

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

FLAVIANO BORGES DE CASTRO FERREIRA

**Mudança da paisagem da área de drenagem e alterações na qualidade da água da
Represa do Lajeado (Araraquara - SP)**

São Carlos
2020

FLAVIANO BORGES DE CASTRO FERREIRA

**Mudança da paisagem da área de drenagem e alterações na qualidade da água da
Represa do Lajeado (Araraquara - SP)**

Trabalho de Graduação apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos como
requisito para a conclusão do curso de
Engenharia Ambiental.

Orientador: Profº Dr. Victor Eduardo Lima
Ranieri

São Carlos

2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

B383m Borges de Castro Ferreira, Flaviano
Mudança da paisagem da área de drenagem e
alterações na qualidade da água da Represa do Lajeado
(Araraquara - SP) / Flaviano Borges de Castro Ferreira;
orientador Victor Eduardo Lima Ranieri. São Carlos,
2020.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2020.

1. Poluição difusa. 2. Reservatórios. 3. Uso do
solo. 4. Paisagem. 5. Análise da água. 6. Macrófitas.
7. Eutrofização. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Flaviano Borges de Castro Ferreira**

Data da Defesa: 25/11/2020

Comissão Julgadora:

Resultado:

Victor Eduardo Lima Ranieri (Orientador(a))

Aprovado

Evaldo Luiz Gaeta Espindola

Aprovado

Artur de Lima Osório

Aprovado



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

Dedico este trabalho à minha mãe, Kelle Regina,
por sua torcida, seus pensamentos positivos, seu carinho
e seu amor, sempre incondicional.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao professor Victor Eduardo Lima Ranieri, pela orientação, pelo tempo disponibilizado e pela liberdade no processo criativo deste trabalho. Isso me possibilitou um aprofundamento em temas da Engenharia Ambiental que me proporcionou uma dedicação muito prazerosa, agregando muito conhecimento não só para minha vida profissional, mas em várias outras decisões impremeditadas que eu tenha que tomar ao longo do meu futuro por meio dessa “bagagem” criada.

Ao professor Evaldo Luiz Gaeta Espíndola, colegas de turma e demais integrantes da disciplina Monitoramento Ambiental (SHS-0365) do primeiro semestre de 2019, por terem proporcionado um trabalho muito agregador à nossa formação e extremamente impactante para a sociedade. Também nesse contexto, agradeço ao Departamento Autônomo de Água e Esgotos (DAAE) de Araraquara por terem compartilhado seu *case* por meio da parceria firmada com a Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), a qual também tenho gratidão.

A todos os amigos da graduação que tornaram os últimos anos tão alegres e que compartilharam muitos desafios e aprendizagem.

Aos amigos de todos os lugares por onde passei, familiares e minha irmã, Fabiana, que mesmo distante e mesmo pelo raro contato eu tenho a certeza do carinho e da torcida recíprocas.

Aos meus pais, Neivaldo e Kelle, pelo sustento, pela liberdade e pela dedicação para tornar minha vida mais fácil.

À Universidade de São Paulo (USP), por ter tornado minha graduação possível em um ambiente tão desafiador, engrandecedor e enobecedor. Assim como eu já esperava dessa universidade de excelência que muito me orgulha, por sua história, suas aspirações e suas contribuições à ciência, à humanidade e ao progresso.

Por fim, agradeço ao contribuinte que mantém de pé essa universidade pública e de qualidade. Que sua importância se mantenha pela eternidade.

“Eu quase que nada sei. Mas desconfio de muita coisa.”

(João Guimarães Rosa)

RESUMO

FERREIRA, Flaviano Borges de Castro. Mudança da paisagem da área de drenagem e alterações na qualidade da água da Represa do Lajeado (Araraquara - SP). 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

Os impactos ambientais em corpos d'água lênticos podem ter origem dentro de sua área de drenagem, podendo ser poluição pontual, como esgotos domésticos, e dispersa, como fertilizantes e agrotóxicos. Assim, o uso e ocupação do solo influencia os parâmetros relativos ao fluxo da drenagem superficial para corpos d'água. O objetivo deste trabalho foi analisar a relação entre a mudança da paisagem da área de drenagem e as alterações na qualidade da água da Represa do Lajeado, localizada em Araraquara (SP). Para analisar as diferentes coberturas do solo da bacia da represa foram utilizados dados do Projeto Mapbiomas de todos os anos do período entre 1985 e 2018. Por meio de imagens de satélite de alta resolução foram feitas correções e adequações para a elaboração dos mapas. Assim, foram feitos os cálculos das áreas classes de uso e ocupação. Além disso, investigou-se o comportamento multitemporal da cobertura de vegetação nativa dentro de uma faixa de 150 metros com relação aos córregos e nascentes. Com relação aos parâmetros da água foram utilizados dados fornecidos pelo DAAE Araraquara do ponto do exutório da represa do período de 2010 a 2018. Como resultados, foi notado que houve um aumento de 35% da área agrícola, diminuição de 83% da área de pastagem, aumento de 118% da área urbana e aumento de 33% de vegetação nativa nas faixas marginais analisadas. Além da mudança no estado trófico da represa, os parâmetros da água mostraram a presença de matéria orgânica, nitrogênio e alterações na cor e na turbidez. Houve amostras de DBO, Oxigênio Dissolvido e Cor fora dos padrões do órgão ambiental, além de amostras com presença de Nitrogênio Amoniacal, Nitrito e Nitrato. Portanto, as mudanças da paisagem, juntamente com outras características ambientais, indicam que a distribuição das classes de cobertura do solo pode ter influenciado nos parâmetros da água da represa do Lajeado. No entanto, as causas da eutrofização da represa podem ter influência de outros fatores.

Palavras-chave: poluição difusa, reservatórios, uso do solo, paisagem, análise da água, macrófitas, eutrofização.

ABSTRACT

FERREIRA, Flaviano Borges de Castro. Change in the landscape of the drainage area and changes in the water quality of the Lajeado Dam (Araraquara - SP). 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

The environmental impacts on lentic water bodies can originate within its drainage area, which can be point pollution, such as domestic sewage, and dispersed, such as fertilizers and pesticides. Thus, the use and soil occupation influence the parameters related to the surface drainage flow to water bodies. The objective of this work was to analyze the relationship between the change in the landscape of the drainage area and the changes in the water quality of the Lajeado Dam, located in Araraquara (SP). To analyze the different soil coverages in the reservoir basin, data from the Mapbiomas Project from all years from 1985 to 2018 were used. Through high-resolution satellite images, corrections and adjustments were made for the preparation of the maps. Thus, the calculation of the class areas of use and occupation was made. In addition, the multitemporal behavior of native vegetation coverage within a buffer of 150 meters with respect to streams and springs was investigated. Regarding the water parameters, data provided by DAAE Araraquara from the point of the reservoir exutory from 2010 to 2018 were used. As a result, it was noted that there was an increase of 35% in the agricultural area, a decrease of 83% in the pasture area, an increase of 118% in the urban area and a 33% increase in native vegetation in the buffers analyzed. In addition to the change in the trophic state of the dam, the water parameters showed the presence of organic matter, nitrogen and changes in color and turbidity. There were samples of BOD, Dissolved Oxygen and Color outside the standards of the environmental agency, in addition to samples with the presence of Ammoniacal Nitrogen, Nitrite and Nitrate. Therefore, changes in the landscape, together with other environmental characteristics, indicate that the distribution of land cover classes may have influenced the water parameters of the Lajeado dam. However, the causes of dam eutrophication may be influenced by other factors.

Keywords: diffuse pollution, reservoirs, land use, landscape, water analysis, macrophytes, eutrophication.

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização do município de Araraquara no estado de São Paulo	26
Mapa 2 - Bacia da Represa do Lajeado	27
Mapa 3 – Faixa de 150 metros de largura ao redor dos cursos d’água.....	40
Mapa 4 - Definição das ordens dos canais	45
Mapa 5 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1985	46
Mapa 6 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1986	47
Mapa 7 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1987	47
Mapa 8 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1988	48
Mapa 9 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1989	48
Mapa 10 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1990	49
Mapa 11 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1991	49
Mapa 12 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1992	50
Mapa 13 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1993	50
Mapa 14 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1994	51
Mapa 15 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1995	51
Mapa 16 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1996	52
Mapa 17 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1997	52
Mapa 18 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1998	53
Mapa 19 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1999	53
Mapa 20 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2000	54
Mapa 21 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2001	54
Mapa 22 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2002	55
Mapa 23 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2003	55
Mapa 24 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2004	56
Mapa 25 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2005	56
Mapa 26 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2006	57
Mapa 27 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2007	57
Mapa 28 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2008	58
Mapa 29 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2009	58
Mapa 30 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2010	59
Mapa 31 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2011	59
Mapa 32 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2012	60

Mapa 33 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2013	60
Mapa 34 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2014	61
Mapa 35 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2015	61
Mapa 36 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2016	62
Mapa 37 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2017	62
Mapa 38 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2018	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Precipitação total por ano.....	30
Gráfico 2 - Precipitação média mensal.....	30
Gráfico 3 - Variação temporal da DQO, DBO, OD e pH na represa do Lajeado	43
Gráfico 4 - Variação temporal de nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e turbidez na represa do Lajeado	43
Gráfico 5 - Variação temporal da cor na represa do Lajeado	44
Gráfico 6 - Áreas das classes de uso e ocupação da Bacia do Lajeado	65
Gráfico 7 - Gráfico da evolução do uso e ocupação do solo das menores classes da Bacia da Represa do Lajeado	66
Gráfico 8 - Ganhos e perdas das classes entre 1994 e 2018	67
Gráfico 9 - Vegetação ripária no buffer de 150 m.....	69
Gráfico 10 - Mudanças na vegetação ripária	70
Gráfico 11 - Formação Florestal na bacia e no <i>buffer</i> de 150 m	71
Gráfico 12 - Uso e ocupação do solo da Bacia da Represa do Lajeado e o surgimento de macrófitas	73
Gráfico 13 - Diagramas de caixa dos parâmetros OD, DBO e DQO entre 2010 e 2018	74
Gráfico 14 - Médias anuais dos parâmetros OD, DBO e DQO entre 2010 e 2018.....	74
Gráfico 15 - Diagramas de caixa dos parâmetros pH, Turbidez e Cor entre 2010 e 2018.....	75
Gráfico 16 - Médias anuais dos parâmetros pH, Turbidez e Cor entre 2010 e 2018	76
Gráfico 17 - Diagramas de caixa dos parâmetros Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Amoniacal entre 2010 e 2018	77
Gráfico 18 - Médias anuais dos parâmetros Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Amoniacal entre 2010 e 2018	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Represa do Lajeado em 2019, com ampla distribuição das macrófitas aquáticas em toda a extensão da lâmina d'água	16
Figura 2 - Esquema da primeira reclassificação da paisagem	33
Figura 3 - Área de trabalho para a reclassificação da classe 'Outra Área não Vegetada'	34
Figura 4 - Esquema da reclassificação da Outra Área não Vegetada em Agricultura ou Pastagem	35
Figura 5 - Imagem de satélite da Represa do Lajeado e da Rodovia Washington Luís	36
Figura 6 - Análise da mudança inusitada da classe Formação Florestal em determinada área da bacia estudada.....	37
Figura 7 - Imagem de satélite da cultura de citrus e área correspondente no MapBiomas	37
Figura 8 - Definição dos mosaicos referentes à cultura de cítricos	38
Figura 9 – Exemplo de reclassificação de feições inusitadas (2006)	39
Figura 10 - Mudança da configuração da classe Agricultura na Bacia da Represa do Lajeado	68
Figura 11 - Mudança da configuração da classe Pastagem na Bacia da Represa do Lajeado..	68
Figura 12 - Mudança da configuração da classe Infraestrutura Urbana na Bacia da Represa do Lajeado	68
Figura 13 - Mudança da configuração da classe Formação Florestal dentro e fora do <i>buffer</i> de 150 m na Bacia da Represa do Lajeado.....	72
Figura 14 - Distribuição espacial das concentrações de Nitrogênio e Fósforo na Represa do Lajeado e afluentes	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diferentes análises do impacto da paisagem nos corpos d'água	23
Tabela 2 - Reclassificação dos mosaicos de uso e ocupação da Represa do Lajeado	32
Tabela 3 - Presença das macrófitas na Represa do Lajeado	42
Tabela 4 - Valores dos parâmetros no exutório da Represa do Lajeado	44
Tabela 5 - Parâmetros morfométricos da Bacia da Represa do Lajeado	45
Tabela 6 - Áreas das classes de uso e ocupação da Bacia do Lajeado	64
Tabela 7 - Área da vegetação ripária dentro do buffer de 150 m	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4 METODOLOGIA.....	26
4.1 DELIMITAÇÃO DA BACIA	26
4.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA.....	27
4.3 INFORMAÇÕES AMBIENTAIS	28
4.4 USO DE DADOS DO MAPBIOMAS PARA CLASSIFICAÇÃO DOS MOSAICOS DA PAISAGEM	31
4.5 ADAPTAÇÕES E CORREÇÕES	31
4.6 MÉTRICAS DE PAISAGEM	39
4.6.1 Cálculo das áreas das classes	39
4.6.2 Vegetação ripária.....	40
4.7 COMPARAÇÕES DADOS QUALIDADE DA ÁGUA.....	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 ESTUDO DA BACIA DA REPRESA DO LAJEADO	45
5.2 MAPAS GERADOS	46
5.3 CÁLCULO DAS MÉTRICAS	63
5.4.1 Áreas das Classes	63
5.4.2 Vegetação ripária.....	69
5.5 COMPARAÇÃO COM A ANÁLISE DA ÁGUA.....	72
6 CONCLUSÕES.....	79
7 RECOMENDAÇÕES FUTURAS.....	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

1 INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais, embora tratados muitas vezes de maneira separada, se relacionam, podem ter causas comuns e consequências previsíveis, e por isso devem ser monitorados e mitigados (LIMA; FERRAZ; FERRAZ, 2013). Cientistas alertam para temas onde a pressão no meio ambiente já extrapolou o limite seguro para o equilíbrio ambiental, como biodiversidade, ciclo biogeoquímico do nitrogênio e mudanças climáticas, e recomendam ações para evitar que estes e outros problemas não prejudiquem a qualidade ambiental e da própria vida do homem (BENNETT et al., 2015). Nesses exemplos, preservação da biodiversidade e manutenção do ciclo do nitrogênio e do clima, podem ter causas comuns, como desmatamento, uso intensivo de pesticidas e adubação química e mudanças da paisagem. Todas essas ações são antropogênicas e podem gerar consequências no meio ambiente e, assim, no próprio bem estar da população, como diminuição do sequestro de carbono e alteração na manutenção da qualidade da água, afetando diretamente o consumo humano.

A preocupação com o meio ambiente e com os recursos naturais se manifesta na evolução de uma série de mecanismos jurídicos e de órgãos de controle que preveem sua proteção e a garantia do uso sustentável da população de serviços ambientais. Além disso, há uma crescente evolução tecnológica no monitoramento ambiental, como sensoriamento remoto e análise de vários parâmetros da água. O acúmulo de dados públicos e abrangentes torna possível determinar com mais precisão as melhores decisões dos agentes envolvidos em qualquer atividade humana (ALGHORANI; DELANEY; OKAFORA, 2020).

Uma das maneiras de se buscar a preservação ambiental é setorizando regiões por bacias, já que é por elas que ocorre toda a drenagem de água e pode-se inferir sobre os impactos e aspectos ambientais e conduzir sua gestão, como estabelece a Lei 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). As cargas poluidoras dentro da bacia podem ser difusas ou pontuais e todas elas podem impactar o seu exutório (LIBOS; ROTUNNO; ZEILHOFER, 2003). Portanto, para a análise dos impactos ambientais de um corpo hídrico é importante conhecer sua área de drenagem.

Neste contexto, este trabalho visa contribuir para a resolução da causa de um problema enfrentado pela população que fazia uso da Represa do Lajeado, no município de Araraquara (SP). Por um momento a represa deixou de ter seus usos normalmente uma vez que houve uma mudança de seu estado trófico que comprometeu a qualidade da água. Esta represa deixou de ser usada para o lazer, consumo, irrigação, dessedentação animal, pesca, dentre outros porque

houve uma invasão anômala da macrófitas aquáticas em praticamente toda sua superfície, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Represa do Lajeado em 2019, com ampla distribuição das macrófitas aquáticas em toda a extensão da lâmina d'água



Fonte: imagem cedida por Espíndola (2019).

Diante do problema socioeconômico e ambiental sofrido por pessoas que faziam uso da represa, essa população e o Ministério Público, entraram com uma ação judicial para investigar culpados responsáveis pelo impacto ambiental negativo. Neste inquérito, esteve envolvido o Departamento de Água e Energia Elétrica (DAAE) de Araraquara, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), moradores e empresas próximas à represa. Após estudos inconclusivos sobre alguma fonte de poluição pontual que causasse o efeito na represa e o DAAE responsabilizado pela justiça e obrigado a retirar as macrófitas da represa. O DAAE aceitou o pedido e pediu para investigar as causas. Neste contexto, em parceria firmada entre DAAE e a Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), essa problemática foi apresentada à disciplina de Monitoramento Ambiental do primeiro semestre turma de 2019. O intuito foi investigar as causas da eutrofização e propor o manejo adequado da retirada das macrófitas.

No presente trabalho, buscou-se aprofundar a investigação que foi feita no âmbito da parceria entre o DAAE e a EESC com relação ao uso e ocupação do solo de toda a área de drenagem da represa. Procurou-se dar um foco às mudanças da paisagem da região ao longo do tempo e de modo a buscar eventual relação entre as mudanças no uso e ocupação do solo e a alteração da qualidade da água da represa.

2 OBJETIVOS

Analisar a relação entre a mudança da paisagem da área de drenagem e as alterações na qualidade da água da Represa do Lajeado, localizada em Araraquara (SP).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para compreender melhor o porquê se deve investigar a área de drenagem da Represa do Lajeado, foi feita uma revisão bibliográfica de como a bacia de uma represa pode influenciar aspectos ambientais do reservatório e, conseqüentemente, seus múltiplos usos.

A relação entre uso e ocupação do solo e garantia da resiliência ambiental para o bem-estar humano pode ser explicada através da definição de serviços ecossistêmicos. Segundo a *Millenium Assessment Ecosystems* (2005, p. 917), os serviços ecossistêmicos são os “benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, incluindo serviços de abastecimento, como alimentos e água, serviços de regulação, como regulação de enchentes, secas, degradação da terra e doenças, recreacionais, espirituais, religiosos e outros não materiais”.

Entre os serviços ecossistêmicos, estão aqueles que regulam, proveem e garantem os usos culturais da água. Como exemplos, é possível citar o armazenamento e a retenção de água para uso doméstico, industrial e agrícola, retenção, recuperação e remoção de nutrientes em excesso e outros poluentes e atividades recreativas, como pesca e contemplação. Os serviços de água doce que podem ser utilizados pelos seres humanos são os de maior valor entre todos os serviços ecossistêmicos (ACUÑA et al., 2014). Com desenvolvimento econômico, o crescimento populacional, a deterioração ecológica e o aquecimento global, a gestão de recursos hídricos se tornou de grande relevância para pesquisa nos últimos anos (KHAN; ZHAO, 2018). O provimento de água de uma região pode ser afetado pelo clima, uso do solo e atividade antrópica e, conseqüentemente, esses fatores de influência podem ocasionar alterações no equilíbrio entre oferta e demanda de recursos hídricos desta região (ABDULSLAM et al., 2017).

A qualidade da água doce pode ser mensurada a partir de diversos parâmetros. Alguns deles, que são especificamente importantes para este trabalho, são listados a seguir, de acordo com as definições de Cardoso, Rocha e Rosa (2009).:

- a) Demanda Química de Oxigênio (DQO): mede a quantidade de matéria orgânica de um meio hídrico. Seu aumento em um ambiente pode resultar em eutrofização, prejudicando a qualidade da água.
- b) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): mede quantidade de oxigênio consumido na degradação da matéria orgânica por processos biológicos no meio aquático. A alta concentração pode gerar problemas ambientais, pois está relacionada com alta

quantidade de matéria orgânica no meio e pode ter consequências como resíduos da decomposição anaeróbia, depleção de oxigênio e eutrofização.

- c) Oxigênio Dissolvido (OD): mede a quantidade de oxigênio dissolvido por certa massa de água. A diminuição de OD está relacionada com decomposição de matéria orgânica, acompanhada ou não por poluição por nutrientes, tendendo a reduzir ou suprimir a presença de organismos aeróbicos como os peixes.
- d) pH: mede o potencial hidrogeniônico de um meio aquático e pode variar de acordo com fatores como oxidação da matéria orgânica, fotossíntese e dissolução de rochas. Em ambientes com ausência de oxigênio, cria-se a condição de anaerobiose, e tende a abaixar o pH por conta da geração de ácidos orgânicos.
- e) Nitrogênio Amoniacal: medida para a quantidade de amônia, um poluente tóxico frequentemente encontrado no lixiviado de aterros sanitários e em produtos residuais, como esgoto, esterco líquido e outros resíduos orgânicos líquidos. Além disso, também é muito utilizado como fertilizante
- f) Nitrito: mede a concentração desse composto químico. O nitrito é produzido em indústrias químicas e altamente empregado na agricultura como parte da composição de fertilizantes.
- g) Nitrato: mede a concentração deste composto químico. A presença de nitrato no ambiente aquático pode ser derivada tanto de fontes diretas desse composto quanto da oxidação dos nitritos, os quais tendem ser rapidamente convertidos para nitrato.
- h) Turbidez: medida relacionada com a transparência de um corpo fluido. Essa propriedade física muda de acordo com a presença de materiais em suspensão que interferem a passagem da luz através do meio.
- i) Cor: medida que expressa a coloração da água coletada. Segundo Von Sperling (2005), os fatores que contribuem para a mudança de cor da água são a decomposição de matéria orgânica e esgotos de origem doméstica e industrial.

Os parâmetros DQO, DBO, OD e pH estão relacionados com a decomposição de matéria orgânica no meio. Mudanças no uso do solo, mudanças climáticas e aumento da carga residual oriunda da urbanização e industrialização podem gerar aumento matéria orgânica (DILLON et al., 2014). Já as fontes de nitrogênio medidas pelos parâmetros nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato podem estar relacionados com despejos de atividades humanas. Segundo Bi et al. (2019), no geral, quanto maior a presença de áreas florestais e pastagens na bacia hidrográfica, menor a concentração de nitrogênio nas águas dos rios, ao passo que áreas agrícolas e urbanizadas são

fortemente correlacionadas com a concentração de nitrogênio nos rios. No Brasil, a Resolução CONAMA 357 (2005) estabelece padrões para DBO, OD e cor para a classificação dos corpos d'água para poder determinar seus usos.

A água que flui em um curso d'água ou que represa em um reservatório tem origem na sua área de drenagem, também chamada de bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica é toda a superfície que, por conta da topografia, induz o escoamento superficial ao mesmo espaço físico de saída, chamado exutório. A Política Nacional de Recursos Hídricos, através da Lei no 9.433 (BRASIL, 1997), estabeleceu a bacia hidrográfica como unidade territorial para sua implementação e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Além disso, a bacia hidrográfica também é a unidade de estudo ideal para a análise dos aspectos e impactos ambientais de um corpo hídrico e do estudo da poluição difusa e pontual. A qualidade e quantidade da rede de drenagem é, em grande parte, consequências da distribuição do uso e ocupação da superfície desta área (PORTO; PORTO, 2008). Dessa forma, segundo Lima (2010), a bacia hidrográfica proporciona uma visão abrangente e sistêmica, que analisa e leva em conta tanto as imposições climáticas naturais como o resultado das alterações da paisagem antropogênicas.

