d'água e consequente abastecimento do município, os cuidados com o Ribeirão Lajeado devem continuar com muito empenho, dada sua importância ambiental para a região. Além disso, o cuidado para com a rede hidrográfica é expresso nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) pela Organização das Nações Unidas (ONU) que, no objetivo 06, visa a assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos e todas.

Dessa maneira, é possível caminhar para um futuro em que a região e a população dependente da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado sejam sempre contempladas pela qualidade e quantidade de água.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Caderno de Capacitação em Recursos Hídricos**, vol. 1. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/CadernosDeCapacitacao1.pdf>>. Acesso em 20 de abril de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Monitoramento da Qualidade da Água em Rios e Reservatórios: Fundamentos legais para a gestão da qualidade da água**. Apostila, 2019. Disponível em: <<https://capacitacao2.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/2227?mode=full>>. Acesso em 15 de agosto de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Variáveis e parâmetros de qualidade de água em rios e reservatórios**. Apostila, 2019. Disponível em: <<https://capacitacao2.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/2227?mode=full>>. Acesso em 15 de agosto de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Hidrologia básica**. Apostila, 2011. Disponível em: <<https://capacitacao2.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/2227?mode=full>>. Acesso em 15 de agosto de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Indicadores de qualidade - Índice de qualidade das águas (IQA)**. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 27 mai. 2017

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Relatório de Águas Interiores: Apêndice D (Índice de Qualidade das Águas)**. 2019. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/apendice-d_-indices-de-qualidade-das-aguas/. Acesso em: 14 set. 2022

ANDRADE, Manuel C. de. **Geografia, ciência e sociedade**: Uma introdução à análise do pensamento geográfico. São Paulo: Atlas, 1987. 143p.

ARAÚJO, A. C. M.; GOUVEIA, L. B. Uma revisão sobre os princípios da teoria geral dos sistemas. Juiz de Fora: Revista Estação Científica, nº 16, 2016.

AZEVEDO, T.S.; MANZATTO, A.G.; Ferreira, M.C. (2003). As perturbações ambientais sofridas pelos fragmentos de matas ciliares no Setor da Alta Bacia do Rio Passa Cinco, Ipeúna – SP: uma abordagem baseada em ecologia da paisagem e caracterização fisionômica da vegetação. In: Congresso de Ecologia do Brasil. 6. 2003. Anais. Fortaleza: Editora da UFCE. p. 87-88.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4th Edition, Bookman, PortoAlegre, 2011.

BERBERT, C. O. O desafio das águas. In: MARTINS, R. C.; VALENCIO, N. F. L. da S. (Org.). **Uso e gestão dos recursos hídricos no Brasil**: desafios teóricos e político-institucionais. São Carlos: RiMa, 2003.

BERTALANFFY, L. von, **General System Theory. Foundations, Development, Applications**. New York: George Braziller, 1968.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1993, p. 177-241.

BIGARELLA, J. J.; SUGUIO, K. **Ambientes fluviais**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1990.

BOON, P. J. et al. Essential elements in the case for river conservation. In: **Unknown Host Publication Title**. UK: John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 1992.

BORGES, Maria Alice Guimarães. A compreensão da sociedade da informação. Ci.Inf., Brasília, v. 29, n. 3, p. 25-32, set./dez. 2000

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE, A. C.; Guerra, A. J. T. **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 153-192.

BRACKEN, L. J., CROKE, J. The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff dominated geomorphic systems. Hydrol. Process., 21, pp. 1749–1763, 2007.

BRAGA, B.; PORTO, M.; TUCCI, C. E. M (org.). Monitoramento da Quantidade e Qualidade das Águas. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 1999.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recurso Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº8.001, de 13 de marco de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. **Conama**. Resolução 357/2005. Estabelece classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional.

BRASIL. Fundação Nacional da Saúde, FUNASA. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014.

BUENO, Lara F.; GALBIATTI, João A.; BORGES, Maurício J. Monitoramento de variáveis de qualidade de água no horto Ouro Verde - Conchal – SP. Ver. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 742-748, 2005.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos, 2001. v.1. p. 01-35. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf> . Acesso em: 26 de maio de 2021.

CAMARGO, J. A.; ALONSO, A. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment. *Enviroment International*, LOCAL, v. 32, p. 931-839, 2006.

CARVALHO, P. R. S. Expansão Urbana na Bacia do Ribeirão Mestre D´Armas (Df) e a Qualidade da Água. *Estudos Geográficos*, Rio Claro, 3(1): 71-91, jan-jun 2005. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/article/view/243/199>

CARVALHO, A. R; OLIVEIRA, M. C. V. **Princípios básicos de saneamento domeio**. 3. ed. São Paulo: Editora SENAC, 2003.