A delimitação da bacia é mais precisa em sistemas de informação geográfica, que determina o traçado limite da área de drenagem a partir de dados topográficos e da definição do exutório. Por meio da delimitação da bacia é possível fazer a caracterização morfométrica, que fornece a descrição quantitativa de sistemas hídricos, a identificação de correlações entre propriedades geomorfológicas e respostas hidrológicas em eventos extremos (MOUSSA, 2003). Dados morfométricos da bacia podem ser utilizados para o planejamento do uso e da ocupação do solo (KAR; KUMAR; SINGH, 2009).

Frequentemente, para fins de gestão, as fontes de nutrientes e sedimentos responsáveis por poluição em corpos d'água são divididas em fontes pontuais, aquelas que tem origem de locais definidos que descarregam diretamente em cursos de água, e fontes difusas ou não pontuais, aquelas que se originam em todo território (NOVOTNY, 2009).

A mudança no uso e ocupação do solo tem sido vista como a resposta mais direta à interferência humana no ecossistema natural e como um dos fatores determinantes mais significativos de mudanças nos processos ecológicos e serviços ecossistêmicos (HELMERS et al., 2014). Segundo Li et al. (2020) o padrão da paisagem tem influências significativas na qualidade da água, variando de acordo com os dados multitemporais de cobertura, diferentes métricas da paisagem e dos diferentes parâmetros de qualidade da água.

A atividade agrícola, dentro de uma bacia, pode gerar mudanças nos parâmetros dos cursos d'água. No Brasil, a agricultura é uma das atividades econômicas mais importantes, mas também é uma das principais causas da degradação da qualidade da água (MARTINELLI et al., 2010). Terras agrícolas são responsáveis pelo aumento de sedimentos, cargas de nutrientes em cursos de água e poluentes tóxicos (ABESSA et al., 2019). Os principais tipos de contaminantes de origem agrícola são pesticidas, fertilizantes e herbicidas. Geralmente, pesticidas e herbicidas, são compostos orgânicos aplicados em cultivos em soluções aquosa e, em grande parte, são biodegradáveis e desaparecem rapidamente, mas alguns podem contaminar a água subterrânea e de escoamentos de forma difusa. A aplicação de fertilizantes está relacionada com a exigência de nutrientes das culturas, em destaque fósforo, nitrogênio e potássio. O uso de fertilizantes e pesticidas na agricultura são um problema grave para os ecossistemas aquáticos porque levam à eutrofização, aumentando a concentração de nutrientes e turbidez, e contaminação das águas subterrâneas (CUNHA; DODDS; SABOGAL-PAZ, 2016).

A presença de pastagem na paisagem também pode gerar alguns problemas ambientais como a compactação, aumentando o escoamento de água, nutrientes e sedimentos para os ecossistemas aquáticos e aumentando a processos erosivos e a intermitência do riacho (CROUCH et al, 2013). Além disso, os fertilizantes aplicados à pastagem com compactação do solo são perdidos através do escoamento e transferidos para os ecossistemas aquáticos, causando eutrofização, perda de biodiversidade aquática e florescimento de algas tóxicas (BALLESTER et al., 2011).

O processo de urbanização também gera profundas mudanças na paisagem e nos serviços ecossistêmicos na bacia onde ocorre. A maioria dos riachos e rios urbanos do Brasil são altamente enriquecidos por resíduos orgânicos, coliformes fecais, fósforo e nitrogênio devido à falta de coleta de esgoto e instalações de tratamento, juntamente com a rápida urbanização e zonas ripárias degradadas (HUGHES et al., 2020). Mesmo com coleta e tratamento de esgoto, o escoamento pluvial continua a degradar a qualidade da água ao transportar lixo descartado de forma incorreta, detritos e produtos tóxicos das estradas para corpos d'água (COTTINGHAM et al., 2005). A urbanização também causa mudanças no escoamento superficial por meio do aumento da cobertura impermeável que altera as condições hidrológicas dos sistemas de água doce, afetando a qualidade da água. Além disso, a alta contaminação dos ecossistemas aquáticos urbanos causa mudanças ecológicas no seu ambiente, podendo eliminar espécies e favorecer a colonização de outras (ALVES et al., 2015).

Uma das estratégias adotadas no Brasil para proteger a qualidade da água dos rios, córregos e reservatórios é a obrigatoriedade da preservação de suas margens de acordo com a Lei nº 12.651/2012 (Lei de Proteção da Vegetação Nativa), que define as Áreas de Preservação Permanente (APPs). Apesar de haver questionamentos quanto a sua base científica com relação às métricas exigidas com o intuito de mitigar-se impactos ambientais (METZGER, 2010), a vegetação ripária exerce importantes serviços ecossistêmicos. É possível citar, como exemplos, o fornecimento de sombra e matéria orgânica para riachos e sua biota, serem corredores ecológicos para espécies nativas, a estabilização de margens de riachos, a retenção de escoamento de água, produtos químicos e sedimentos originados de áreas adjacentes, e importância para a dinâmica dos ciclos biogeoquímicos na paisagem (HUGHES et al., 2020). Por conta disso, essas faixas marginais têm recebido atenção especial de políticas e proteção de instrumentos legais em muitas partes do mundo, como um reconhecimento da notável importância que essas áreas têm para a conservação dos recursos hídricos e uma variedade de funções ecológicas (ARONSON et al., 2015).

O estudo da paisagem de uma bacia hidrográfica pode ajudar a compreender as mudanças da qualidade da água, uma vez que atividades agrícolas, pecuária, urbanização, vegetações naturais, dados morfométricos, dentre outros fatores são relevantes para se compreender como ocorre a drenagem até o exutório. Dessa maneira, há evidências em estudos em vários locais expondo correlações entre a qualidade da água e uso e ocupação do solo (Tabela 1).

Tabela 1 - Diferentes análises do impacto da paisagem nos corpos d'água

Referência	Localização	Avaliação	Descrição
VERMA, V.K. et al, 2020	Punjab, Índia	Matéria orgânica nos corpos d'água	Estudo de região com expansão urbana e agrícola na região
COLADELLO, L.F. et al, 2020	Salto Grande, Brasil	Causas da invasão de macrófitas	Análise do represamento d'água de uma região com expansão urbana e industrial
NAKANO, T. et al, 2008	Lago Biwa, Japão	Despejo de diversos nutrientes	Região densamente urbanizada, com áreas agrícolas e zonas industriais
SOUZA, A.L.T., et al., 2013	Sudeste brasileiro	Sedimentação e de nitrogênio nos cursos d'água	Áreas com ausência de vegetação ripária
DINH, J. et al., 2016	Rio Dongjiang, China	Qualidade da água	Análise de paisagem com vegetação ripária em rios de baixa classe
CUNHA, D.G.F et al., 2016	Estado São Paulo	Custo do tratamento de água	Comparação entre bacias hidrográficas florestadas e predominantemente agrícola e industrial/urbana
CLÉMENT, F., 2017	Canadá oriental	Qualidade da água	Comparação entre diversas paisagens e qualidade da água
LEE, S. et al., 2009	Coréia do Sul	Qualidade da água	Comparação entre diversas paisagens e qualidade da água
WU, M.Y. et al, 2012	Província de Hubei, China	Modelo estatístico preditivo para paisagem e qualidade da água	Comparação estatística entre nove índices de qualidade da água e dezoito métricas da paisagem
CUNHA, D.G.F et al., 2019	Córregos brasileiros e lagos mexicanos	Concentração de nutrientes	Comparação entre métricas da paisagem e concentração de fósforo e nitrogênio nos corpos d'água

Fonte: elaborado pelo autor.

No Brasil, o estado de São Paulo é um exemplo de região onde houve várias mudanças da paisagem nos últimos anos relacionadas com o desenvolvimento econômico. Segundo o MapBiomas (2020), houve um expressivo aumento de terras agrícolas, diminuição expressiva de pastagens, consolidações das APPs, aumento da urbanização e de florestas.

O cultivo canavieiro expandiu-se pelo estado impulsionado por diversos fatores econômicos. Segundo Shikida, Azevedo e Vian (2011), o estado é o maior produtor nacional de cana-de-açúcar e onde se encontra a maioria da infraestrutura para a produção principalmente de etanol e açúcar, tornando esse setor da economia um dos principais do estado. Segundo Camara e Caldarelli (2016), essa agroindustrialização ocorreu em dois momentos: primeiramente, pelo programa criado pelo governo brasileiro em 1975, o ProÁlcool, que por

meio de planejamento e gestão estatal, financiava uma vigorosa expansão e consolidação do mercado de biocombustíveis; já o segundo momento, ocorreu em 1999, quando o setor passou por desregulamentação, perdendo os subsídios estatais. Apesar do avanço econômico, a expansão canavieira gerou questionamentos sobre os impactos sociais, econômicos, ambientais, problemas hídricos, questões fundiárias e de segurança alimentar (GILIO, 2015).

O cultivo da cana no estado de São Paulo no período 2005 a 2011 cresceu e avançou 63,1% em áreas de pastagens, 32,1% em culturas anuais ou temporárias, 3,7% em citros, 0,2% em terras com vegetação arbórea e matas ciliares e 0,1% em áreas de reflorestamento, ou seja, um crescimento principalmente em áreas que antes eram utilizadas para a produção de alimentos (ADAMI et al., 2013). Isso ocorre porque as plantações de cana-de-açúcar necessitam ficar próximas à infraestrutura, o que diminui sua presença em regiões menos desenvolvidas. Mesmo com a expansão contínua nos últimos anos no estado, devido a quedas recentes de produtividade, o aumento da produção deve ocorrer pela expansão territorial (Caldarelli e Gilio, 2018). Apesar da expansão esperada da cultura de cana-de-açúcar nas bacias do estado, estudos projetam que essa expansão pode não ter impactos substanciais na vazão dos cursos d'água, ou ainda, indicam que em algumas bacias a cultura canavieira pode diminuir os picos de vazão, diminuindo os riscos de enchentes e aumentando a disponibilidade hídrica (HERNANDES; SCARPARE; SEABRA, 2018). No entanto, é importante uma faixa de vegetação entre a cultura e os corpos d'água para diminuir os impactos do escoamento de sedimentos e de nutrientes (BROEK et al., 2019).

O cultivo de citros, principalmente laranja, também é expressivo no estado de São Paulo. Na safra de 2018, por exemplo, o estado foi responsável pela produção de mais de 12 milhões de toneladas de laranjas, tornando-se o maior polo citrícola do país (IBGE, 2018). Assim como a cana, esse cultivo está fortemente vinculado com uma infraestrutura industrial. Juntas, essas culturas recorrem ao uso de agroquímicos em detrimento de atividades menos nocivas, como como pastoreio e reflorestamento (COSTA et al., 2019).

As mudanças da paisagem do município de Araraquara (SP) possuem algumas semelhanças com a paisagem do estado, como aumento de áreas urbanizadas e agrícolas, e a diminuição de pastagens. Segundo o Mapbiomas (2020), em três décadas, formações naturais diminuíram 33%, áreas de pastagem diminuíram 78% e áreas agrícolas aumentaram 49%, sendo um local de expressiva urbanização e atividade agroindustrial. A expansão urbana é reflexo do desenvolvimento econômico, aumento da população e aumento dos loteamentos. É possível notar no município o fenômeno do espraiamento urbano (PIERINI E FALCOLSKI, 2019). Espraiamento urbano se refere ao fenômeno da expansão descontrolada de áreas urbanizadas,

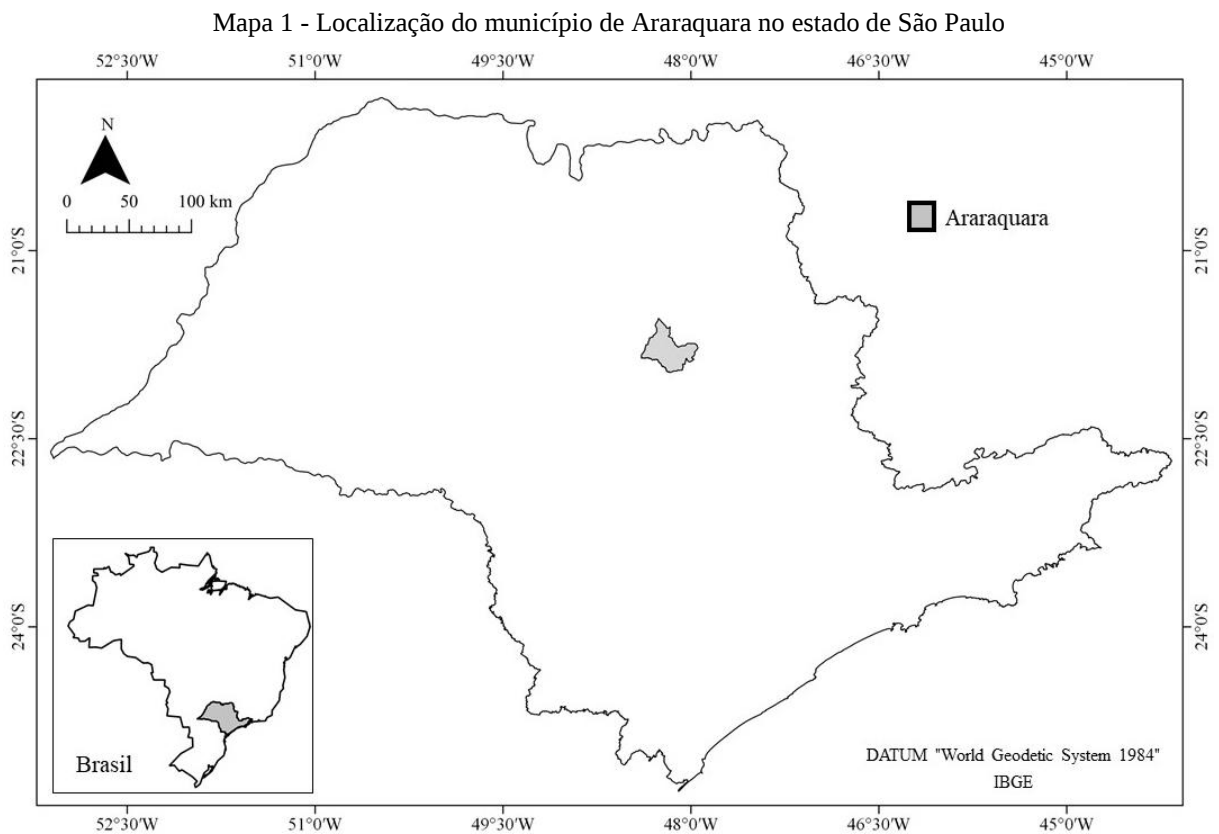
onde atividades urbanas antes concentradas nas áreas centrais se espalham para as áreas periféricas, fazendo com que a forma urbana tenha características de descentralização, baixa densidade, regionalizações e dependência de automóveis (FULTON et al., 2001). A população de Araraquara, entre 1985 e 2018, cresceu 60% (Seade, 2020), enquanto a área urbana cresceu 159% (Mapbiomas, 2020).

4 METODOLOGIA

4.1 DELIMITAÇÃO DA BACIA

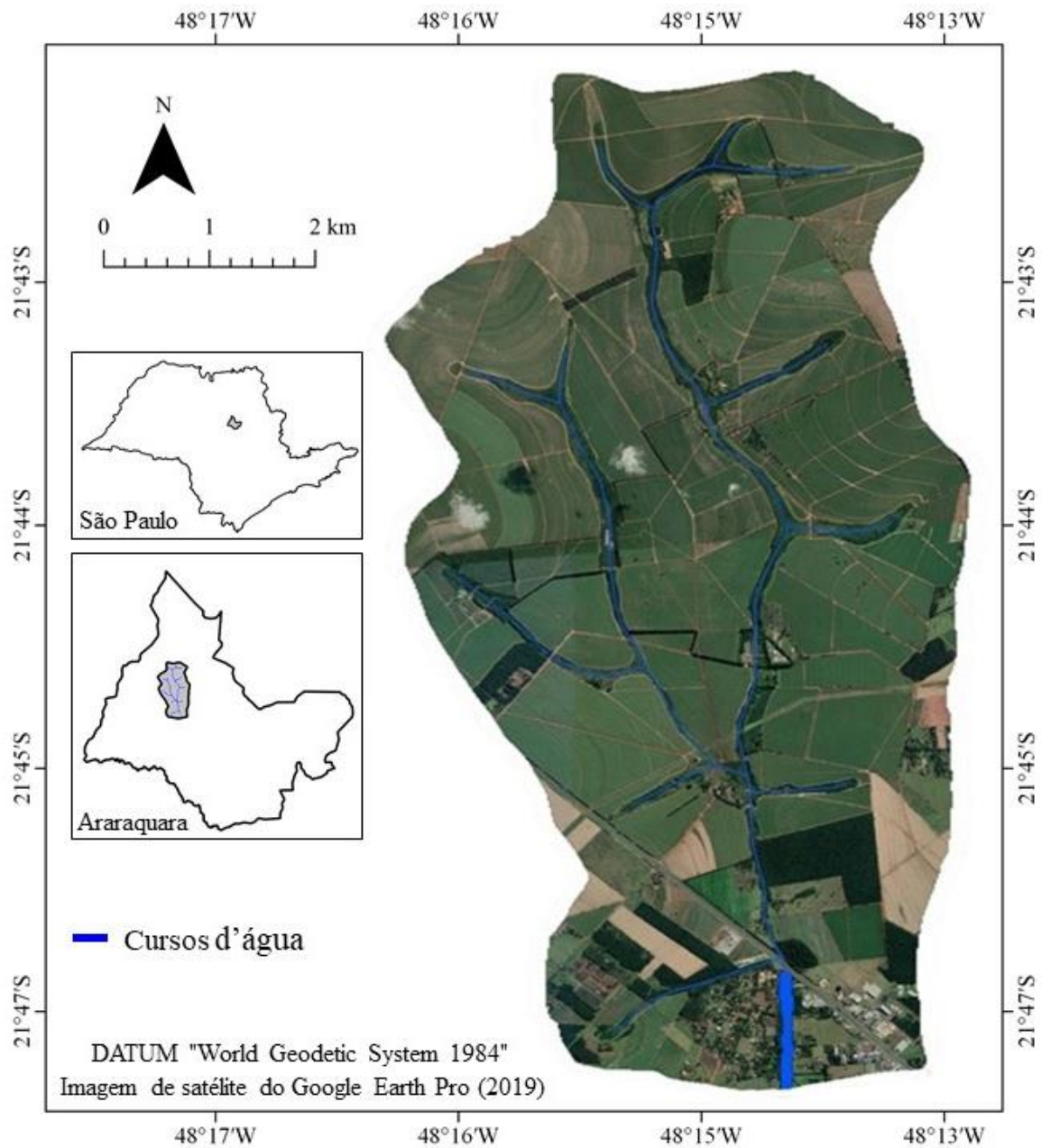
A delimitação da bacia consistiu em definir o exutório da represa estudada, ou seja, a barragem da represa. A partir do exutório foram traçados os limites da bacia a ser estudada.

A área de estudo encontra-se no município de Araraquara, no estado de São Paulo (Mapa 1), sendo que o exutório da Represa do Lajeado está na latitude $21^{\circ} 47' 5.88''$ S e na longitude $48^{\circ} 14' 12.41''$ O. A bacia da Represa do Lajeado (Mapa 2) possui 4153 hectares e está à noroeste da área urbana do município de Araraquara.



Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 2 - Bacia da Represa do Lajeado



Fonte: elaborado pelo autor.

4.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA

Foi feita a análise das características geométricas e da rede de drenagem da bacia de acordo com Tonello et al. (2006). A área da bacia, seu perímetro, o comprimento de seu eixo e o comprimento dos canais foram calculados pelo Google Earth Pro, o coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade e densidade de drenagem de acordo com as Equações 1, 2, 3 e 4. Também foram definidas as ordens dos cursos d'água com a metodologia Strahler (1957).

$$Kc = 0,28(P/\sqrt{A}) \quad \text{Equação 1}$$

Em que Kc é o coeficiente de compacidade, P é o perímetro da bacia (m), A é a área de drenagem (m²).

$$F = A/L^2 \quad \text{Equação 2}$$

Em que F é o fator forma, A é área de drenagem (m²), L é o comprimento do eixo da bacia (m).

$$IC = 12,57A/P^2 \quad \text{Equação 3}$$

Em que IC é o índice de circularidade, A é a área de drenagem (m²) e P é o perímetro da bacia (m).

$$Dd = Lt/A \quad \text{Equação 4}$$

Em Dd é a densidade de drenagem (km/km²), Lt é o comprimento de todos os canais (km) e A é a área de drenagem (km²).

Com o coeficiente de compacidade, o fator de forma e o índice de circularidade é possível analisar como tende a se comportar a drenagem ao longo da bacia e como ela reage a precipitações volumosas (OLIVEIRA et al., 2010). E a densidade de drenagem fornece uma indicação da eficiência da bacia hidrográfica (RODRIGUES; MENDIONDO, 2013).

4.3 INFORMAÇÕES AMBIENTAIS

Os dados pluviométricos foram obtidos no banco de dados hidrológicos do Portal do Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE, 2020). Os demais dados, foram obtidos pelo banco de informações ambientais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020).

Utilizando dados vetoriais do IBGE, foram feitos mapas no QGIS para se visualizar em quais classificações está o recorte da área da Bacia da Represa do Lajeado, para clima,

geomorfologia e pedologia. Por meio do recorte da bacia foi possível encontrar as classificações climáticas, geomorfológicas e pedológicas.

Para a análise da pluviometria, foram utilizados dados mensais de 1985 a 2018 do posto pluviométrico de prefixo C5-012 do DAEE. Foi escolhido esse posto pluviométrico porque ele está localizado no município de Araraquara, na coordenada latitude 786321.73 m L e longitude 7601513.98 m S, em uma região rural a 2,82 km de distância da fronteira mais próxima da bacia estudada. Os dados de janeiro, fevereiro, março e maio de 1985, de abril e maio de 1991, de todos os meses de 2003 e de janeiro e fevereiro de 2004 não estavam preenchidos para este posto pluviométrico. Então, foram utilizados dados do posto de prefixo C5-050, localizado na coordenada latitude 792988.87 m L e longitude 7588464.17 m S, a 5,90 km da fronteira mais próxima da bacia estudada. Com esses dados foram analisados a precipitação total de cada ano e as médias mensais do período.

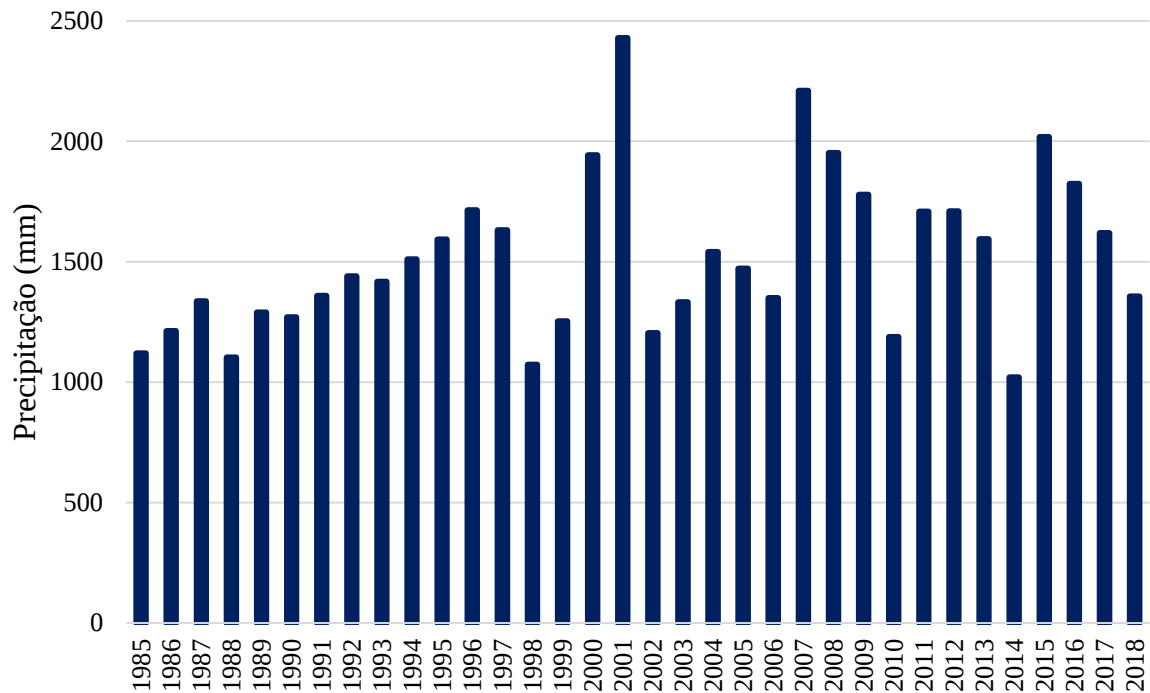
De acordo com o IBGE (2020), o clima zonal da região estudada é Tropical do Brasil Central, com temperaturas médias que variam entre 20°C e 28°C ao longo do ano, com verões chuvosos e invernos com pouca chuva com período de estiagem.

A Bacia da Represa do Lajeado se encontra inteiramente no Planalto Residual de São Carlos, apresentando relevos planos ou levemente ondulado (IBGE, 2020). Portanto, o escoamento superficial tende a ser lento, dependendo da pluviosidade e da cobertura do solo.

O tipo de solo presente em toda a bacia é o Latossolo Vermelho Distrófico (IBGE, 2020). Este solo, quando está sob cultivo, apresenta valores de densidade maiores e, consequentemente, menores valores de porosidade quando comparados com o mesmo solo sob vegetação nativa, fazendo com que o solo retenha menos água em áreas agrícolas (ARAUJO; TORMENA; SILVA, 2004).

Quanto à pluviosidade observada na bacia, houve uma média de 1512 mm por ano, tendo variado entre 1020 e 2429 mm. Na região é observado um período chuvoso entre novembro e março e um período de estiagem entre abril e outubro. O Gráfico 1 mostra a pluviosidade total anual e o Gráfico 2 a média mensal. Diferenças entre precipitações podem afetar a qualidade da água, inclusive induzir à eutrofização de reservatórios, sendo potencializado com reduções de volume pluviométrico (ROCHA JUNIOR et al., 2018). Chuvas volumosas podem induzir o aumento do escoamento de nutrientes e matéria orgânica ao ambiente lântico.

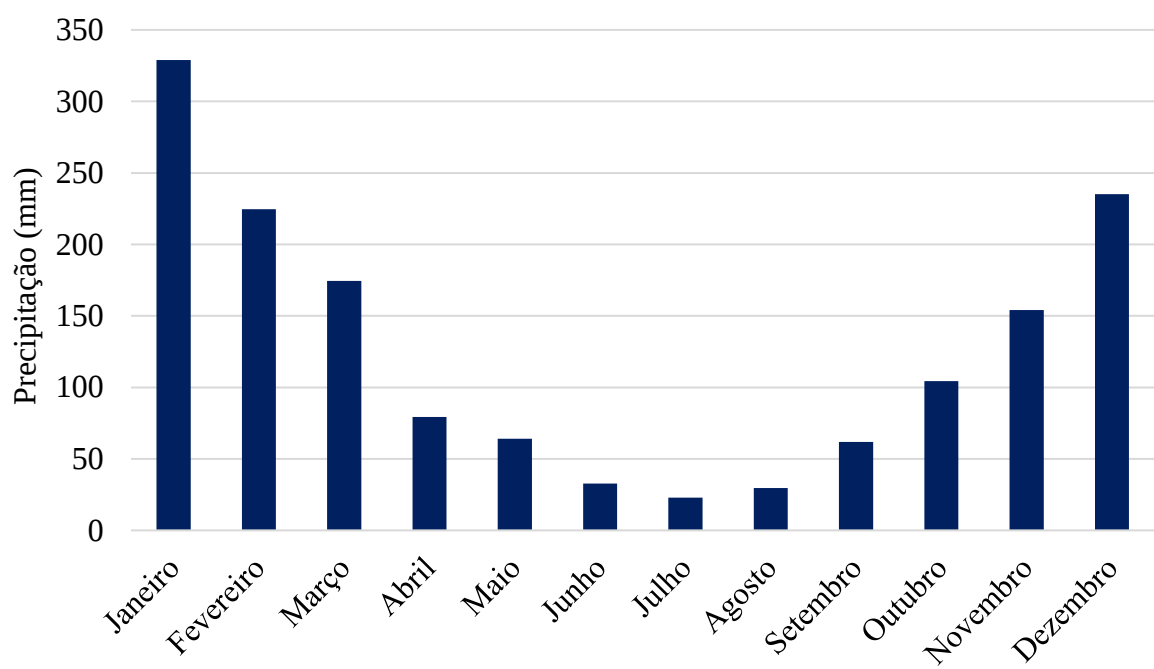
Gráfico 1 - Precipitação total por ano



Fonte: elaborado pelo autor.

Os anos de 1985, 1986, 1988, 1998, 1999, 2002, 2010 e 2014 apresentaram precipitações anuais abaixo do desvio padrão (261,96), ao passo que os anos 1996, 2000, 2001, 2007, 2008, 2009, 2015 e 2016 apresentaram precipitações acima do desvio padrão.

Gráfico 2 - Precipitação média mensal



Fonte: elaborado pelo autor.

4.4 USO DE DADOS DO MAPBIOMAS PARA CLASSIFICAÇÃO DOS MOSAICOS DA PAISAGEM

A fonte da série temporal de dados do uso e ocupação do solo foi feita utilizando o Projeto MapBiomas – Coleção 4.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em 21 de março de 2020 através do link: <https://mapbiomas.org/download>.

O Projeto MapBiomas é uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite. A descrição completa do projeto encontra-se em <http://mapbiomas.org>.

Os arquivos utilizados nesta plataforma foram baixados por meio do Google Earth Engine em formato GeoTIFF. Os arquivos são todos em formato matricial, onde cada pixel corresponde à 900 m² de solo (30 m × 30 m). Foram baixados os arquivos de 1985 até 2018, ano a ano. Na plataforma foram definidos os limites do município de Araraquara (SP) para o *download*. Em seguida, por meio do software de informação geográfica QGIS, utilizando as delimitações da bacia, foram gerados os mapas resultantes.

4.5 ADAPTAÇÕES E CORREÇÕES

Para poder analisar com mais precisão a evolução do uso e ocupação do solo na bacia estudada foram feitas adaptações e correções da fonte primária dos dados. A resolução espacial adotada no MapBiomas (30 x 30m) costuma ser suficiente para análises de recortes territoriais extensos, como municípios e grandes bacias hidrográficas. No caso do presente trabalho, que tem uma bacia de apenas 41,5 km², os eventuais erros decorrentes do processo de classificação automática de imagens de satélite adotado pelo MapBiomas podem ser corrigidos para aumentar a precisão da classificação por meio do uso de imagens de alta resolução. Nesse sentido, foram feitas correções analisando os próprios arquivos do Mapbiomas e utilizando imagens de satélite do Google Earth Pro de 1985 a 2018, com imagens de resolução que variam entre 1:100.000 até 1:20.000, com um grande nível de detalhamento. Para o período estudado o Google Earth Pro fornece 46 imagens de várias resoluções. Além disso, optou-se por agrupar determinadas classes de uso do solo adotadas pelo MapBiomas que foram consideradas homogêneas para a finalidade desse estudo.

O Mapbiomas define cada uma das classes da seguinte maneira:

- a) Formação Florestal: Floresta Ombrófila Densa, Aberta e Mista e Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual e Formação Pioneira Arbórea;

- b) Formação Savânica: Savanas, Savanas-Estépicas Florestadas e Arborizadas;
- c) Floresta Plantada: espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. eucalipto, pinus, araucária);
- d) Formação Campestre: Savanas e Savanas-Estépicas Parque e Gramíneo-Lenhosa, Estepe e Pioneiras Arbustivas e Herbáceas;
- e) Pastagem: áreas de pastagens, naturais ou plantadas, vinculadas a atividade agropecuária;
- f) Cultura Anual e Perene: áreas predominantemente ocupadas com cultivos anuais e, em algumas regiões com a presença de cultivos perenes;
- g) Cultura Semi-Perene: áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar;
- h) Infraestrutura Urbana: áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, vias e construções;
- i) Outra Área não Vegetada: áreas de superfícies não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes e regiões de solo exposto em área natural ou em áreas de cultura em entressafra;
- j) Rio, Lago e Oceano: rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.

Então, reclassificou-se de acordo com a Tabela 2.

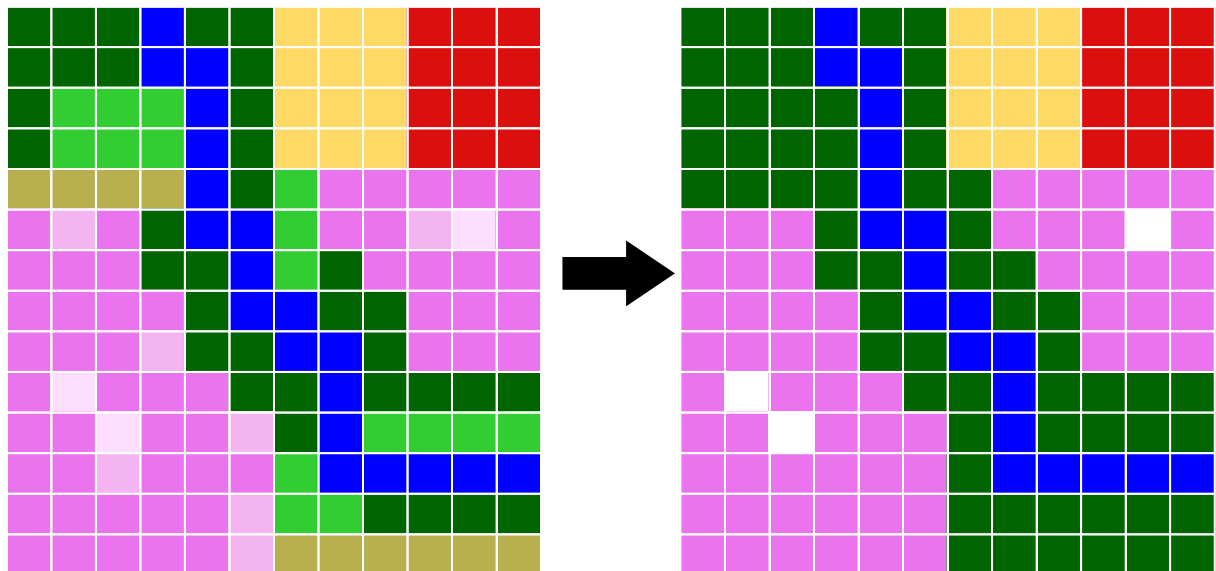
Tabela 2 - Reclassificação dos mosaicos de uso e ocupação da Represa do Lajeado

Classe	Cor	Nova Cor	Reclassificação
Formação Florestal			Formação Florestal
Formação Savânica			
Formação Campestre			
Floresta Plantada			Floresta Plantada
Pastagem			Pastagem
Cultura Anual e Perene			Agricultura
Cultura Semi-Perene			
Infraestrutura Urbana			Infraestrutura Urbana
Outra Área Não Vegetada			
Rio, Lago e Oceano			Corpo D'água

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 2 mostra um exemplo do resultado do procedimento de reclassificação adotado.

Figura 2 - Esquema da primeira reclassificação da paisagem



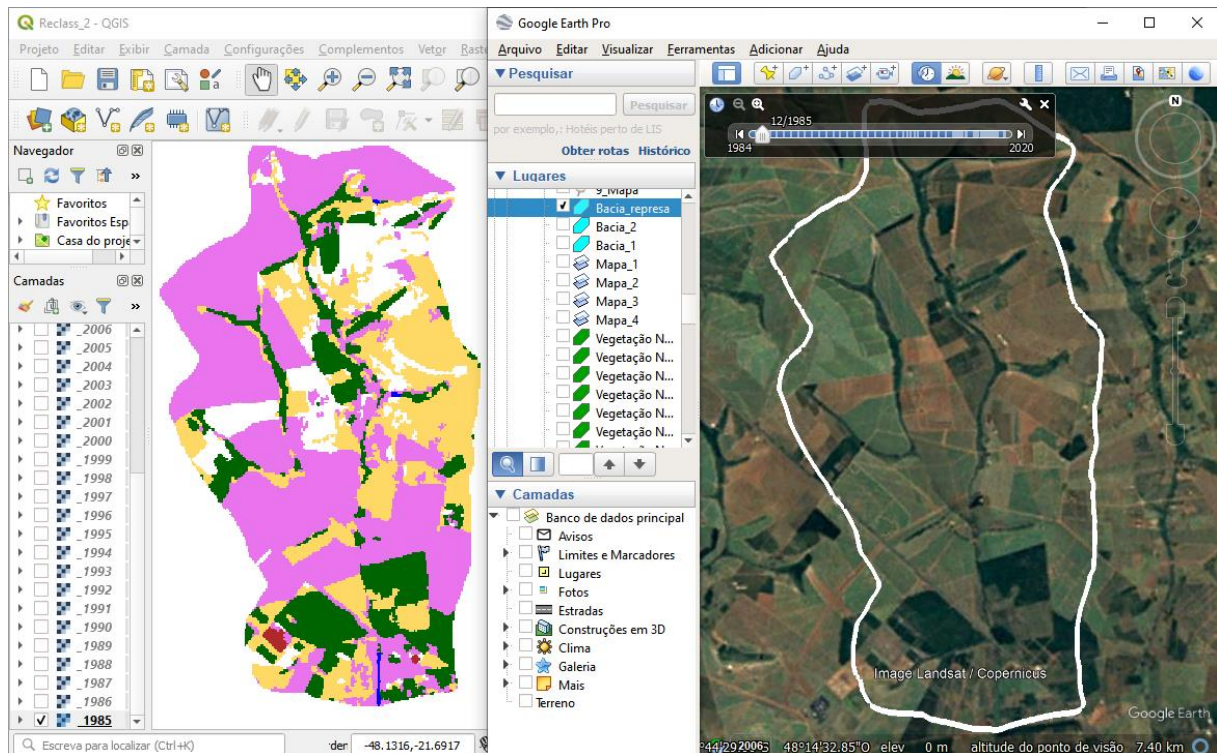
Fonte: elaborado pelo autor.

Formação Florestal trata-se de qualquer floresta não plantada ou que não haja uso comercial e de exploração. Floresta Plantada, Pastagem, Infraestrutura Urbana manteve-se com a mesma definição. A classe Agricultura trata-se da predominância da cultura de cana-de-açúcar, já era essa a definição dada pelo Mapbiomas, somando à esta classe somente pequenos fragmentos que anteriormente foram classificados pelo Mapbiomas com Cultura Anual e Perene.

Para a classe Outra Área não Vegetada a reclassificação passou por outro processo. Esta classe era representada por pixels isolados, sendo mais presente nos anos mais antigos. Tratava-se de regiões de cultura em entressafra, capoeira ou pastagem e para reclassificação também se utilizou-se imagens de satélite do Google Earth Pro como ilustrado no exemplo da Figura 3. Por meio do QGIS reclassificou-se da seguinte maneira: (1) fez-se a vetorização de todos os mapas e analisou cada pixel definido como Outra Área não Vegetada, ano a ano, (2) se no ano anterior e posterior aquele determinado pixel estivesse classificado, por exemplo, como Pastagem, então no ano intermediário, este pixel passou a ser classificado como Pastagem (sendo usada a mesma lógica para todos os usos). Além disso, analisou-se como era o contorno dos fragmentos da classe Outra Área não Vegetada para os casos em que o fragmento desta classe era menor que 3 hectares. Por exemplo, caso a totalidade do contorno fosse da classe

Pastagem, o interior foi reclassificado como Pastagem (sendo usada a mesma lógica para os demais usos).

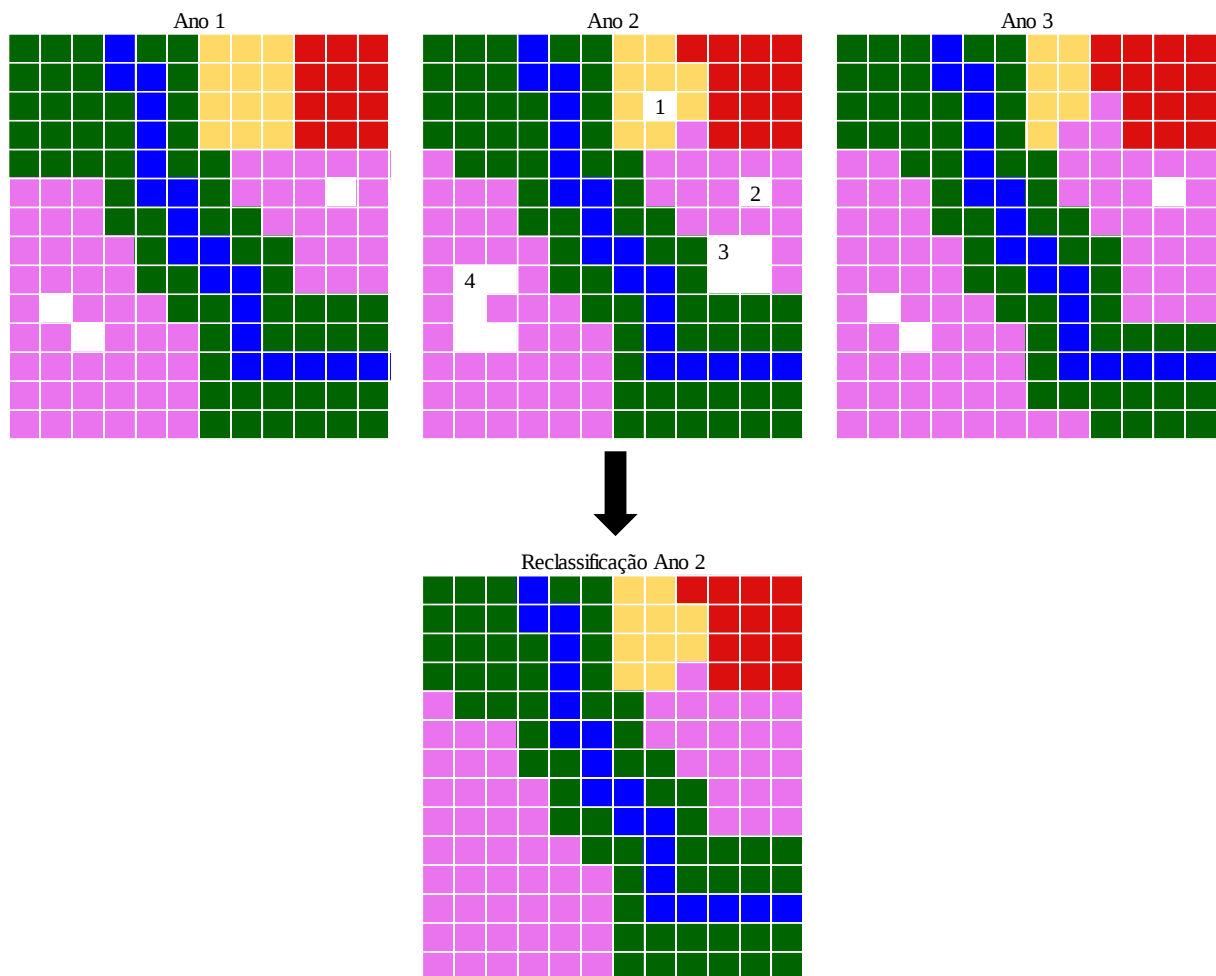
Figura 3 - Área de trabalho para a reclassificação da classe ‘Outra Área não Vegetada’



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 4 mostra um esquema de como foi feita essa reclassificação. Nesse exemplo fictício, o pixel 1 foi reclassificado como Pastagem, pois nos anos 1 e 3 o mesmo pixel está classificado como Pastagem. O pixel 2 foi reclassificado como Agricultura, pois todo o seu entorno é classificado como Agricultura. O conjunto de pixels com o número 3 foi reclassificado como Agricultura, pois parte do seu entorno é classificado como agricultura e/ou o mesmo pixel nos anos 1 e 3 são classificados como Agricultura. O conjunto de pixels com número 4 foi reclassificado com Agricultura, pois nos anos 1 e 3 o mesmo pixel é classificado como Agricultura e possui a totalidade do seu entorno classificado como Agricultura.

Figura 4 - Esquema da reclassificação da Outra Área não Vegetada em Agricultura ou Pastagem



Fonte: elaborado pelo autor.

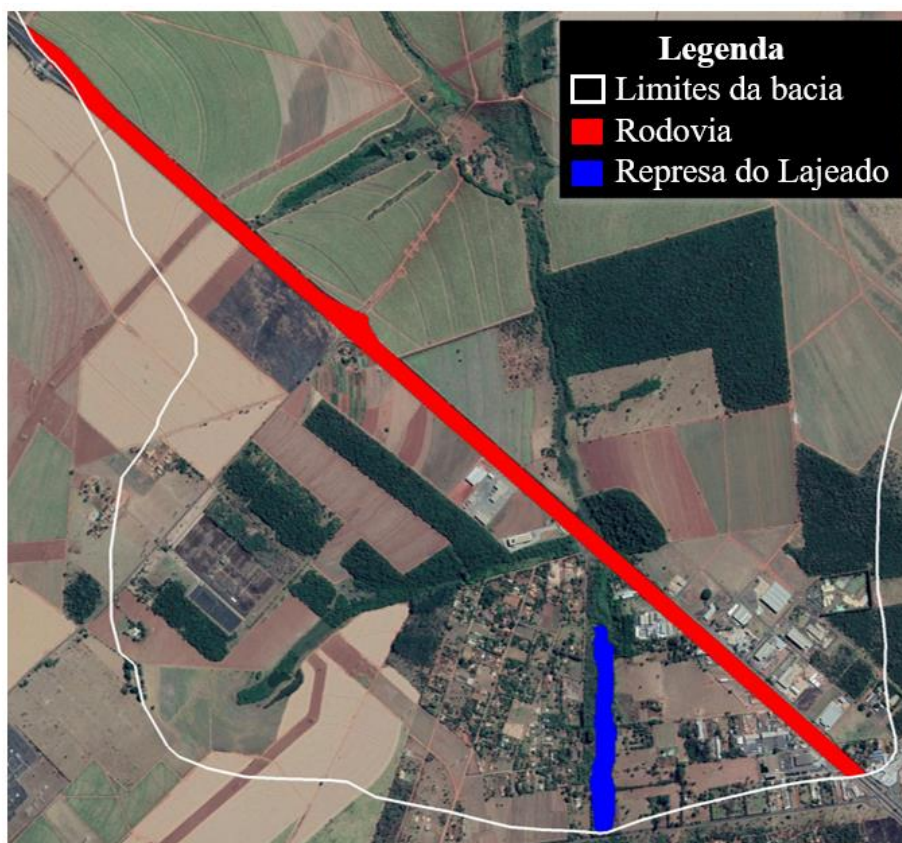
Dessa forma, toda a classe Outra Área não Vegetada foi reclassificada como Pastagem ou Agricultura. Isso ocorreu porque essa classe estava presente em pequenos fragmentos distribuídos entre áreas de pastagem e agricultura, possivelmente recebendo essa classificação por ser área com o solo exposto em período de entressafra. Por isso, durante toda a análise não encontrou área que pudessem ser reclassificadas de Outra Área não Vegetada para Infraestrutura Urbana, o que também estaria de acordo com a classificação do Mapbiomas já descrita anteriormente. Para as demais classes, Outra Área não Vegetada não poderia ser reclassificada, já que não estaria de acordo com a classificação do Mapbiomas (superfícies não permeáveis e regiões de solo exposto). Essa reclassificação foi fundamental para mostrar a transição de Pastagem para Agricultura.