CASSETI, Valter. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991. 147p.

CASTROGIOVANNI, A. C.; GOULART, L. B. Uma Contribuição à Reflexão do Ensino de Geografia: A Noção de Espacialidade e o Estudo da Natureza. **Terra Livre**, [S. l.], n. 7, 2015. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/87>. Acesso em: 19 fev. 2023.

CETEC - Centro Tecnológico da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação. **Situação dos recursos hídricos Baixo Tietê UGRHI 19**. Minuta preliminar dorelatório técnico final. Lins, 1999. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/6504/reibtseg.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2019.

CIRL – Consórcio Intermunicipal do Ribeirão Lajeado. Disponível em: <<https://www.ribeiraolajeado.com.br/portal/servicos/1006/o-consorcio/>>. Acesso em: janeiro de 2024

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

COLETTI, C. et al. Water quality index using multivariate factorial analysis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 5, p. 517–522, 2010.

Comitê de Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê – CBT-BT. **Plano de Bacia – Relatório I** – 2016/2019. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-BT/12364/relatorioi-pbh-cbh-bt.pdf>>. Acesso: 10 out. 2019.

Comitê de Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê – CBT-BT. **Plano de Bacia – RelatórioII** – 2016/2019. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-BT/13688/relatorioii-pbh-bt.pdf>>. Acesso: 10 out. 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA (Brasil). **Resolução nº357, de 17 de março de 2005**. Diário Oficial [da] União, Brasília, 2005. Disponível em: 18 Acesso em agosto de 2020.

CROKE, J.; MOCKLER, S.; FORGARTY, P.; TAKKEN, I. Sediment concentration changes in runoff pathways from a forest road network and the resultant spatial pattern of catchment connectivity. *Geomorphology*. n. 68, v.3-4, p. 257-268, 2005.

CUNHA, D. G. F. et al. Resolução CONAMA 357/2005: análise espacial e temporal de não conformidades em rios e reservatórios do estado de São Paulo de acordo com seus enquadramentos (2005-2009). Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 159-168, Jun. 2013

DAEP – Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Penápolis. Disponível em: <<https://www.daep.com.br/cirl>>. Acesso em: Setembro de 2022.

DAEP – Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Penápolis. Relatório da qualidade da Água. Disponível em: <<https://www.daep.com.br/portal/arquivos/5/4/0/0/0/0/0/0>>. Acesso em: Janeiro de 2023.

DIBIESO, E. P. **Planejamento ambiental da bacia hidrográfica do Córrego do Cedro - Presidente Prudente/SP**. 2007. xiii, 157 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2007.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2018.

ENCINA, C. C. C., et al. **Geotecnologias Aplicadas à Análise Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Olho D'Água, Município de Jardim, Mato Grosso do Sul – Brasil**. Rio de Janeiro: Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ, 2018.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro/RJ: Interciência/Finep. 1998.

FERREIRA, A. B.; FILHO, W. P.; ROSA, R. Análise Comparativa De Variáveis Limnológicas Em Três Sub-Bacias Hidrográficas Na Região Central Do Rio Grande Do Sul-Brasil. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 13, n. 41, p. 15-18, março de 2012.

FERREIRA, D. F. **Análise multivariada**. Lavras, Minas Gerais, 1996.

FIORUCCI, A. R.; FILHO, E. B. A Importância do Oxigênio Dissolvido em Ecossistemas Aquáticos. Química Nova na Escola, nº 22, p. 10-16, 2005.

FLORENZANO, Tereza Galloti. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

GOERL, R. F.; SIEFERT, C. A. C; SCHULTZ, G. B.; SANTOS, C. S.; SANTOS, I. Elaboração e Aplicação de Índices de Fragmentação e Conectividade da Paisagem para Análise de Bacias Hidrográficas. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 2011. p. 1000 - 1012

GOHER, M. E. et al. Evaluation of surface water quality and heavy metal indices of Ismailia Canal, Nile River, Egypt. The Egyptian Journal of Aquatic Research, v. 40, n.3, p. 225–233, 2014.

GHOLIKANDI, G. B. et al. Assessment of surface water resources quality in Tehran

province, Iran. *Desalination and Water Treatment*, v. 37, n. 1–3, p. 8–20, 2012.

GLORIA, L. P.; HORN, B. C.; HILGEMANN, M. Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do Índice de Qualidade da Água – IQA. *Revista Caderno Pedagógico, Lajeado*, v. 14, n. 1, 2017. <http://univates.br/revistas/index.php/cadped/article/view/1421>

GONÇALVES, F. **Interações entre o Ambiente Físico, Uso e Cobertura da Terra e as Características Físicas e Químicas no Canal Fluvial: A Bacia Hidrográfica do Rio SantoAnastácio, Oeste Paulista**. 145 f. Dissertação de Mestrado. Presidente Prudente: [s.n], 2011.