Por fim, utilizou imagens de satélite do Google Earth Pro para corrigir alguns pixels que estavam classificados de maneira equivocada. O Google Earth Pro possui de imagens de satélite

da área desde 1984. Essas imagens possuem diferentes resoluções, mas foi possível identificar algumas classes que divergiam daquelas definidas pelo Mapbiomas.

A primeira mudança foi a adição da Represa do Lajeado e do trecho da Rodovia Washington Luís que corta a bacia da região (Figura 5). Ficaram incluídas, respectivamente, nas classes Corpo D'água e Infraestrutura Urbana. Ambas estão presentes nessa paisagem em todo o período da definição de estudo do trabalho. Os vetores foram feitos manualmente a partir do Google Earth e utilizados para serem sobrepostos a todos os mapas de uso e ocupação do solo na bacia estudada. A inclusão da área que corresponde à rodovia é muito importante, uma vez que representa boa parte da infraestrutura urbana da bacia e ocupa por volta de 0,81% de sua área total. Além disso, é importante representar a rodovia pelos seus possíveis efeitos à água da represa, pois ela cruza o córrego que à abastece e pode ser fonte de poluição (material particulado do fluxo de automóveis, óleo combustíveis, derramamento de acidentes, etc.).

Figura 5 - Imagem de satélite da Represa do Lajeado e da Rodovia Washington Luís

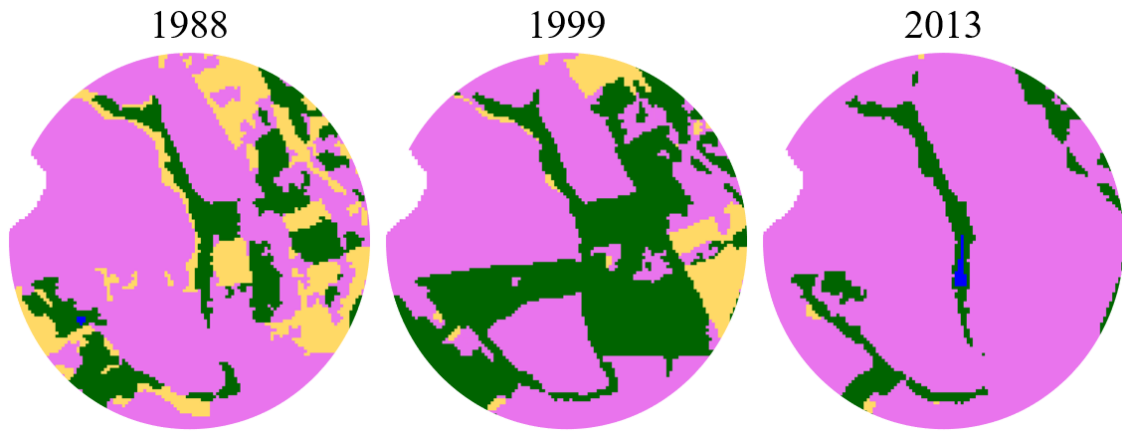


Fonte: adaptado de imagem do Google Earth Pro (2019).

Com o uso das imagens do Google foi possível identificar erros relevantes na classificação do MapBiomas em relação à classe Formação Florestal e Pastagem. Chamou a atenção o crescimento da área coberta por essa formação em uma determinada região da bacia

desde meados dos anos 1980 até o final dos anos 1990, seguida da redução dessa cobertura e seu desaparecimento em 2013, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Análise da mudança inusitada da classe Formação Florestal em determinada área da bacia estudada



Fonte: elaborado pelo autor.

Ao observar essa área com as imagens de satélite do Google Earth Pro foi possível concluir que se trata de uma cultura que foi cultivada nessa área durante o período e que foi equivocadamente classificada como Formação Florestal e Pastagem pelo Mapbiomas. Trata-se da cultura cítrica, como é possível notar na imagem da Figura 7, que mostra a imagem de satélite do Google Earth Pro do ano de 2006.

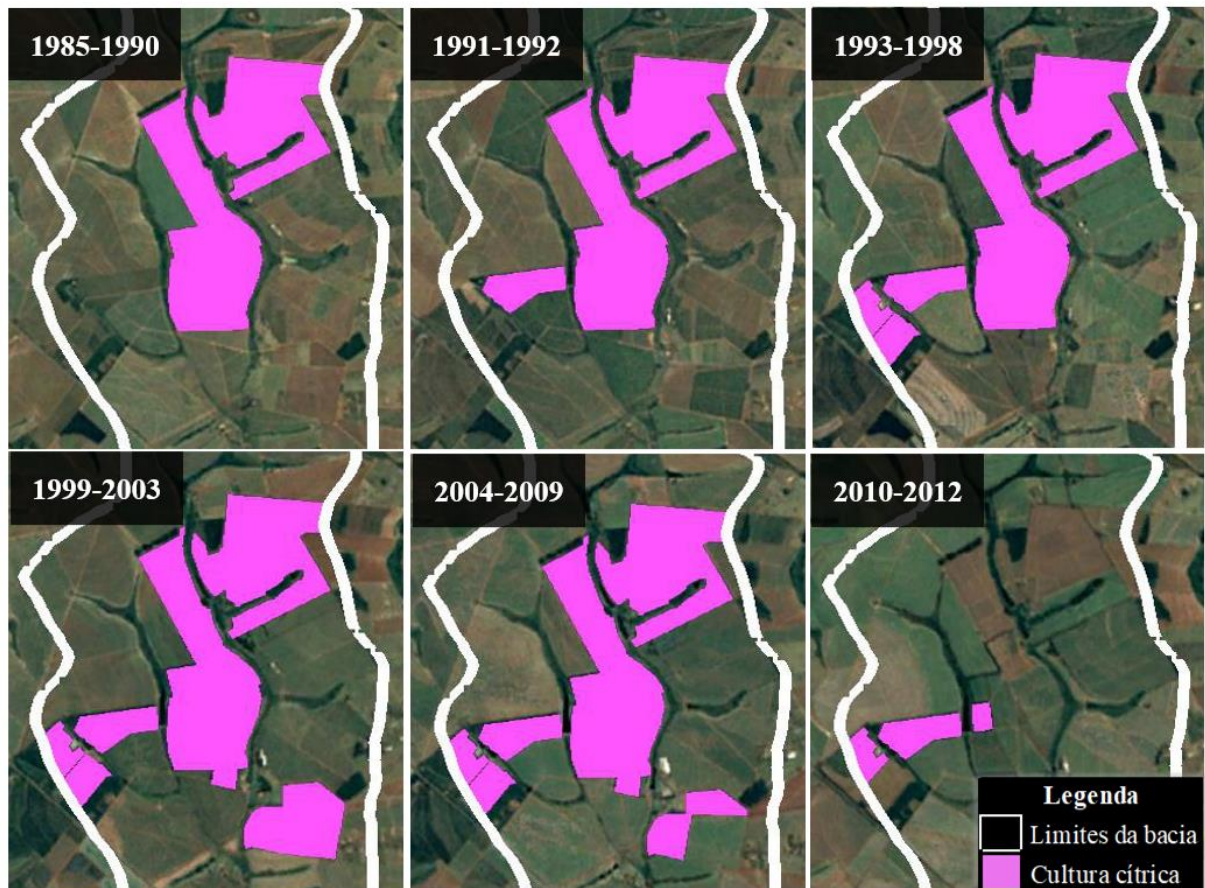
Figura 7 - Imagem de satélite da cultura de citrus e área correspondente no MapBiomas



Fonte: adaptado de imagem do Google Earth Pro (2020).

Nas imagens de satélite foi possível notar que esse cultivo existiu entre os anos de 1985 e 2012 e esteve presente na paisagem distribuídas em seis configurações diferentes. Assim, foi possível criar seis camadas que foram utilizadas para “corrigir” esse trecho da imagem em relação à classe de uso e ocupação. Foram elas: 1985/1990; 1991/1992; 1993/1998; 1999/2003; 2004/2009; e 2010/2012, mostradas na Figura 8.

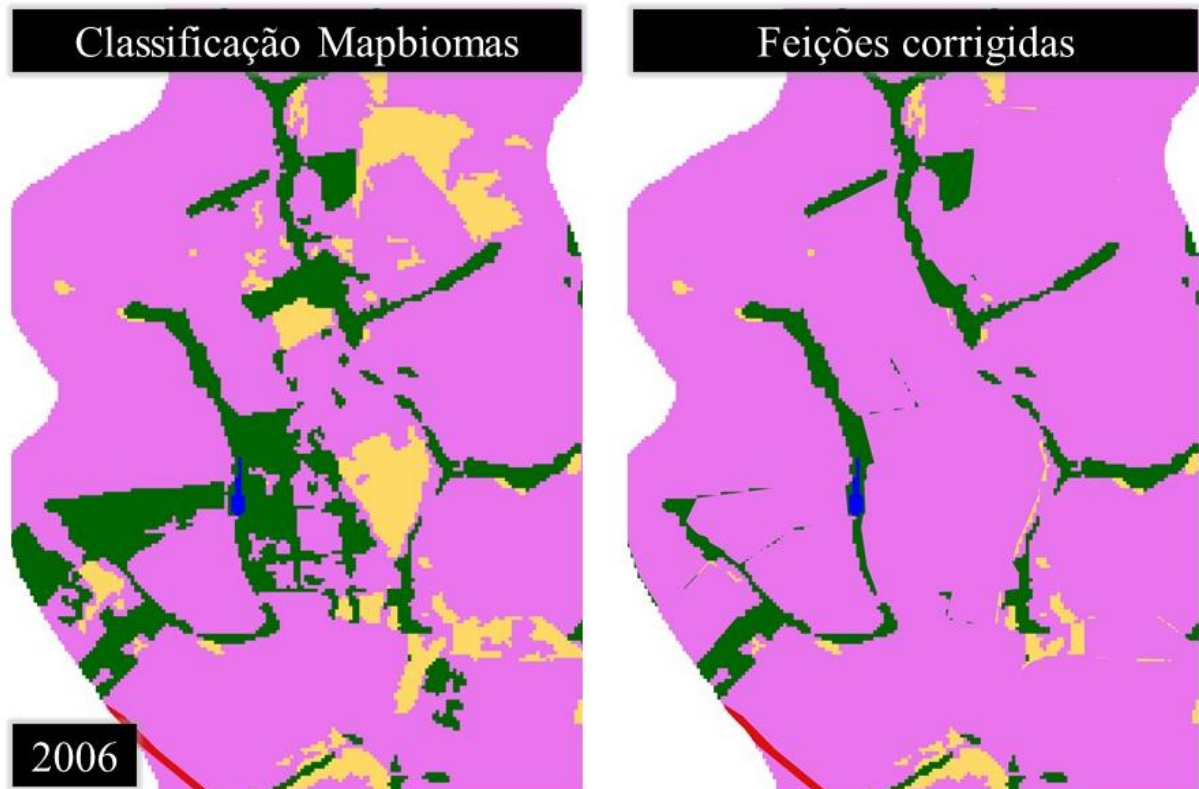
Figura 8 - Definição dos mosaicos referentes à cultura de cítricos



Fonte: adaptado de imagem do Google Earth Pro (2020).

As camadas foram unidas aos mapas dos respectivos anos, como o exemplo da Figura 9, que ilustra como foi feita essa reclassificação no ano de 2006. As camadas das delimitações da cultura de cítricos foram unidas às camadas de Agricultura nos respectivos anos. Houve mudança nos mapas de todos os anos entre 1988 e 2012. As mudanças foram de algumas áreas de Formação Florestal e Pastagem para Agricultura.

Figura 9 – Exemplo de reclassificação de feições inusitadas (2006)



Fonte: elaborado pelo autor.

4.6 MÉTRICAS DE PAISAGEM

4.6.1 Cálculo das áreas das classes

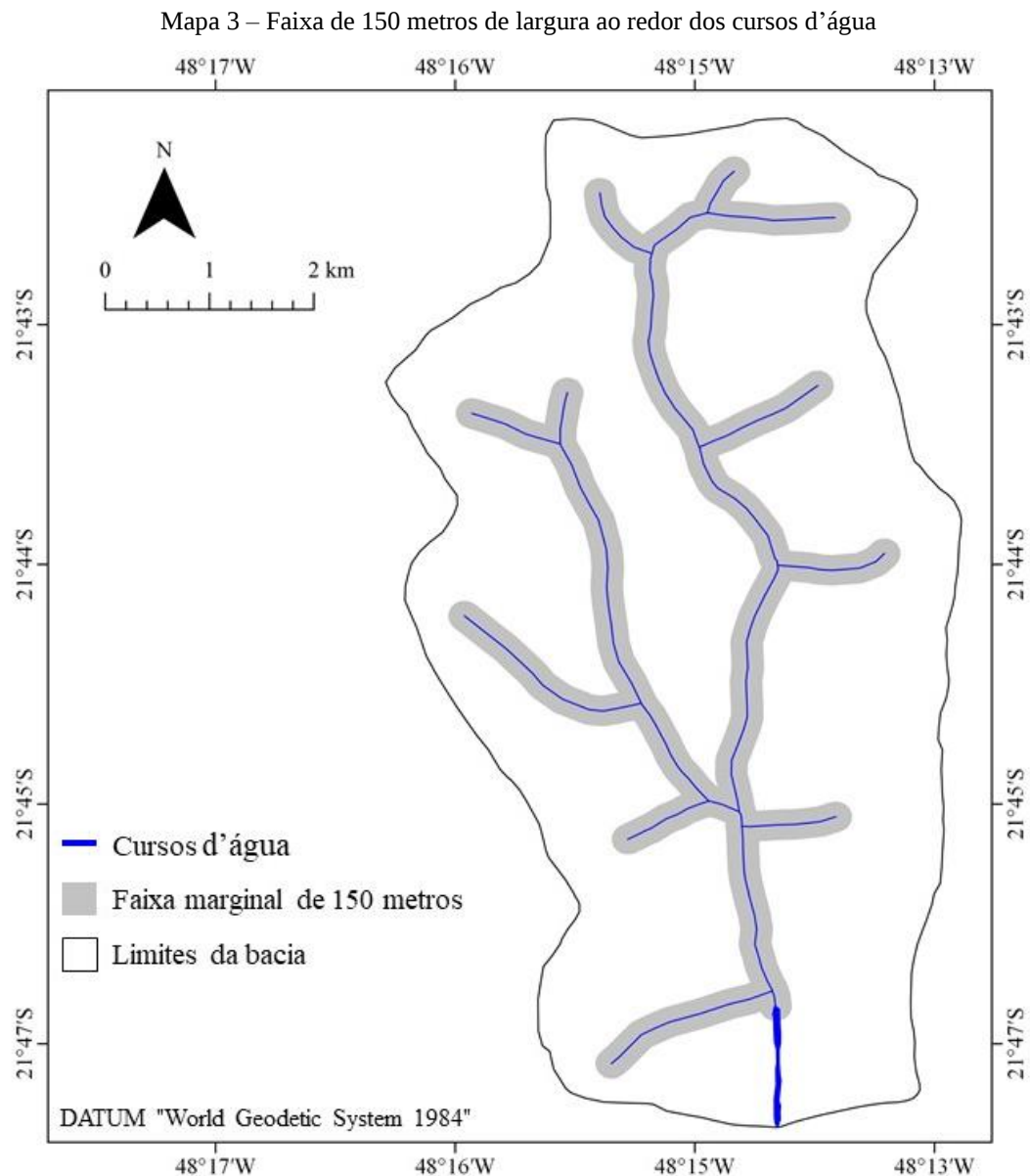
O cálculo das áreas das classes foi feito por meio do QGIS e do Excel. Primeiramente, no QGIS, reprojetou-se todas as camadas referentes a cada mapa de uso e ocupação do solo dos limites da bacia estudada, ano a ano. Isso foi feito com o objetivo de aumentar a precisão do cálculo, colocando os mapas no sistema de referência de coordena mais adequado. Todos os mapas foram reprojetados para sistema de referência geodésico SIRGAS 2000, na zona 22 Sul das coordenadas UTM.

Então, dissolveu-se todas as camadas vetoriais relativas aos mapas ano a ano para que cada classe fosse um único vetor. Assim, por meio da tabela de atributos foi possível calcular todas as áreas de todas as classes de cada um dos mapas.

Por meio das métricas obtidas, foi possível gerar tabelas e gráficos do uso e ocupação do solo da bacia estudada de todos os anos analisados e de como foi a evolução através do tempo.

4.6.2 Vegetação ripária

Para se analisar uso e ocupação na faixa no entorno dos córregos ao longo dos anos foi gerada uma camada vetorial contornando as linhas que representam os corpos d'água. Foi definida uma distância de 150 metros dos córregos, gerando uma camada de 754,26 hectares (Mapa 3).



Fonte: elaborado pelo autor.

A escolha de 150 metros se deve ao fato que os arquivos fornecidos pelo MapBiomass são em formato raster onde cada pixel representa uma classe numa área de 30 metros por 30 metros. Assim, escolheu-se um valor maior e múltiplo de 30. Esse valor também se mostrou

adequado para se avaliar a presença de vegetação ripária (JONES; MURPHY; ORZETTI, 2010). Além disso, vários estudos apontam correlação entre o tamanho da margem de vegetação nos cursos d'água e a qualidade da água (DUAN et al., 2020).

A lei de proteção da vegetação nativa de 2012 exige 30 metros de faixas de preservação permanente para córregos de até 10 metros de largura e 50 metros de raio no entorno de nascentes. Sparovek et al. (2002), mostram em um estudo de caso que houve a retenção de 54% da quantidade de sedimentos para uma faixa marginal de 52 metros. Segundo Pinay e Decamps (1988), todo o nitrato pode ser removido em uma zona tampão de 30 metros. Cooper (1990) e Haycock e Burt (1991) apud Muscutt et al. (1993) observaram que a grande maioria da remoção de nitrato ocorreu nos primeiros 5 e 8 metros, respectivamente das zonas tampão que estudaram. Peterjohn e Correll (1984) demonstraram que a concentração de nitrogênio no escoamento superficial foi reduzida em 83% com a maior proporção removida nos primeiros 19 metros da floresta, Já Vought et al. (1994) realizaram estudos que mostram redução de 20% de nitrogênio nos primeiros 8 metros e 50% para o comprimento total da faixa de 16 metros. Paterson et al. (1977) apud Dillaha, Sherrard e Lee (1986) notaram uma redução de 42% para DBO com uma faixa marginal de 35 metros. Nesse sentido, a adoção de uma faixa de 150 metros de largura no entorno dos córregos garante, com folga, que a vegetação nativa, quando existente, poderia ter o papel de proteção contra a contaminação do recurso hídrico.

Além da importância para a manutenção da qualidade da água, a vegetação ripária também é importante para o fluxo gênico da fauna e da flora. Metzger (2010) destaca que florestas ripárias são necessárias para a manutenção da biodiversidade evidenciada em diferentes biomas brasileiros e para diferentes grupos taxonômicos. No Cerrado, Tubelis et al. (2004) sugerem que as matas de galeria tenham pelos menos 120 metros de largura para a proteção das aves. Na Mata Atlântica, Metzger, Goldenberg e Bernacci (1998), ao levantarem a diversidade de árvores e arbustos, observaram que apenas 55% delas estava presente em corredores de menos de 50 metros, enquanto 80% estava presente em corredores com mais de 100 metros para um estudo de 15 corredores de vegetação ripária. Assim, Metzger (2010) afirma que há a necessidade de expansão dos valores exigidos legalmente para limiares mínimos de pelos menos 50 metros de margem independentemente do bioma, do grupo taxonômico, do solo ou do tipo de topografia. Logo, a faixa de 150 metros também garante a preservação de corredores de biodiversidade.

Tendo em vista a importância da vegetação ripária, neste estudo foi analisada a presença de vegetação nativa em uma faixa de 150 metros dos córregos e nascentes. Por meio da camada gerada e dos mapas de uso e ocupação do solo foi calculado a presença da classe Formação

Florestal em todos os anos estudados. Com as áreas calculadas gerou-se gráficos e estudou-se o comportamento dessa classe nas margens dos cursos d'água da bacia e linhas de tendências lineares feitas a partir do método dos mínimos quadrados.

4.7 COMPARAÇÕES DADOS QUALIDADE DA ÁGUA

A avaliação temporal das características físicas, químicas e biológicas dos sistemas lóticos e lênticos, com ênfase na Represa do Lajeado foi feita a partir do monitoramento da bacia hidrográfica do Ribeirão das Cruzes, realizado pelo DAAE desde o ano de 2010, totalizando 31 coletas (ESPÍNDOLA, 2019). Selecionou-se para a análise, dados de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido, pH, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, turbidez e cor. Além desses dados, foram colocados em comparação a área da Represa do Lajeado invadida pelas macrófitas (Tabela 3) ao longo do tempo.

Tabela 3 - Presença das macrófitas na Represa do Lajeado

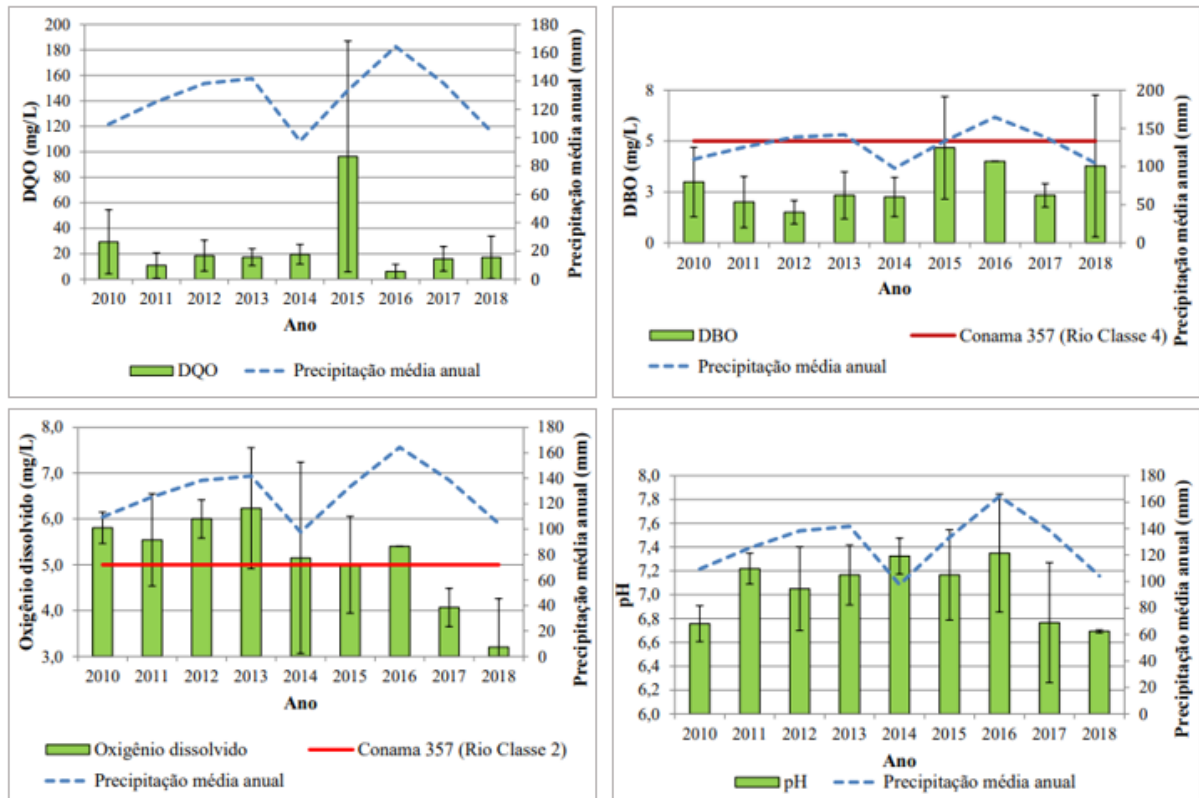
Ano	Área invasão macrófitas (m²)
2014	13174
2016	19481
2017	43.598
2018	51.713

Fonte: Sella (2019) apud Espíndola (2019).

Os dados organizados no trabalho de Espíndola (2019) estão expostos nos Gráficos 3, 4 e 5. As médias foram calculadas com os valores da Tabela 4. Com esses dados fez-se uma comparação com os dados de uso e ocupação do solo da bacia. Cada parâmetro foi comparado com as mudanças da paisagem estudada, tentando inferir a mudança sobre os fenômenos observados na Represa do Lajeado.

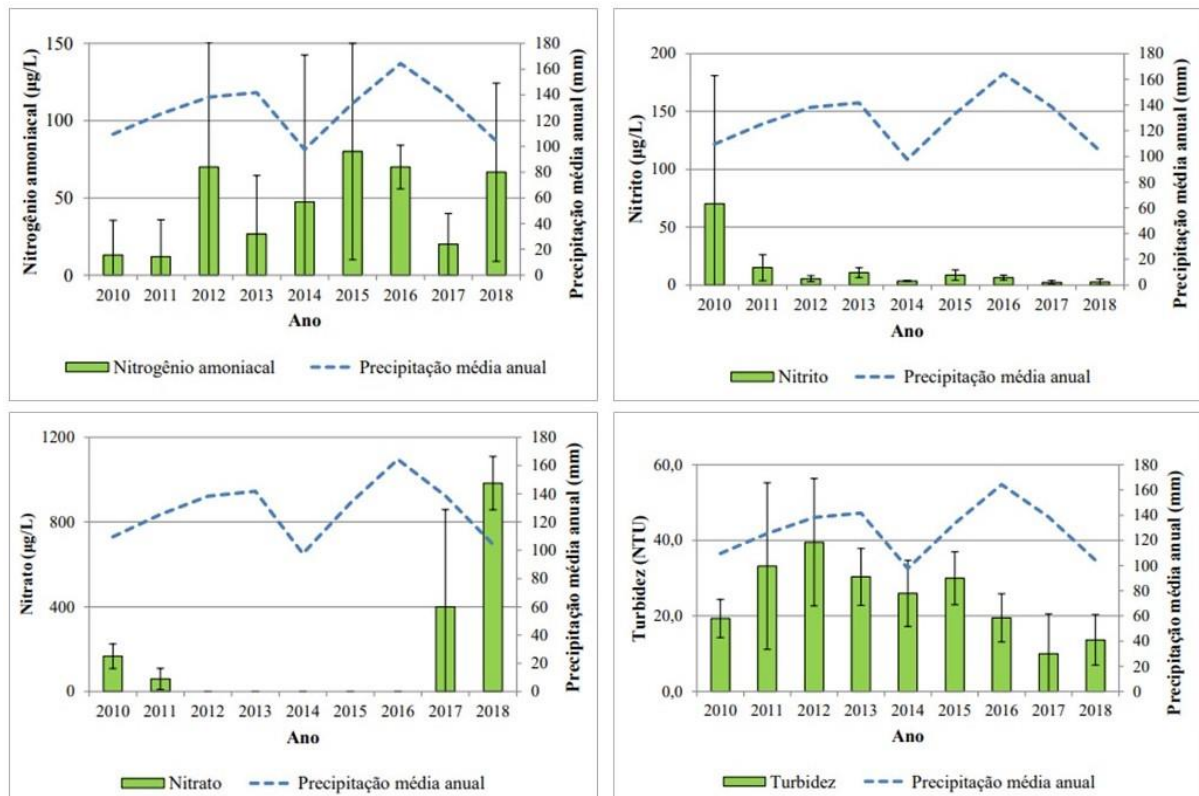
Com os dados da Tabela 4, foram gerados digramas de caixa para visualizar como se comportou os parâmetros da água entre 2010 e 2018.

Gráfico 3 - Variação temporal da DQO, DBO, OD e pH na represa do Lajeado



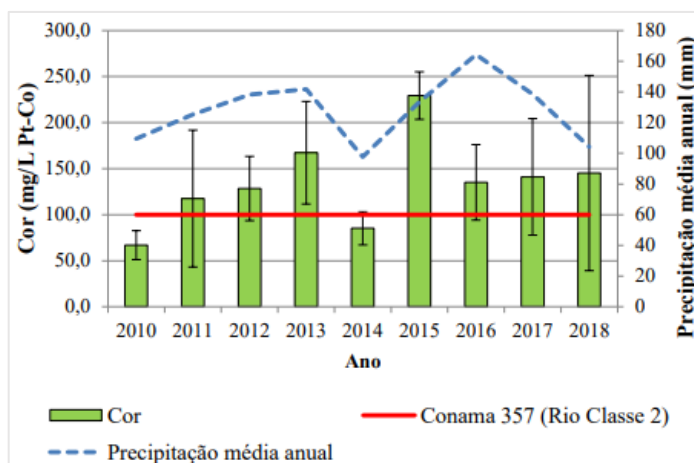
Fonte: elaborado por Carvalho e Ogura (2019) apud Espíndola (2019).

Gráfico 4 - Variação temporal de nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e turbidez na represa do Lajeado



Fonte: elaborado por Carvalho e Ogura (2019) apud Espíndola (2019).

Gráfico 5 - Variação temporal da cor na represa do Lajeado



Fonte: elaborado por Carvalho e Ogura (2019) apud Espíndola (2019).

Tabela 4 - Valores dos parâmetros no exutório da Represa do Lajeado

	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L N)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	OD (mg/L)	Turbidez (NTU)	Cor (mg Pt- Co/L)
08/03/2010	12,0	2,00	6,60	0,20	0,20	0,00	6,20	14	85
07/06/2010	58,1	4,95	6,77	0,00	0,20	0,04	5,62	24	57
18/10/2010	18,0	2,00	6,90	0,01	0,10	0,00	5,60	20	59
17/01/2011	12,0	4,00	7,20	0,01	0,10	0,05	5,90	25	125
11/04/2011	9,0	2,00	7,40	0,02	0,10	0,00	4,60	45	111
04/07/2011	27,0	1,00	7,30	0,01	0,10	0,00	6,70	13	44
17/10/2011	4,0	2,00	7,10	0,03	0,00	0,01	4,70	63	224
04/01/2011	1,9	1,00	7,10	0,01	0,00	0,00	5,80	20	84
10/07/2012	11,0	1,00	6,70	0,01	0,00	0,00	6,40	27	152
09/10/2012	26,0	1,90	7,40	0,00	0,00	0,14	5,60	52	105
08/01/2013	20,0	2,00	7,20	0,01	0,10	0,07	4,20	49	226
02/04/2013	10,0	3,00	7,20	0,01	0,00	0,00	4,80	39	208
17/07/2013	19,0	3,00	6,90	0,01	0,00	0,07	7,40	26	104
09/10/2013	23,0	1,00	7,40	0,01	0,00	0,01	6,50	26	190
15/01/2014	13,0	1,00	7,20	0,00	0,00	0,00	2,10	34	109
09/04/2014	13,0	3,00	7,40	0,00	0,00	0,00	5,50	23	87
16/07/2014	24,0	3,00	7,20	0,00	0,00	0,00	6,40	32	66
07/10/2014	28,0	2,00	7,50	0,00	0,00	0,19	6,60	15	79
28/01/2015	28,0	2,00	7,60	0,00	0,00	0,05	4,60	35	259
07/04/2015	62,0	5,00	6,90	0,01	0,00	0,16	4,20	22	213
14/07/2015	199,0	7,00	7,00	0,01	0,00	0,03	6,20	33	216
05/04/2016	2,0	4,00	7,00	0,01	0,00	0,08	5,40	24	164
04/10/2016	10,0	4,00	7,70	0,01	0,00	0,06	5,40	15	106
07/02/2017	20,0	2,00	7,30	0,00	0,00	0,02	4,20	21	178
04/07/2017	5,0	2,00	6,30	0,00	0,90	0,04	3,60	0	68
17/10/2017	23,0	3,00	6,70	0,00	0,30	0,00	4,40	9	177
10/01/2018	74,0	9,00	6,90	0,00	1,00	0,21	4,80	24	211
04/04/2018	35,7	2,10	6,68	0,00	0,85	0,10	2,40	12	122
04/07/2018	3,0	2,00	6,70	0,00	1,00	0,00	4,40	8	53
03/10/2018	13,0	2,00	6,70	0,00	1,10	0,09	2,80	21	261
08/01/2019	23,0	2,00	6,90	0,02	0,00	0,00	2,20	50	308

Fonte: adaptado de DAAE (2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ESTUDO DA BACIA DA REPRESA DO LAJEADO

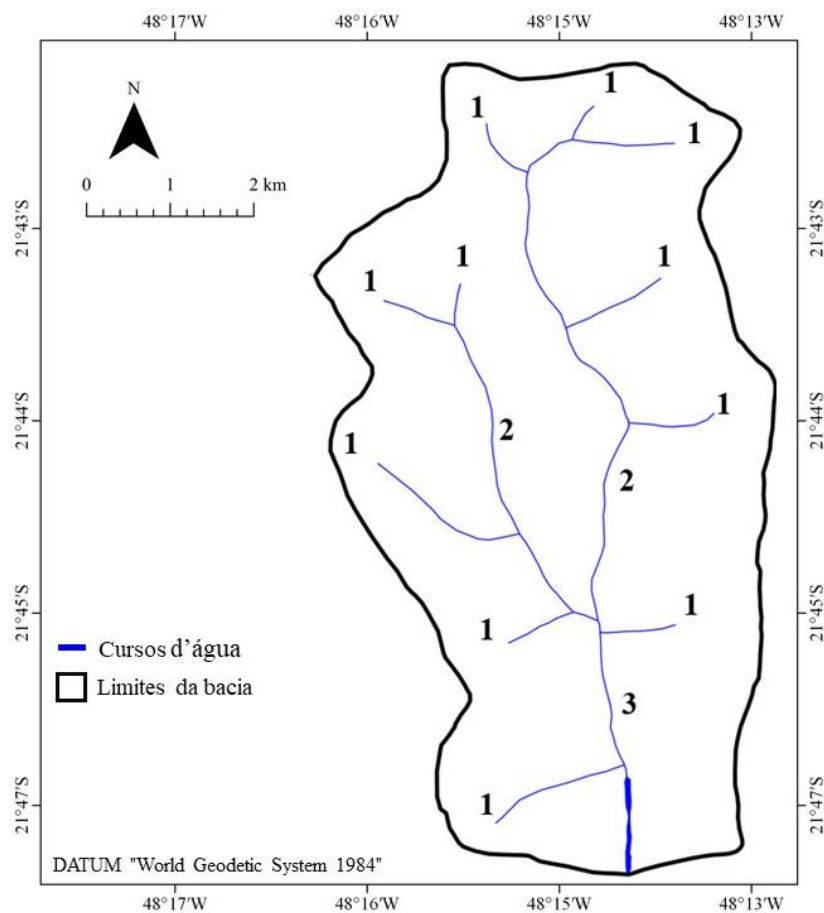
Os parâmetros calculados para a caracterização morfométrica da bacia da Represa do Lajeado estão descritas na Tabela 5 e a ordem dos cursos d'água estão expostos no Mapa 4.

Tabela 5 - Parâmetros morfométricos da Bacia da Represa do Lajeado

Perímetro (km)	Área (km ²)	Comprimento do eixo (km)	Coprimento total dos canais (km)
28,69	41,53	10,51	26,52
Coefficiente de compacidade	Fator forma	Índice de circularidade	Densidade de drenagem (km/km ²)
1,25	0,38	0,63	0,64

Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 4 - Definição das ordens dos canais



Fonte: elaborado pelo autor.

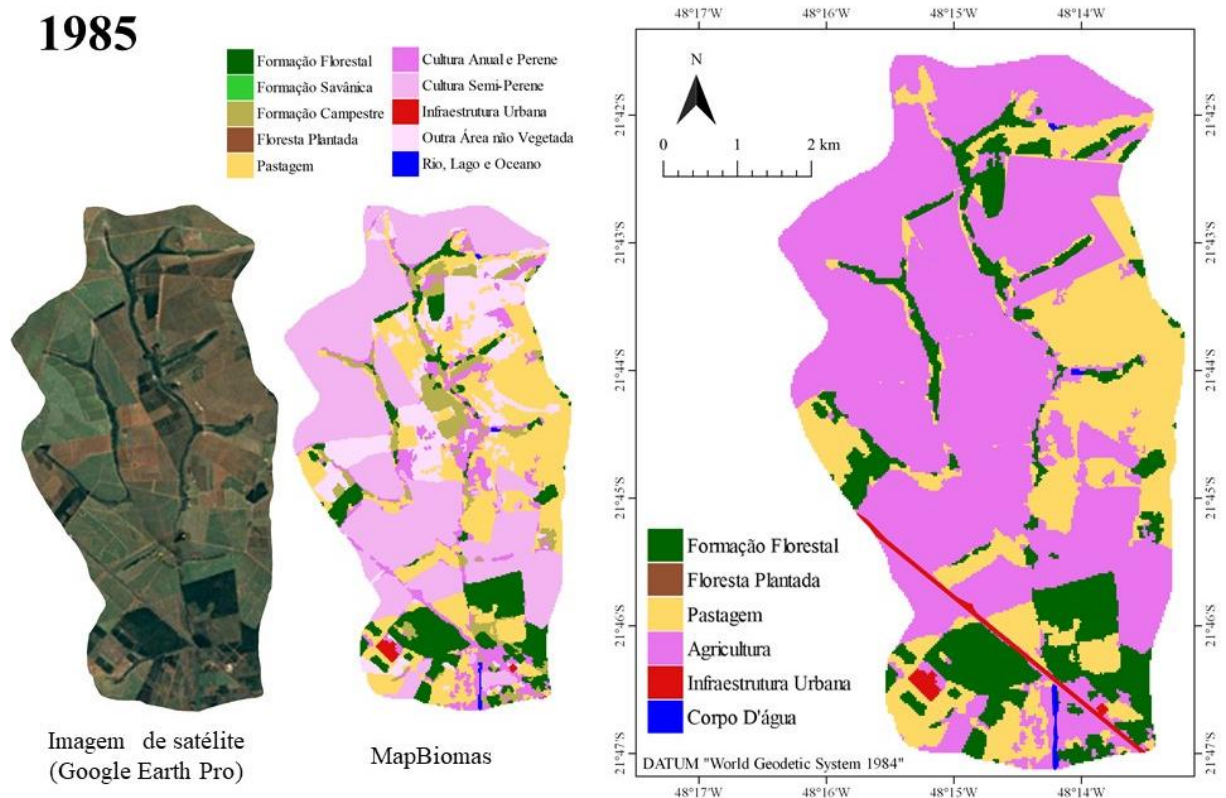
O coeficiente de compacidade, o fator de forma e o índice de circularidade encontrados, indicam que esta bacia, em condições normais de precipitação, é pouco suscetível a enchentes. Esta bacia possui um formato mais alongado e, assim menor concentração de deflúvio (VILLELA E MATTOS, 1975). Segundo a classificação de Beltrame (1994) o valor da densidade de drenagem é mediano e, portanto, possui uma drenagem pobre.

A represa é abastecida com um córrego de terceira ordem, portanto a bacia estudada é de terceira ordem e possui uma menor área de estudo, pois possui poucos córregos e uma extensão reduzida quando comparado à grandes bacias hidrográficas.

5.2 MAPAS GERADOS

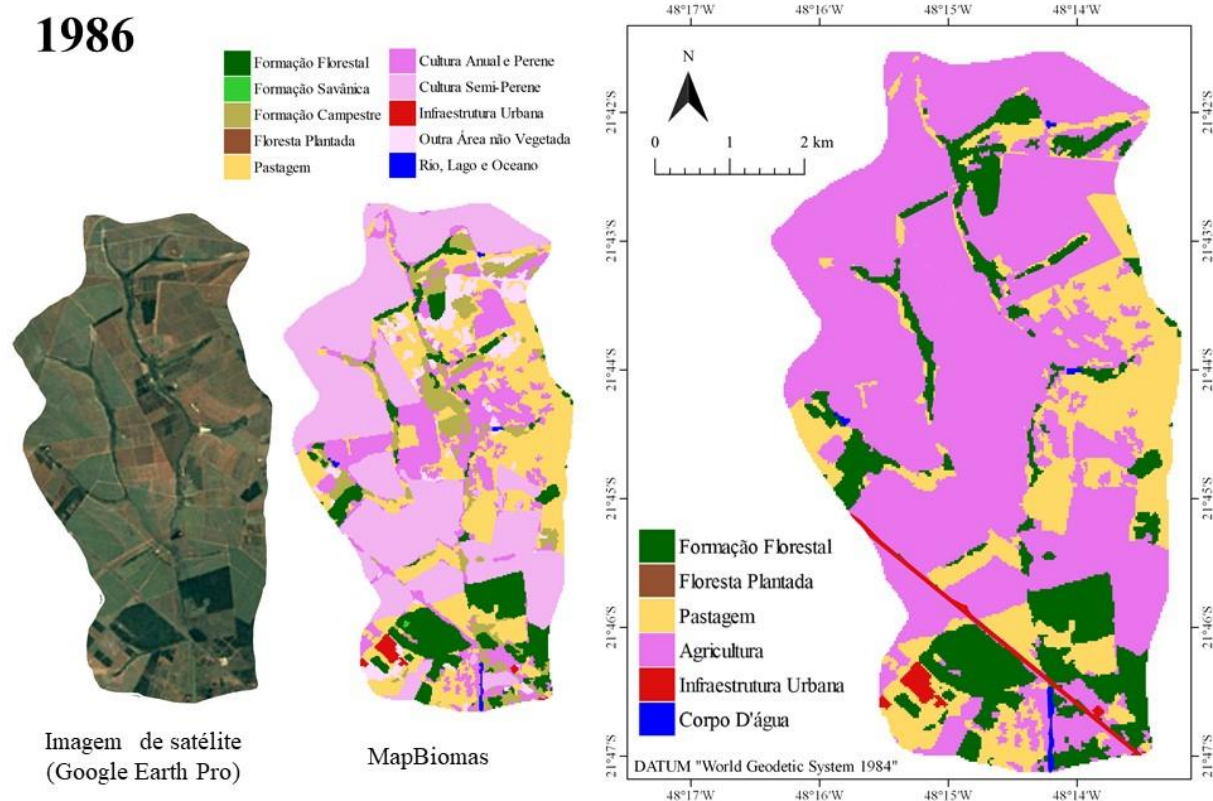
Os mapas de uso e ocupação da Bacia da Represa do Lajeado estão dispostos nos Mapas 5 a 38. Não há imagens de satélite disponíveis no Google Earth Pro de 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 e 2015 para uma resolução satisfatória para a área da bacia estudada. As imagens de satélites possuem níveis diferentes de detalhamento, sendo que as de anos mais recentes são mais detalhados que as imagens mais antigas.

Mapa 5 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1985



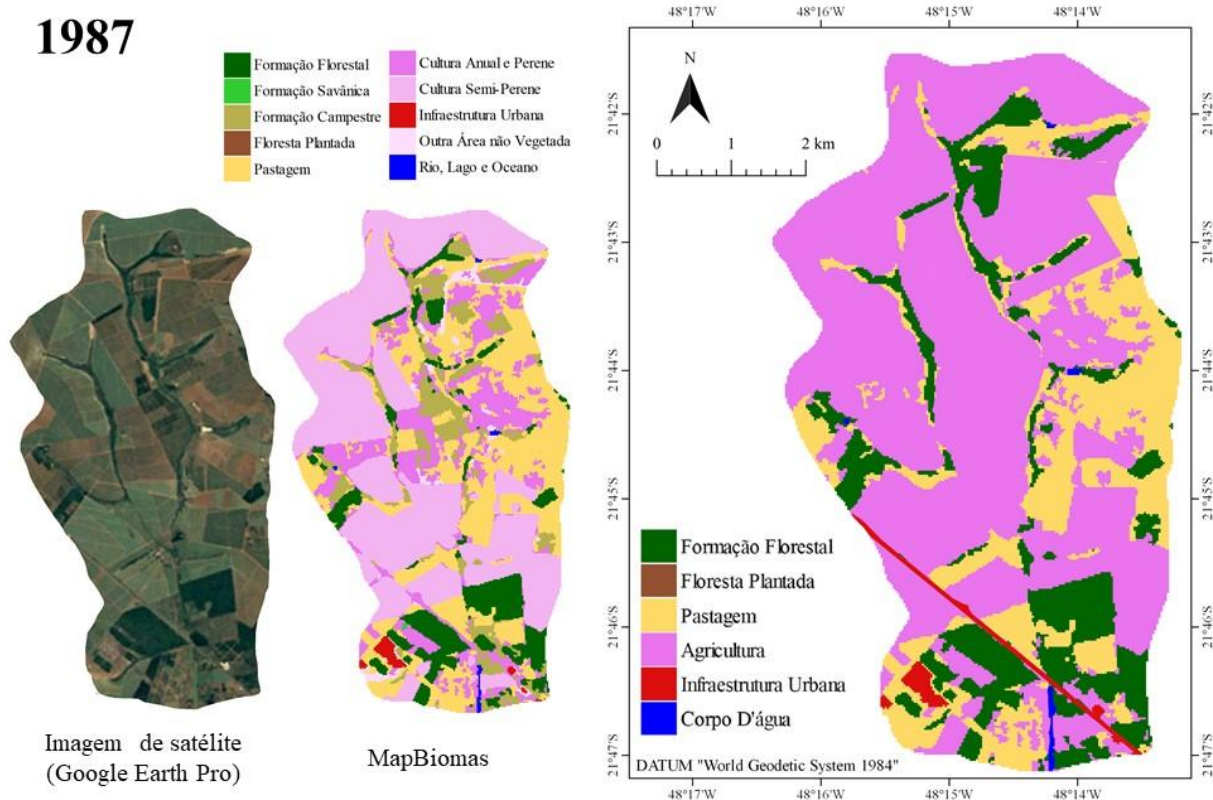
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 6 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1986



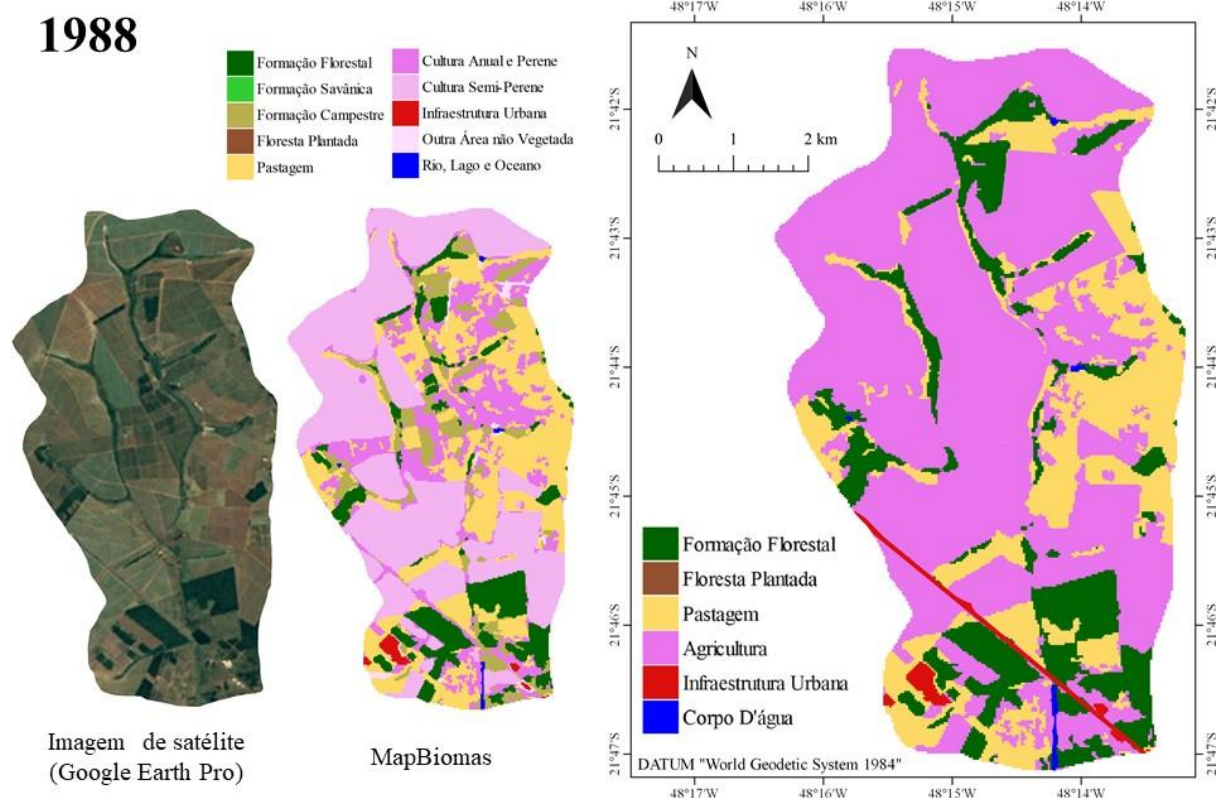
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 7 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1987