Goulart, M. & Callisto, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM*, ano 2, nº 1, 2003. Disponível em: <<https://manuelzao.ufmg.br/wp-content/uploads/2018/08/invertaquaticos.pdf>>. Acesso em: 20 de abril de 2022.

HAIR JR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2009.

HECHT, A. A. **História de Penápolis**. Araçatuba: Editora Somos, 2008. 100p

HOWARTH, R. et al. Nutrient pollution of coastal rivers, bays, and seas. *Issues in Ecology*, v. 7, p.1-15, 2000.

IAP. Relatório de Monitoramento da Qualidade das águas dos rios da região de Curitiba, no período de 1992 a 2005. Curitiba, 2005. Disponível em : <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Monitoramento/monitoramento_da_qualidade_agua_1992_2005.pdf>.

IBRAHIN, F. I. D. **Introdução ao Geoprocessamento Ambiental**. São Paulo: Editora Saraiva, 2014.

JAIN, V; TANDON, S.K. Conceptual assessment of (dis)connectivity and its application to the Ganga River dispersal system. *Geomorphology* 118 (2010) 349–358, 2010.

JUNK, W.J., et al. The flood-pulse concept in river-floodplain systems. Em D.P. Dodge (ed.) *Proceedings of the International Large Rivers Symposium*, pp. 110-127. Canadian Fisheries and Aquatic Sciences Special Publication, 106. 1989

KIRKBY, M.J.; BRACKEN, L.J.; REANEY, S. The influence of landuse, soils and topography on the delivery of hillslope runoff to channels in SE Spain. *Earth Surface Landforms and Processes*, 27, 2002. p. 1459–1473.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 207 f. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LANDWEHR, J. M. A statistical view of a class of water quality indices. *WaterResources Research*, v. 15, n. 2, p. 460–468, 1979.

LARSEN, L. G. et al. Directional connectivity in hydrology and ecology. *Ecological*

Society of America, v. 22, 2012

LEXARTZA-ARTZA, I.; WAINWRIGHT, J. **Hydrological connectivity: Linking concepts with practical implications**. Catena 79, 2009.

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

LOBATO, T. et al. Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region. *Journal of hydrology*, v. 522, p. 674–683, 2015.

LUMB, A., SHARMA, T.C. & BIBEAL, JF. A Review of Genesis and Evolution of Water Quality Index (WQI) and Some Future Directions. *Water Qual Expo Health* 3, 11–24 (2011). <https://doi.org/10.1007/s12403-011-0040-0>

MANLY, B. F. J. **Multivariate statistical methods**. New York: Chapman and Hall, 1986.159 p.

MATOS, A. T. **Poluição ambiental: impactos no meio físico (1960)**. Viçosa – Minas Gerais. Ed. UFV, 2013.

MATOS, R. J. **Estudo Biogeográfico Do Alto Curso Do Rio Santo Anastácio: Análise Comparativa Da Qualidade Da Água Em Canais De Terceira Ordem**. Dissertação de Mestrado. Presidente Prudente: [s.n], 2014.

MENDONÇA, Francisco & DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 206p

MERRIAM, G. Connectivity: a fundamental ecological characteristic of landscape pattern. *Proceedings of the International Association for Landscape Ecology*, 1, 1984.p. 5-15

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. **Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura**. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável. Porto Alegre, 2002.

MEYBECK, M., & HELMER, R., 1989. The quality of rivers: from pristine stage to global pollution. - *Global Planet. Change* 1: 283–309.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MONTEIRO, C. A. de F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. *GEOSUL*. Florianópolis, v.5, n.9, p.61-79, 1990b.

MORAES, A. J. de. **Manual pra avaliação da qualidade da água**. São Paulo: RiMa, 2001.

MOREIRA, J. L. **A ilha de calor como indicador de qualidade ambiental em Penápolis(SP)**. Tese de Doutorado. Presidente Prudente: [s.n.], 2021.

MOREIRA, R. Da espacidade ao espaço real: o problema da teoria geral a propósito do simples e do complexo em Geografia. In: MENDONÇA, F.; LOWEN-SAHR, C. SILVA, M. (Org.). **Espaço e tempo: complexidade e desafios do pensar e do fazer geográfico**. Curitiba: ADEMADAN, 2009.

MOREIRA, J. L. **O clima urbano em Penápolis/SP: análise da temperatura e umidade intraurbana**. Dissertação de Mestrado. Presidente Prudente: [s.n.], 2016.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

MONBEIG, P. **Pioneiros e fazendeiros de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1984.

MORIN, Edgar. **Cultura de massas no século XX: o espírito do tempo**. Rio de Janeiro: Forense-Universitária, 1977.