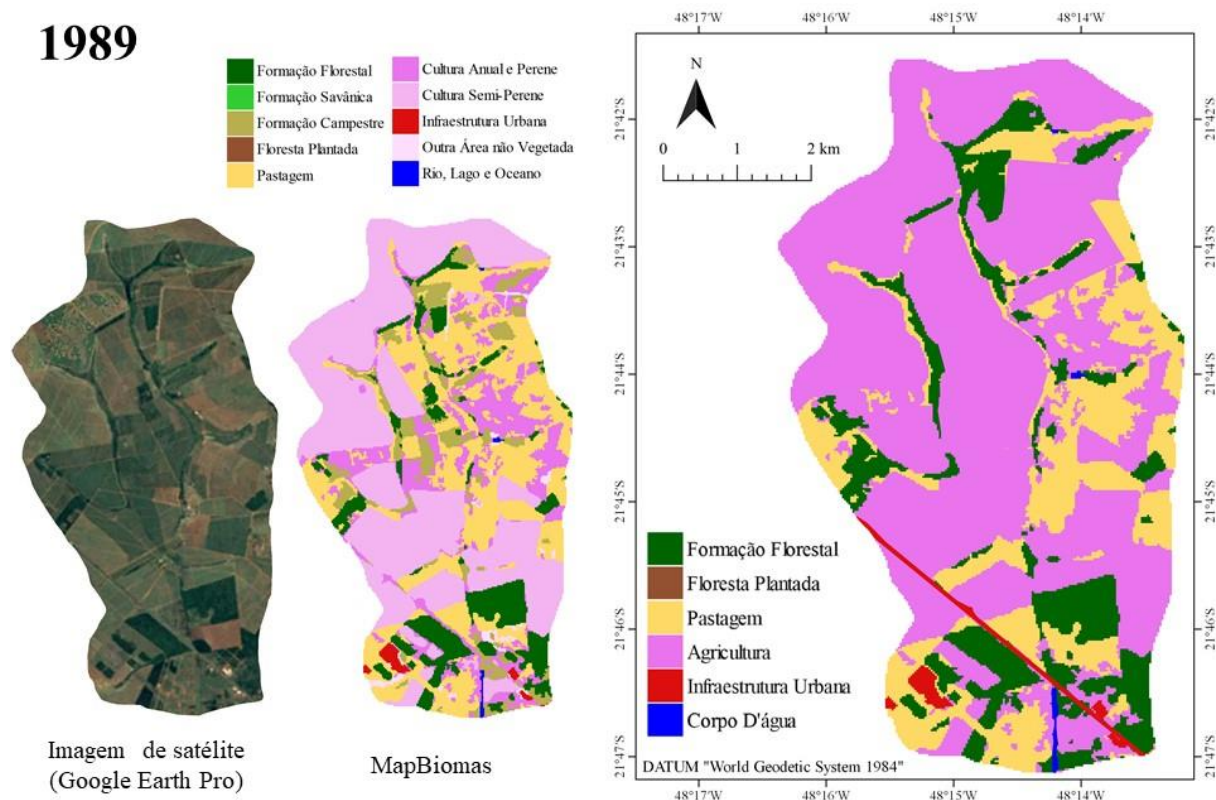
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 8 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1988



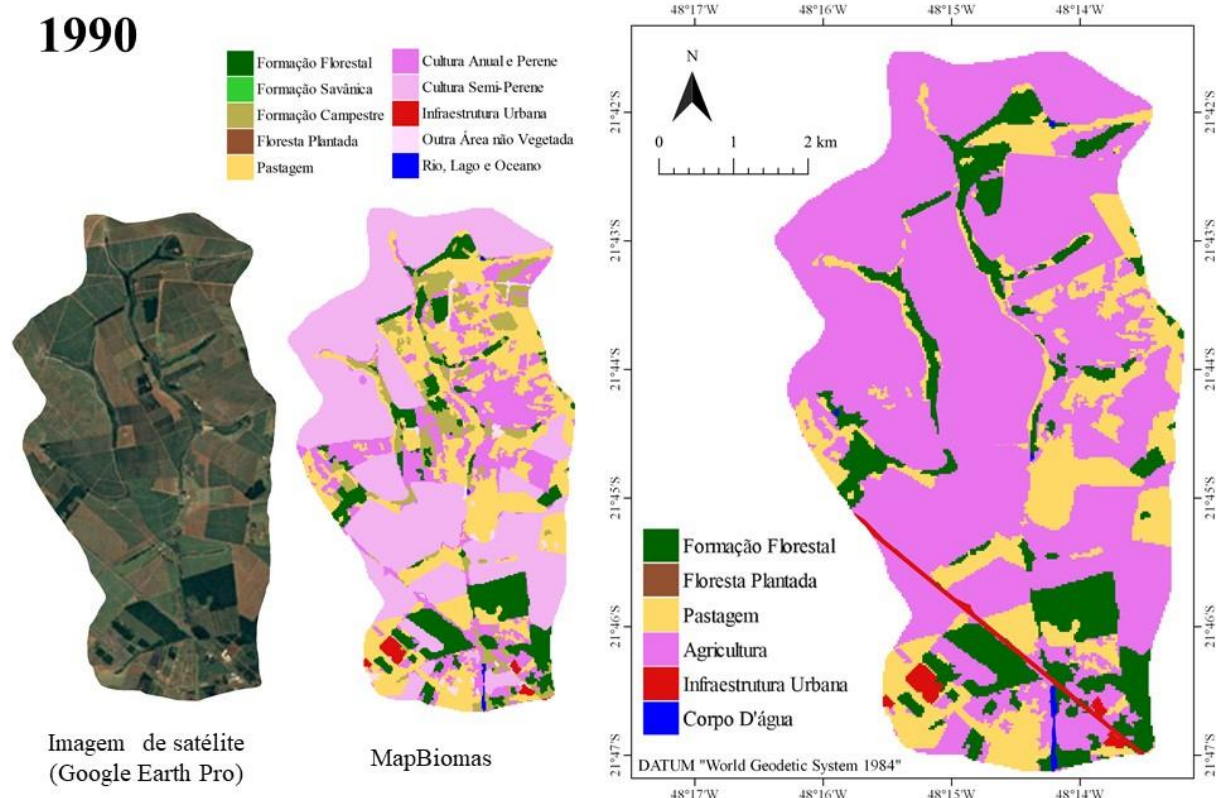
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 9 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1989



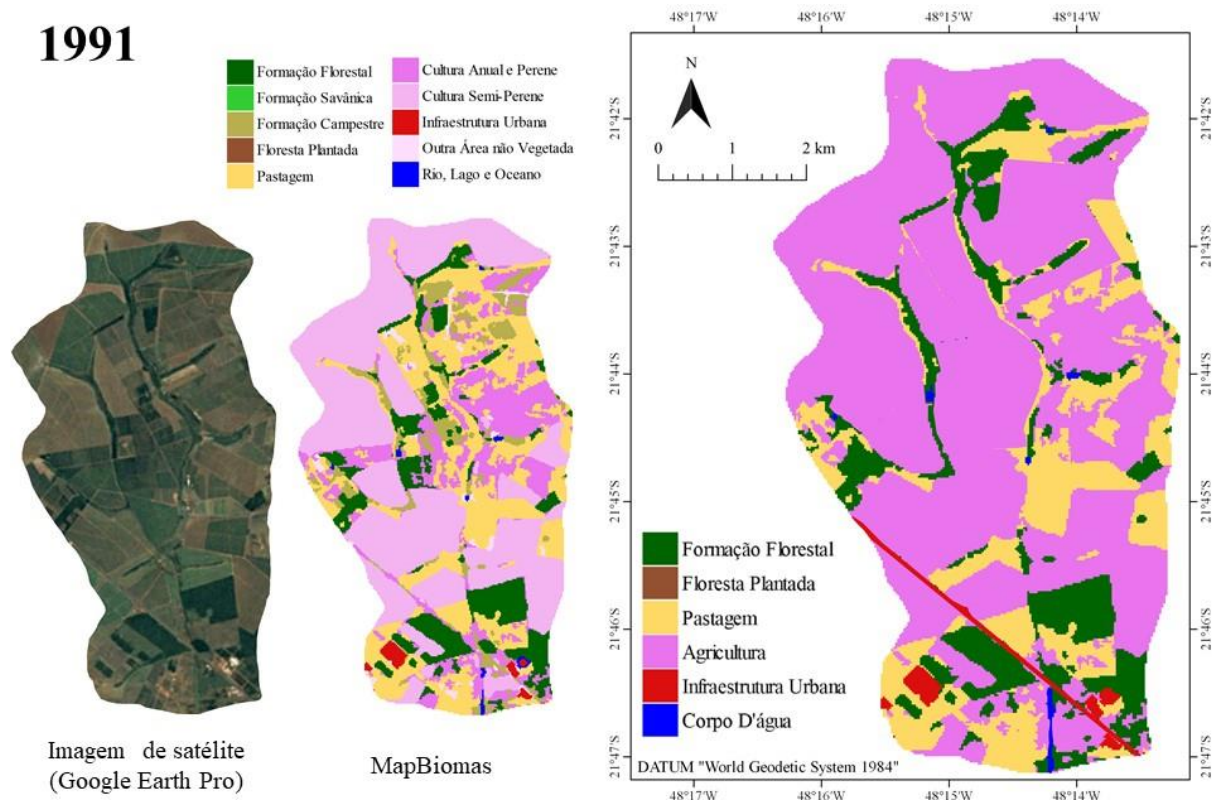
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 10 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1990



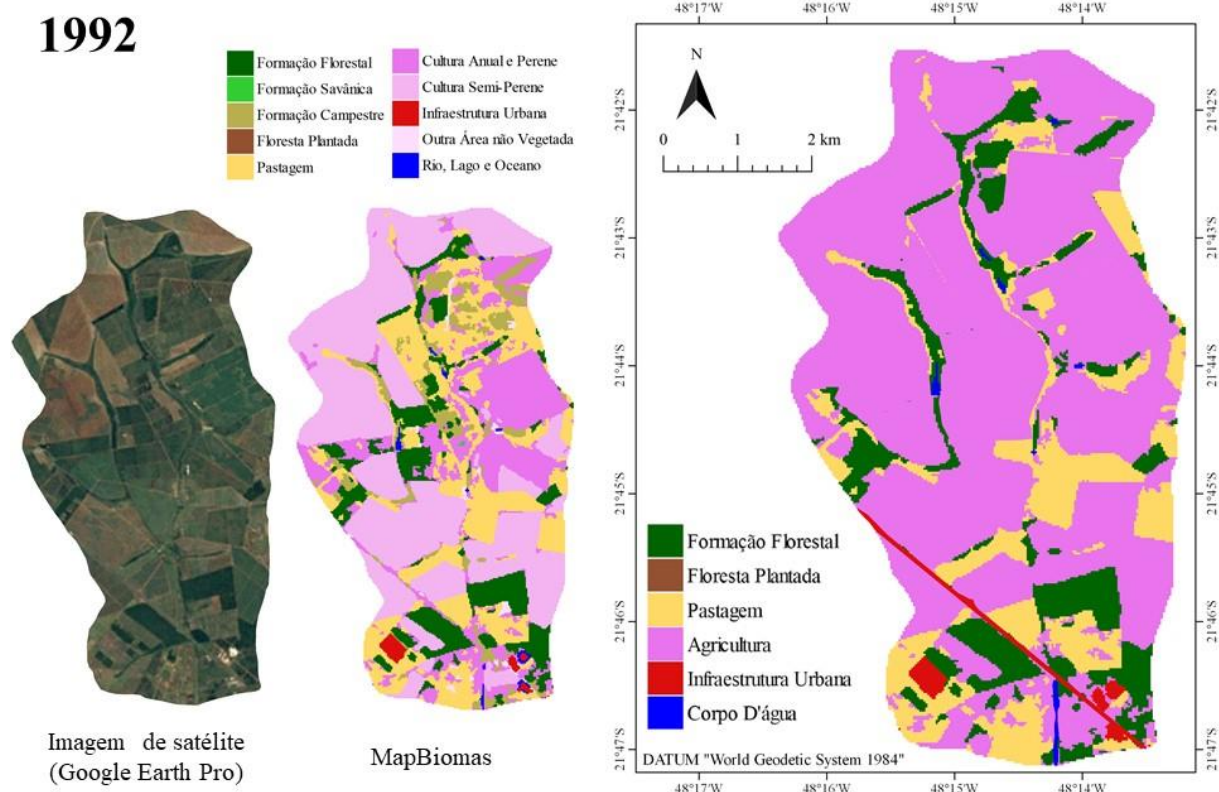
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 11 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1991

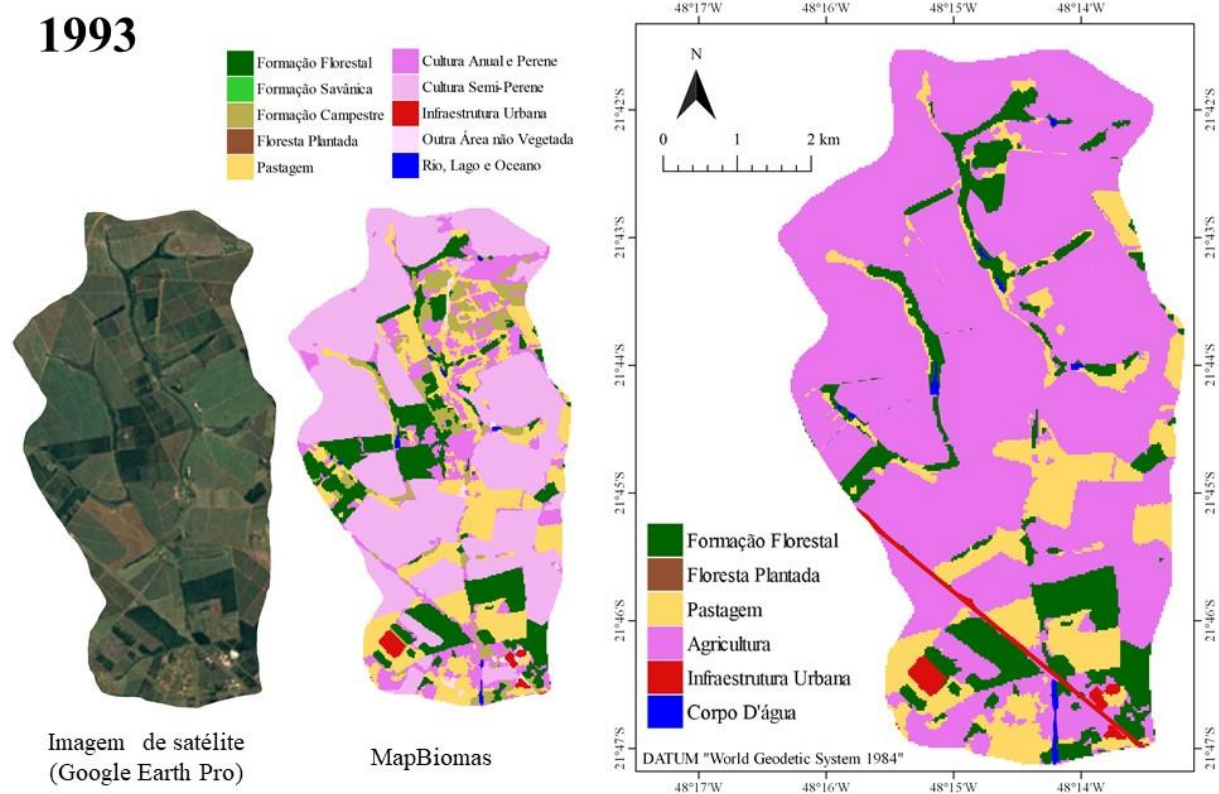


Fonte: elaborado pelo autor.

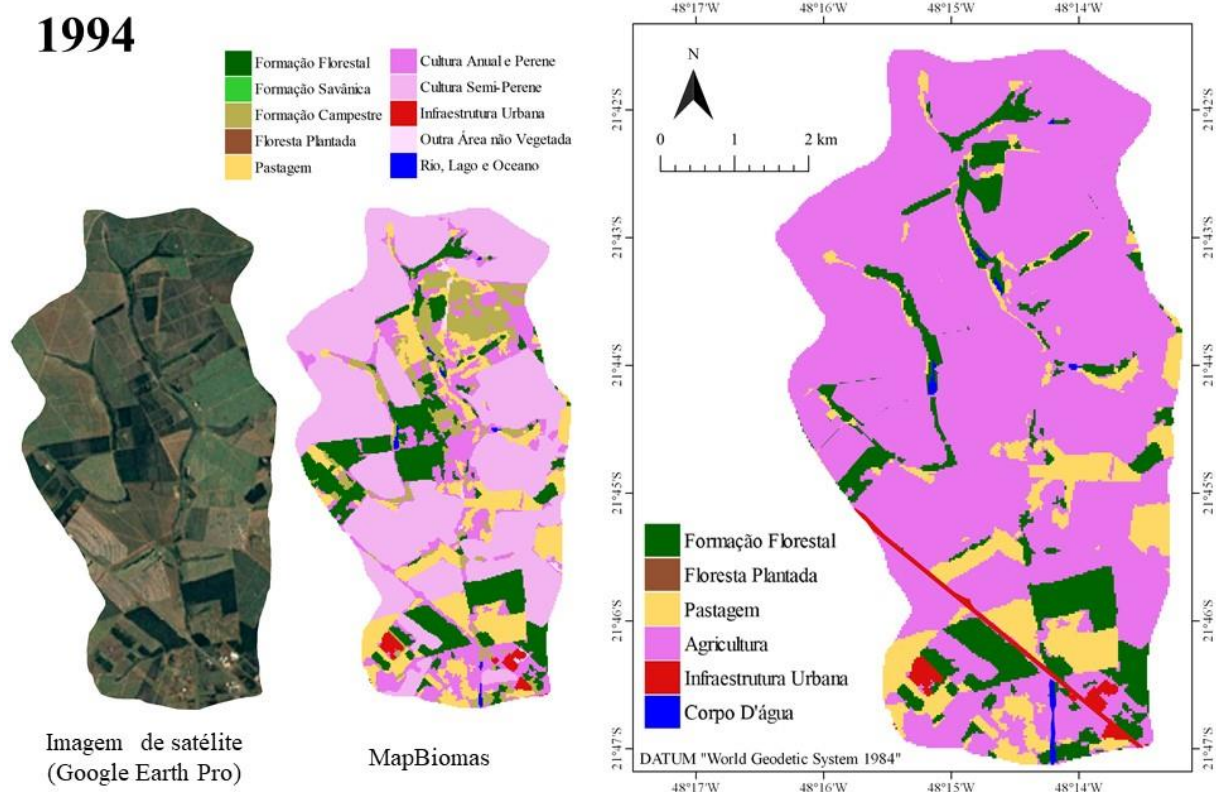
Mapa 12 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1992



Mapa 13 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1993

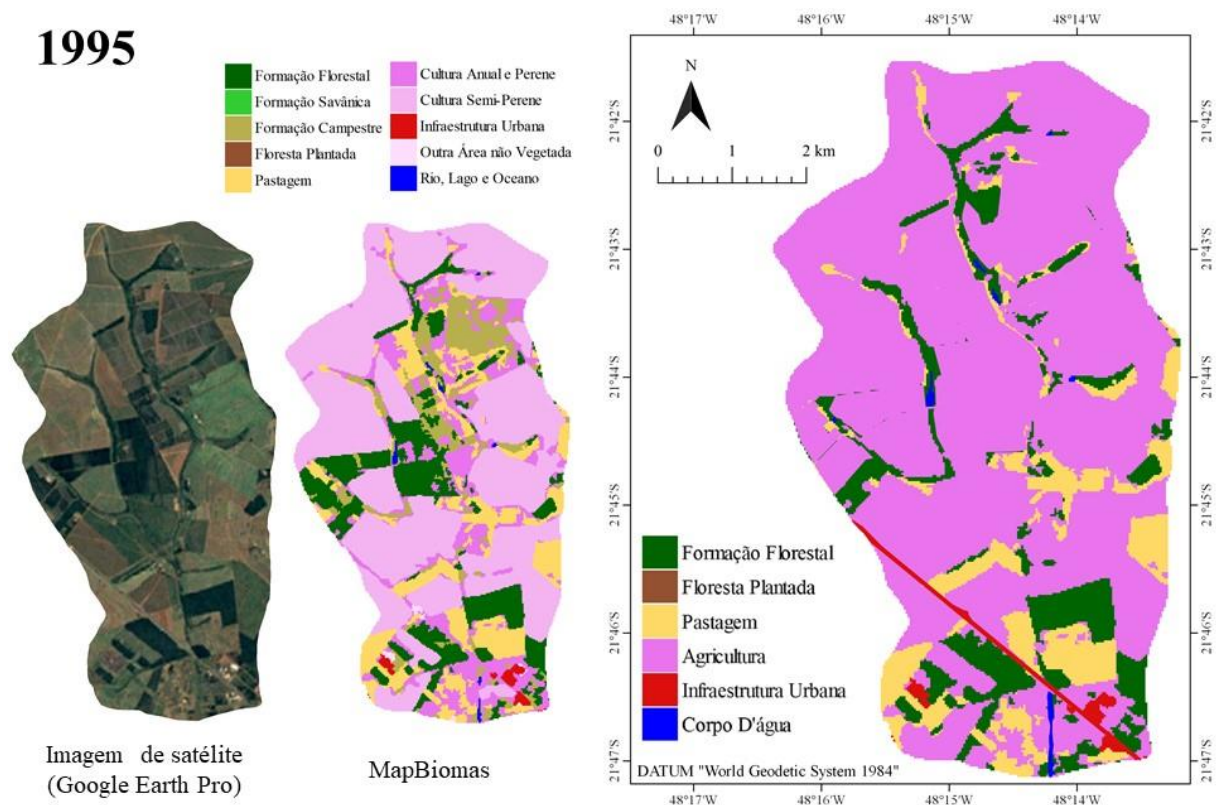


Mapa 14 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1994



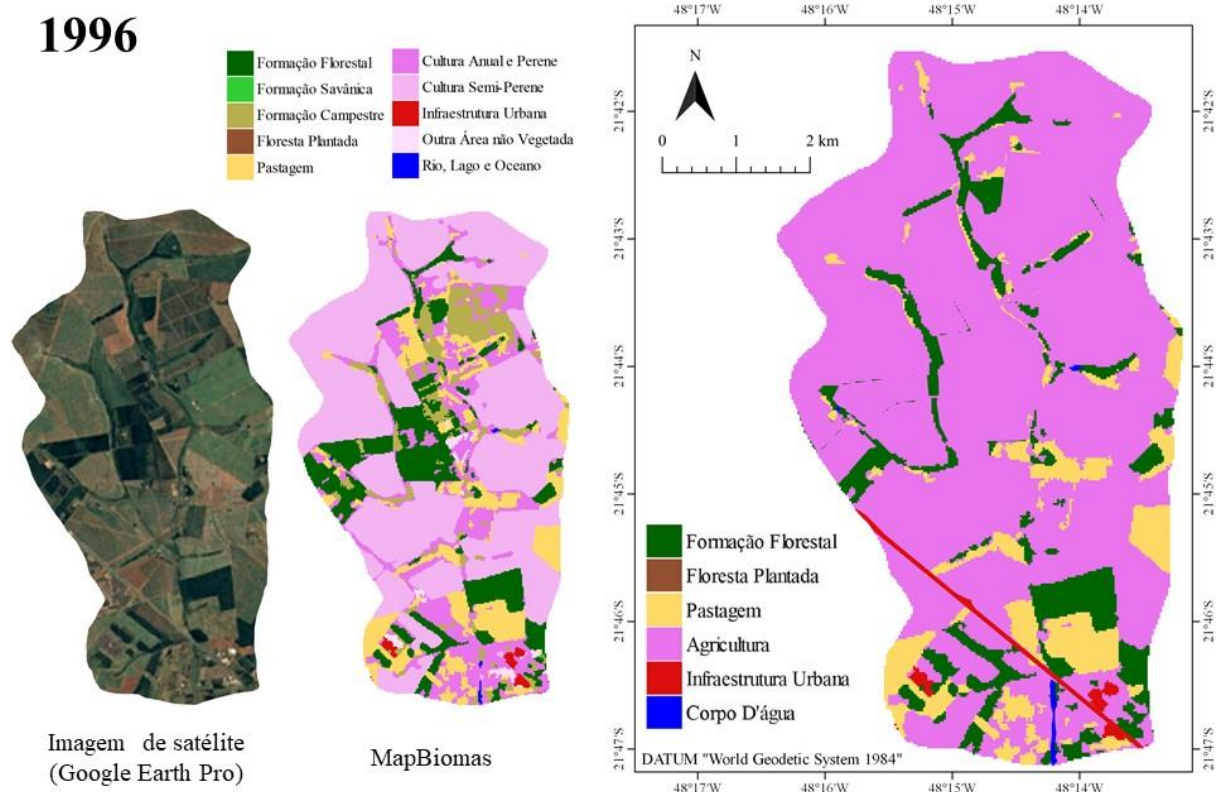
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 15 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1995



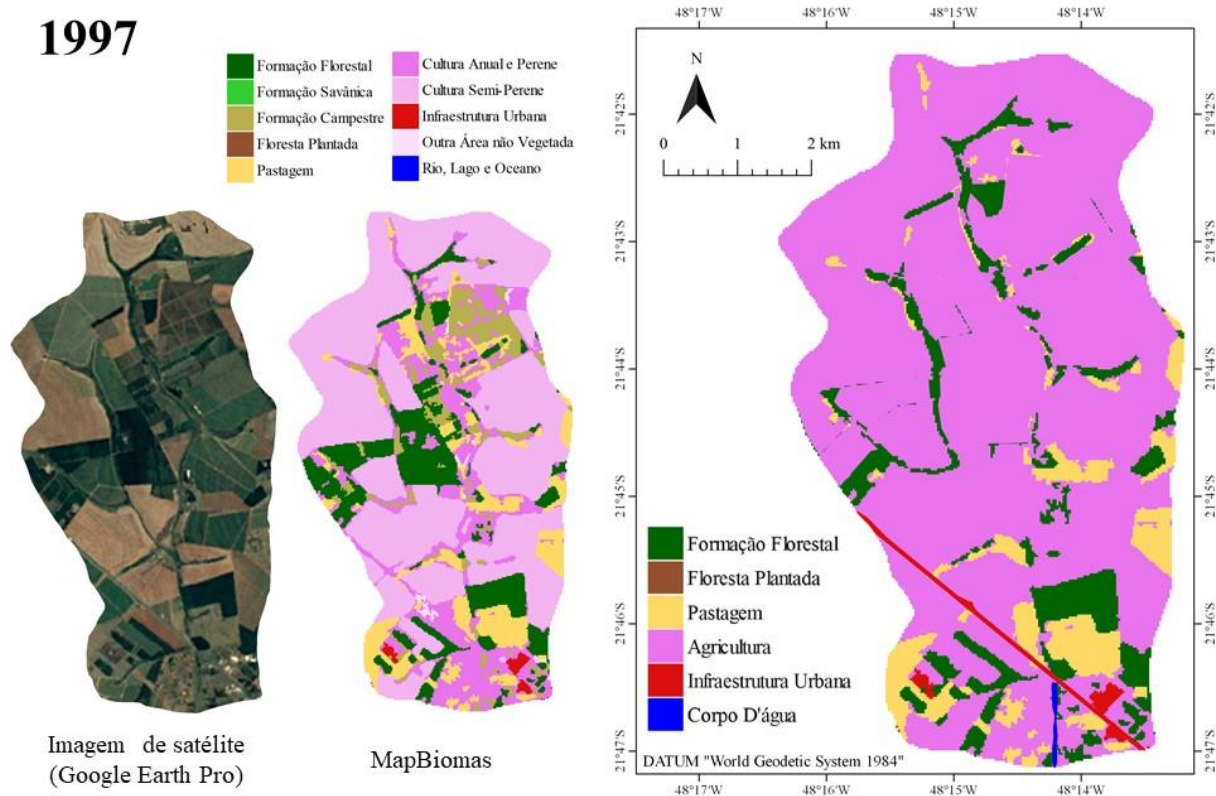
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 16 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1996



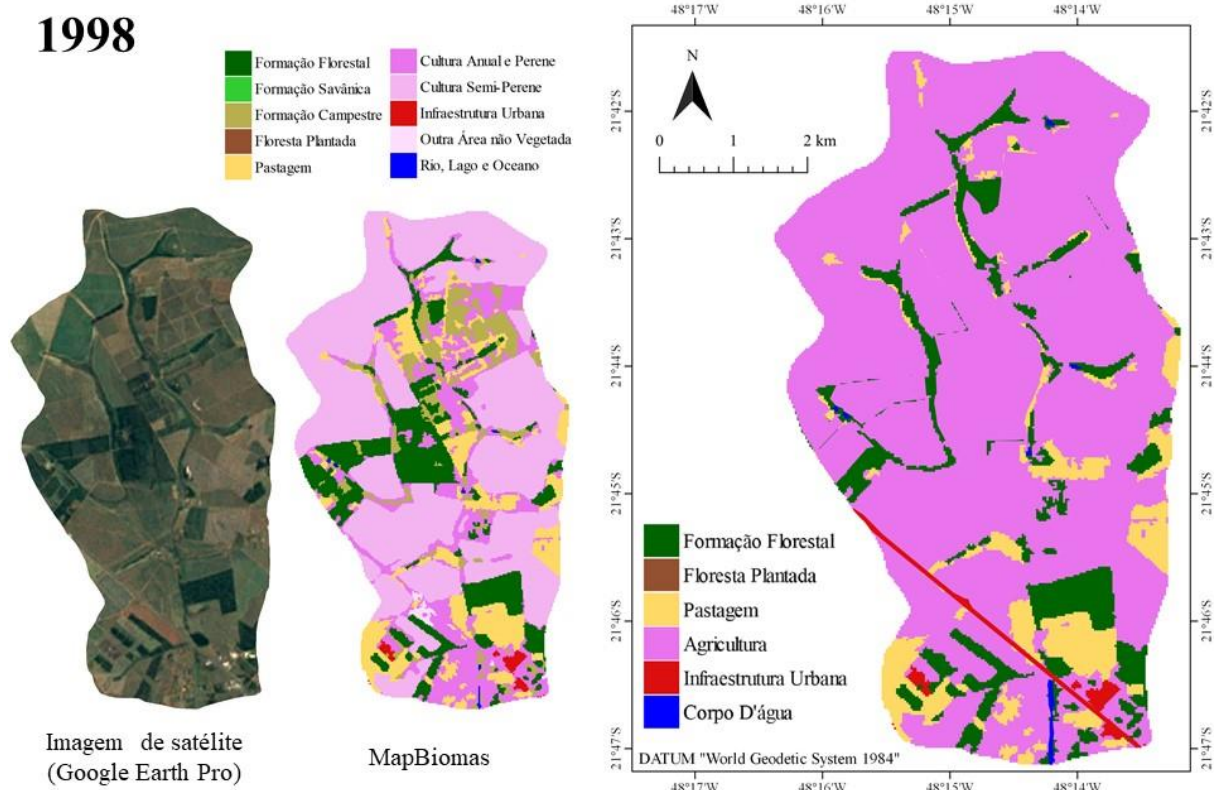
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 17 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1997



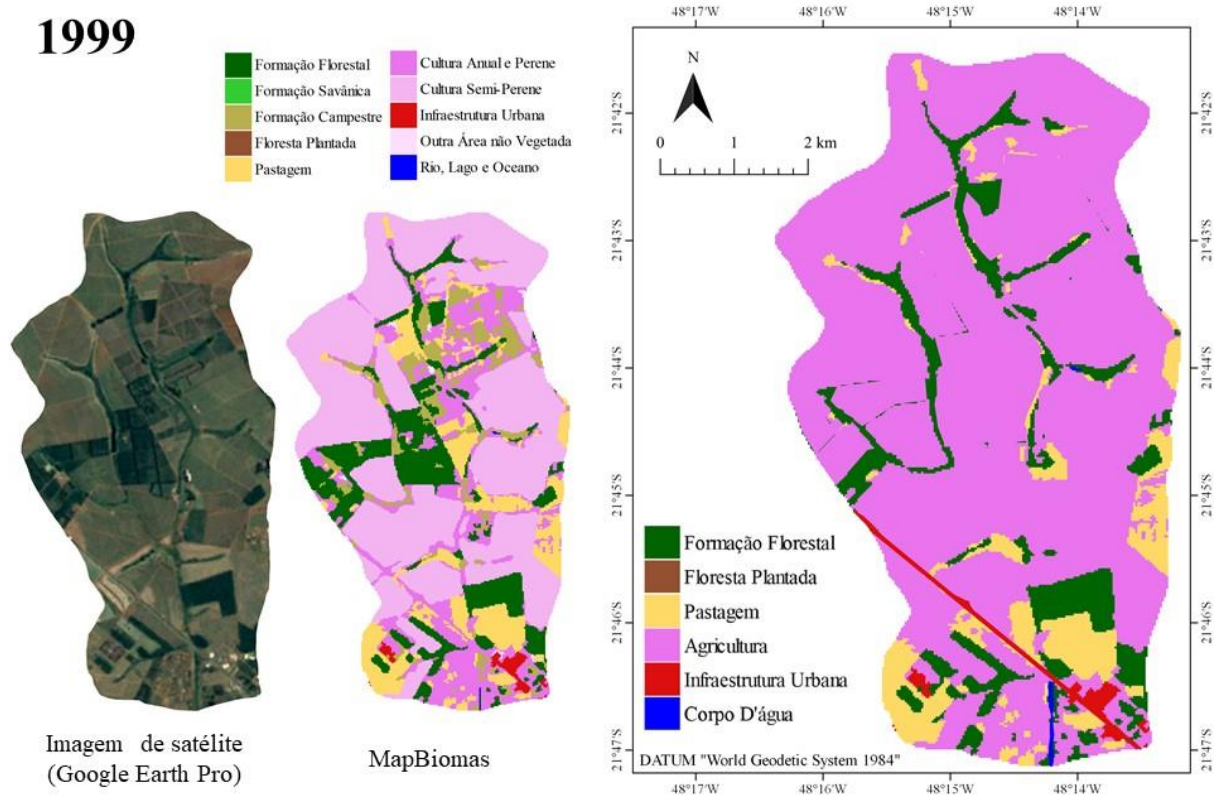
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 18 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1998



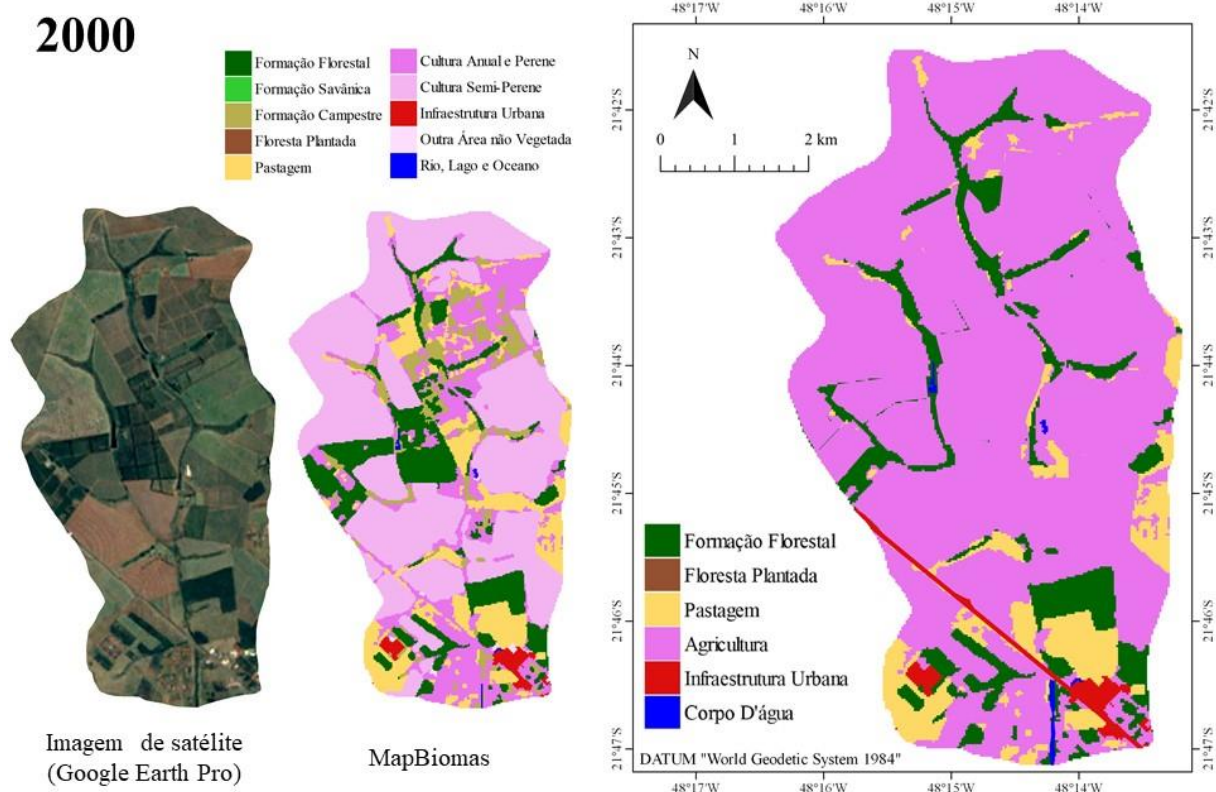
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 19 - Imagens relativas à análise da área estudada em 1999



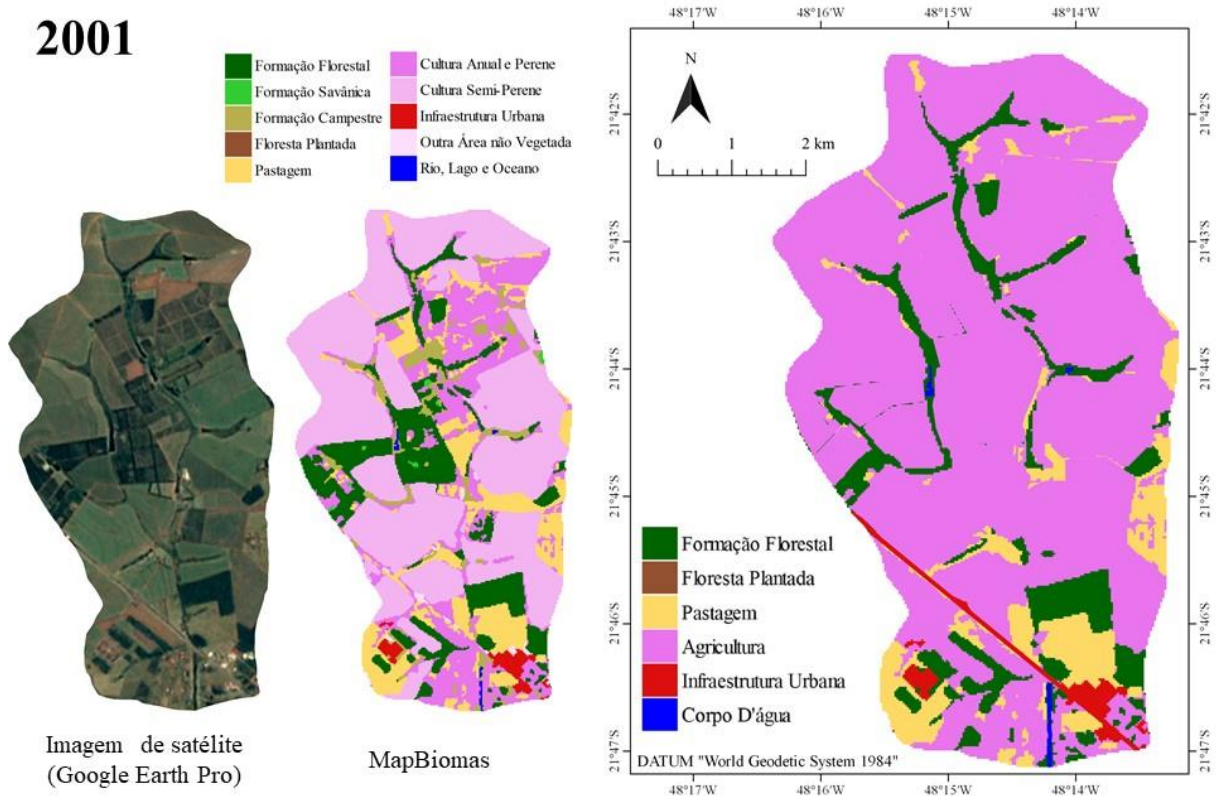
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 20 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2000



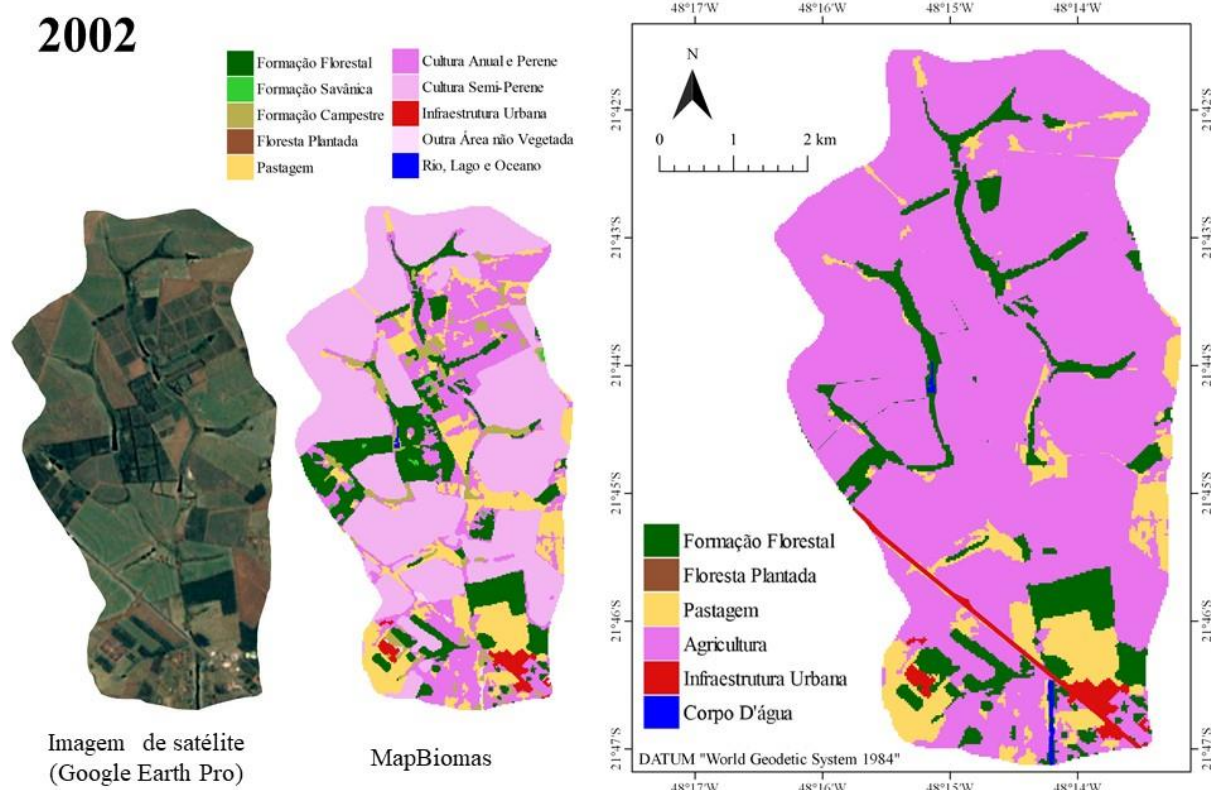
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 21 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2001



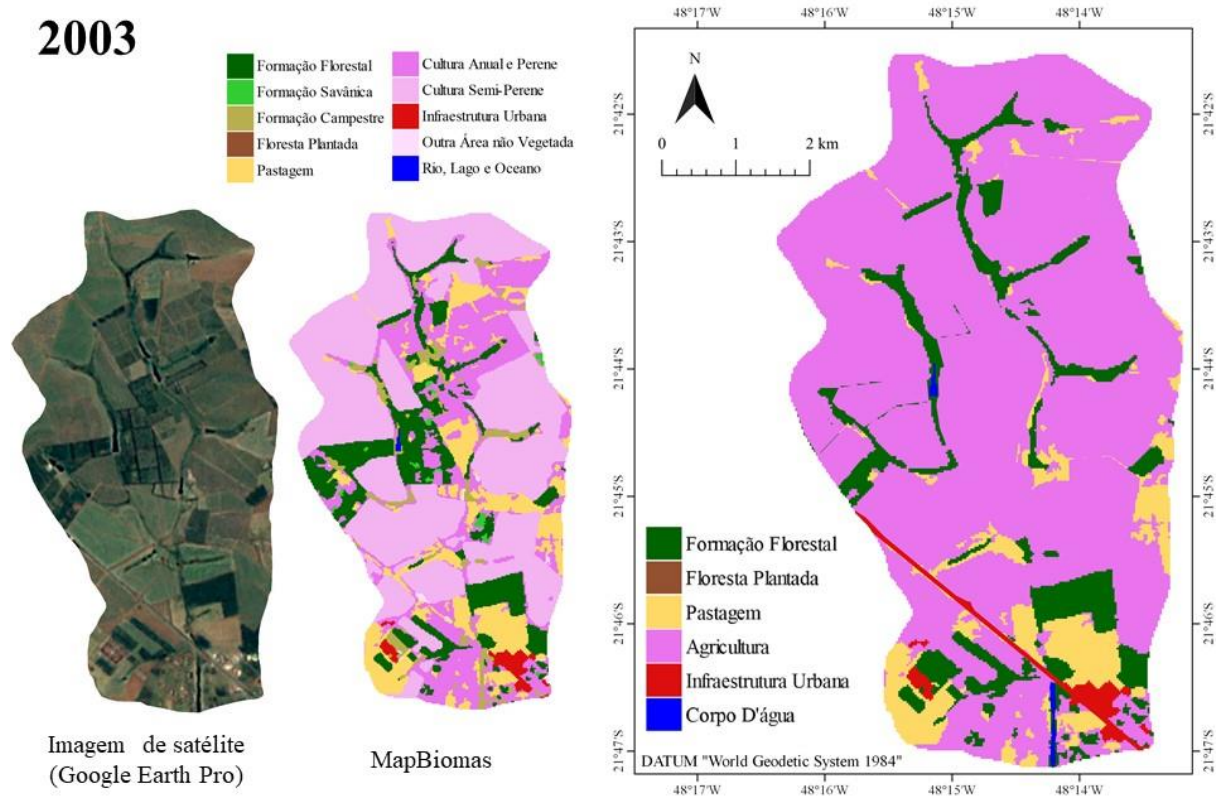
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 22 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2002