NAGHETTINI, M. **Introdução à Hidrologia Aplicada**. Escola de Engenharia: Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: UFMG, 2012

ODUM, E. P. **Ecologia**. Tradução de Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

OLIVEIRA, S. M. S. **Manual operativo para implementação do Pagamento por Serviços Ambientais na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado - UGRHI-19 – São Saulo – Brasil**. Dissertação de Mestrado. Ilha Solteira: [s.n.], 2019.

OLSEN, R.L.; CHAPPELL, R.W.; LOFTIS, J.C. Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis - literature review and Illinois River watershed case study. *Water Research*, v. 46, n. 9, p. 3110-3122. 2012

PEDRAZZI, J. A. Escoamento Superficial. Disponível em: < http://www.facens.br/site/alunos/download/hidrologia/pedrazzicap7_escoamento_superficial.doc >. Acesso em: 2003.

PELCZAR Jr, M. J., et al. **Microbiologia – Conceitos e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1997, 2 v.

PINHEIRO, R. B. et al. Outorga para lançamento de efluentes—Uma metodologia de apoio à gestão de recursos hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 4, p. 55–65, 2013.

PORTO, L. A. C. **Disciplina de Limnologia: protocolo das aulas práticas**. Goiânia: UCG, 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PENÁPOLIS. **Nossa cidade: História**. Disponível em: <https://www.penapolis.sp.gov.br/portal/servicos/1006/historia/>. Acesso em: maio de 2022

PREFEITURA MUNICIPAL DE PENÁPOLIS. **Nossa cidade: Localização**. Disponível em: <https://www.penapolis.sp.gov.br/portal/servicos/1007/localizacao/>. Acesso em: maio de 2022

PRINGLE, C. What is hydrologic connectivity and why is it ecologically important? *Hydrological Processes*, 17, 2003. p. 2685-2689.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J.M. **Tratamento de água – tecnologia atualizada**. 1a. ed. São Paulo, Editora Blücher Ltda., 2002

RIGHETTO, A.M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP. 1998.

ROCHA, R. R. de A.; ROCHA, P. C. Sistemas rio-planície de inundação: geomorfologia e conectividade hidrodinâmica. *Revista Tópos*, v. 1, n. 2, 2007.

RODRIGUES, A. M. **Produção e consumo do e no espaço**: problemática ambiental urbana. São Paulo: Hucitec, 1998.

ROSA, R. Introdução ao Geoprocessamento. UFU: Instituto de Geografia - Laboratório de Geoprocessamento, Uberlândia, junho de 2013.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: Subsídios para Planejamento Ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia Depto de Geografia FFLCH-USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada - IPT/FAPESP, 1997. 63p

SANTI, L. J. **Efeitos das lagoas de tratamento de esgoto sobre seu entorno: casos no Pontal do Paranapanema**. Dissertação de Mestrado. Presidente Prudente: [s.n.], 2015.

SANTOS, A. A. **Estimativa de escoamento superficial no Pontal do Paranapanema-SP e sua relação com a cobertura e uso da terra**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista – UNESP, Presidente Prudente, 2018.

SANTOS, I. dos. **Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos: mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica**. 167f. Tese de Doutorado. Florianópolis: [s.n.], 2009

SigRH – Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Disponível em: < <http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhbt/apresentacao>>. Acesso em: Agosto de 2019 a Dezembro de 2019.

SHS – Engenharia Sustentável. Diagnóstico ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lajeado. 2017.

SILVA, A. de S; HERMES, L. C. **Avaliação da qualidade das Águas**: manual prático. Brasília: EMBRAPA - Informação Tecnológica, 2004.

SILVEIRA, A. L. L da. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: *Hidrologia Ciências e Aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS) e EDUSP, 1993. v.1.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Diretoria Técnica SUPREN/IBGE, 1977.

TUCCI, C. E. M. 1993. Escoamento Superficial. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) *Hidrologia Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: Editora da UFRGS. Cap. 11, p. 391-441.

TUCCI, C. E. M., **Hidrologia: ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2007.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: Enfrentando a Escassez**. São Carlos: RiMa, 2003.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

UMBELINO, B. A. et al.. **Análise de variáveis de qualidade das águas e correlações com o uso da terra: o caso da bacia hidrográfica ribeirão lajeado na ugrhi 19, oeste paulista**. Anais do XV ENANPEGE... Campina Grande: Realize Editora, 2023. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/94051>>

VANNOTE, R. L. et al. The river continuum concept. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 130-137, 1980

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. Rio de Janeiro: SN, 2001. 228 p.

WARD, J.V. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. Journal of the north american benthological society, 8:2-8, 1989.

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento Conceitos e Definições. Revista de Geografia PPGeo-UFJF, Juiz de Fora, v.7, n.2, p.195-201, (jul-dez) 2017.