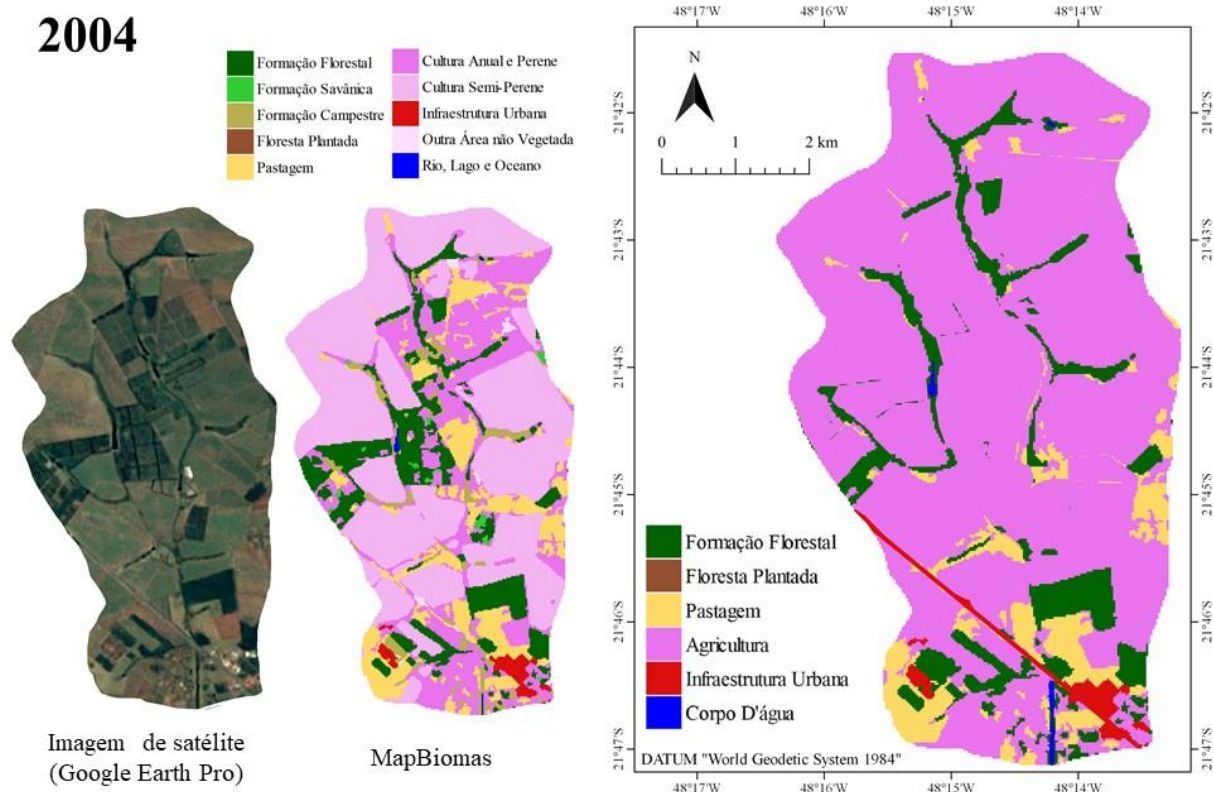
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 23 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2003

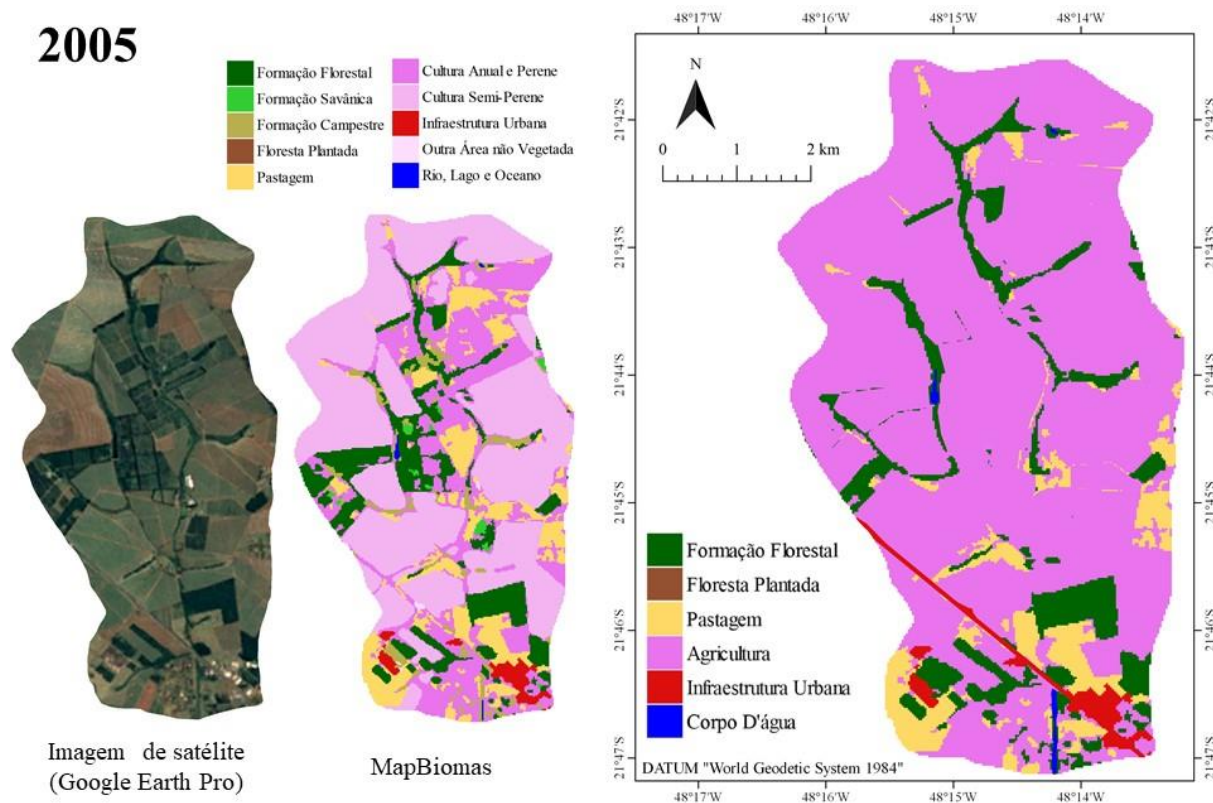


Fonte: elaborado pelo autor.

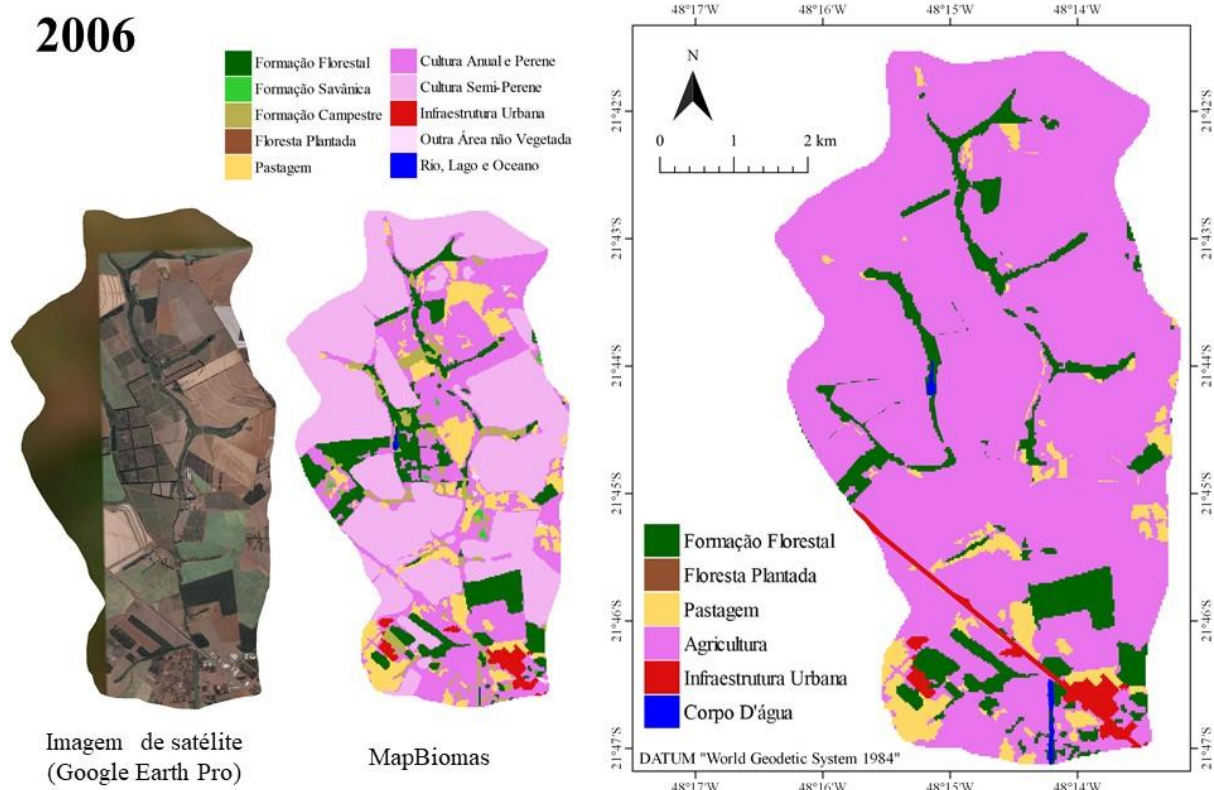
Mapa 24 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2004



Mapa 25 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2005

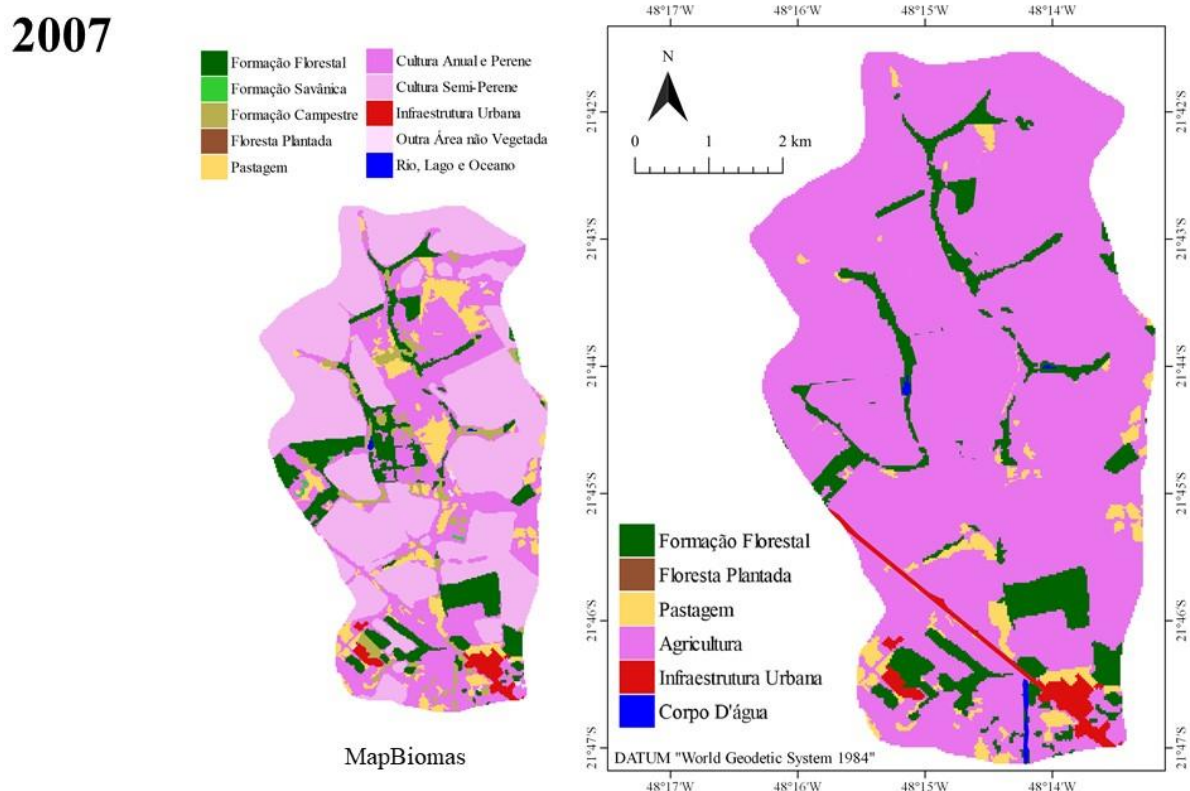


Mapa 26 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2006



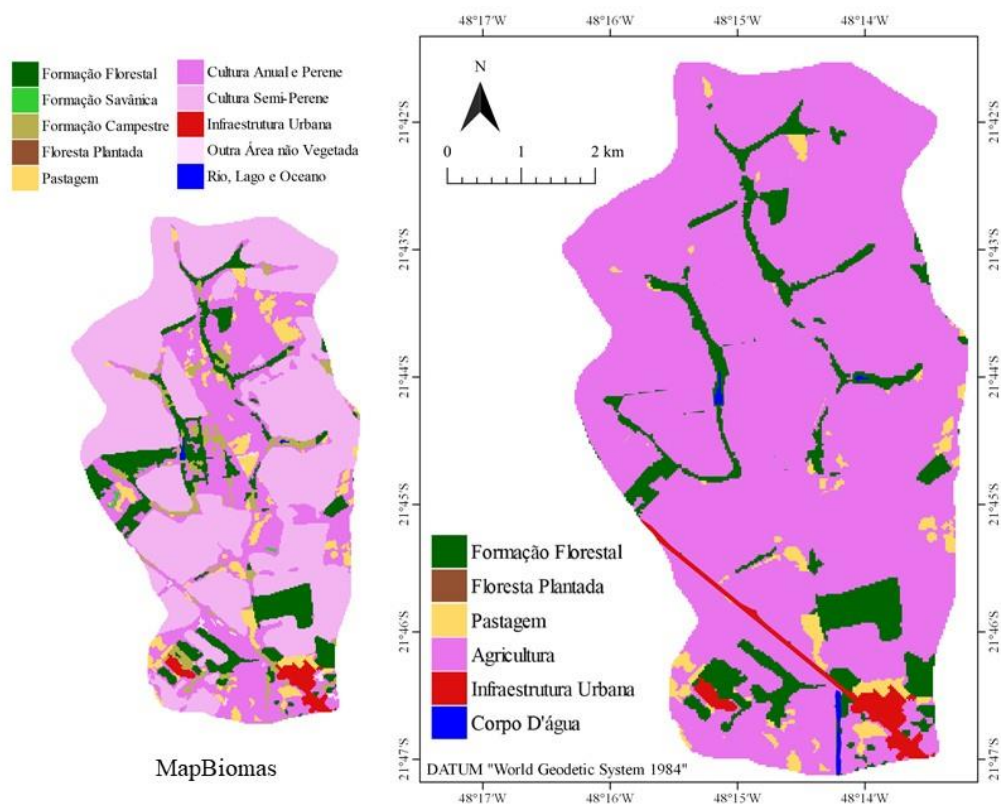
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 27 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2007



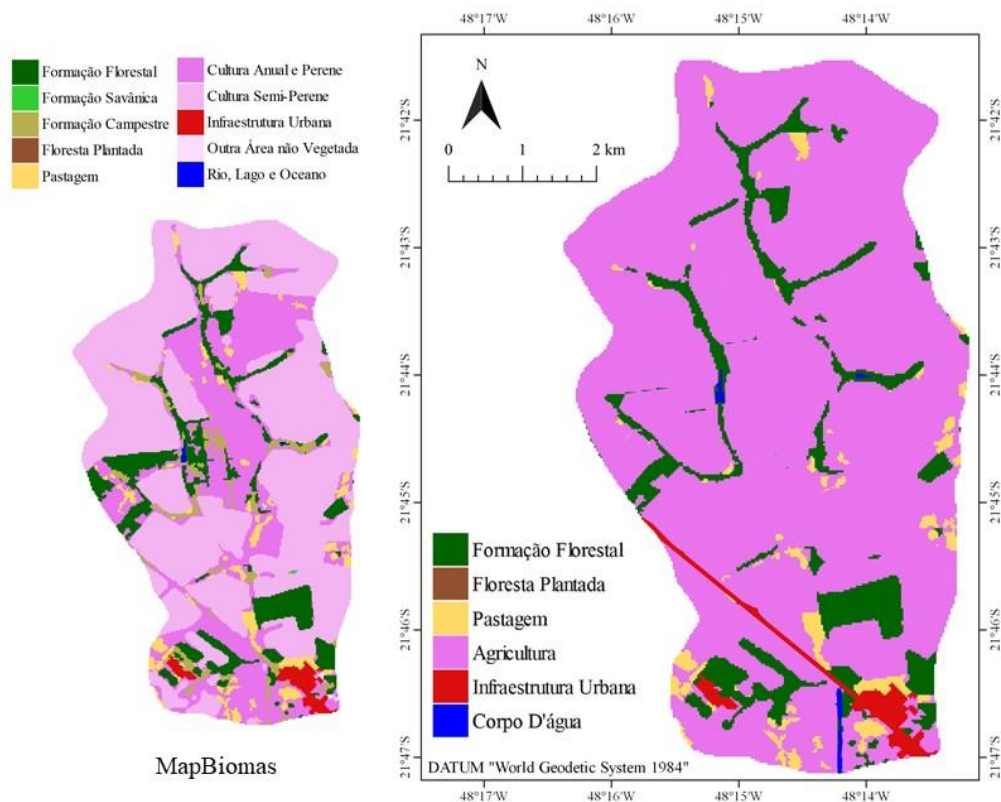
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 28 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2008

2008

Fonte: elaborado pelo autor.

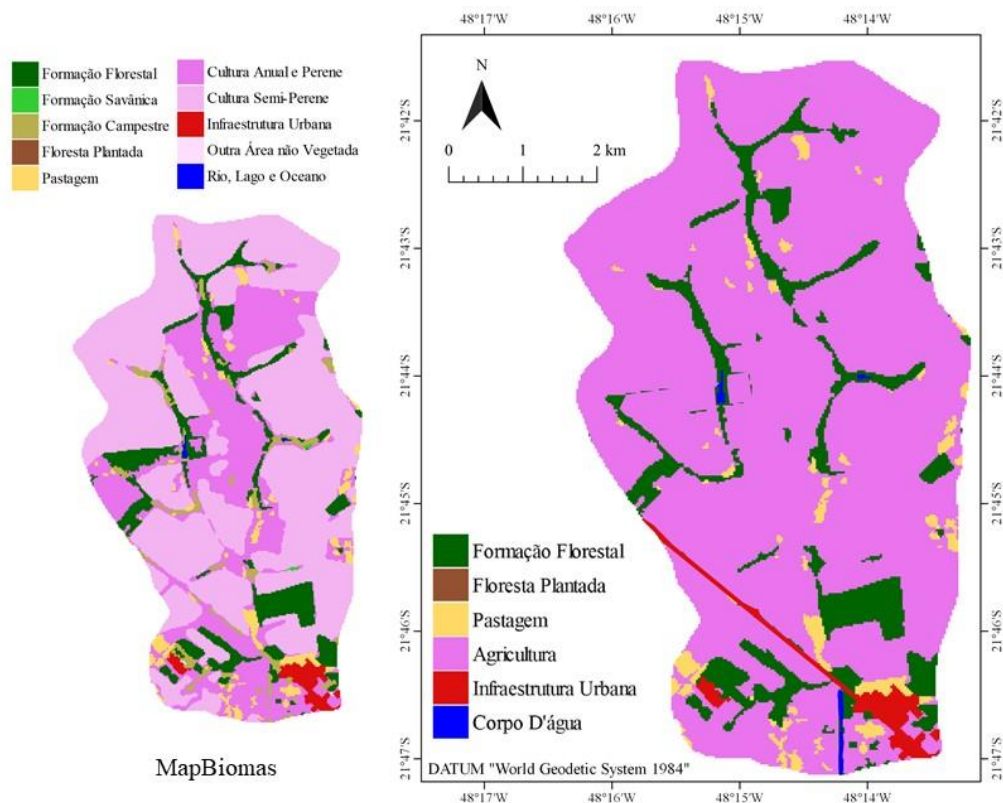
Mapa 29 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2009

2009

Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 30 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2010

2010

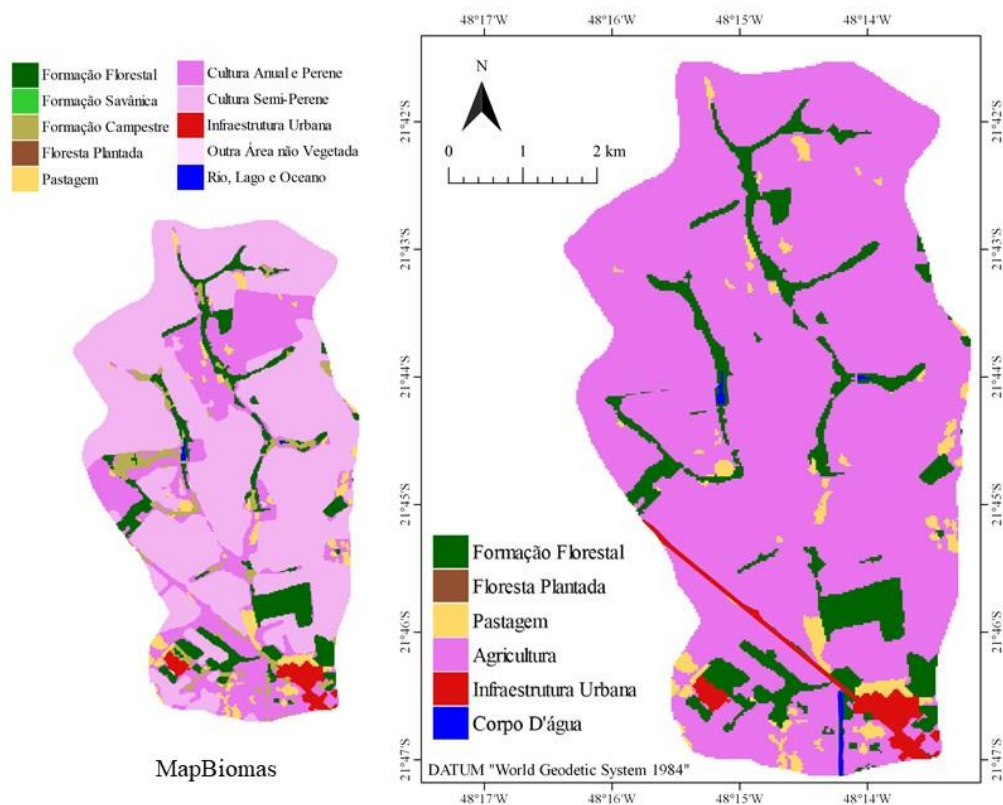


MapBiomias

Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 31 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2011

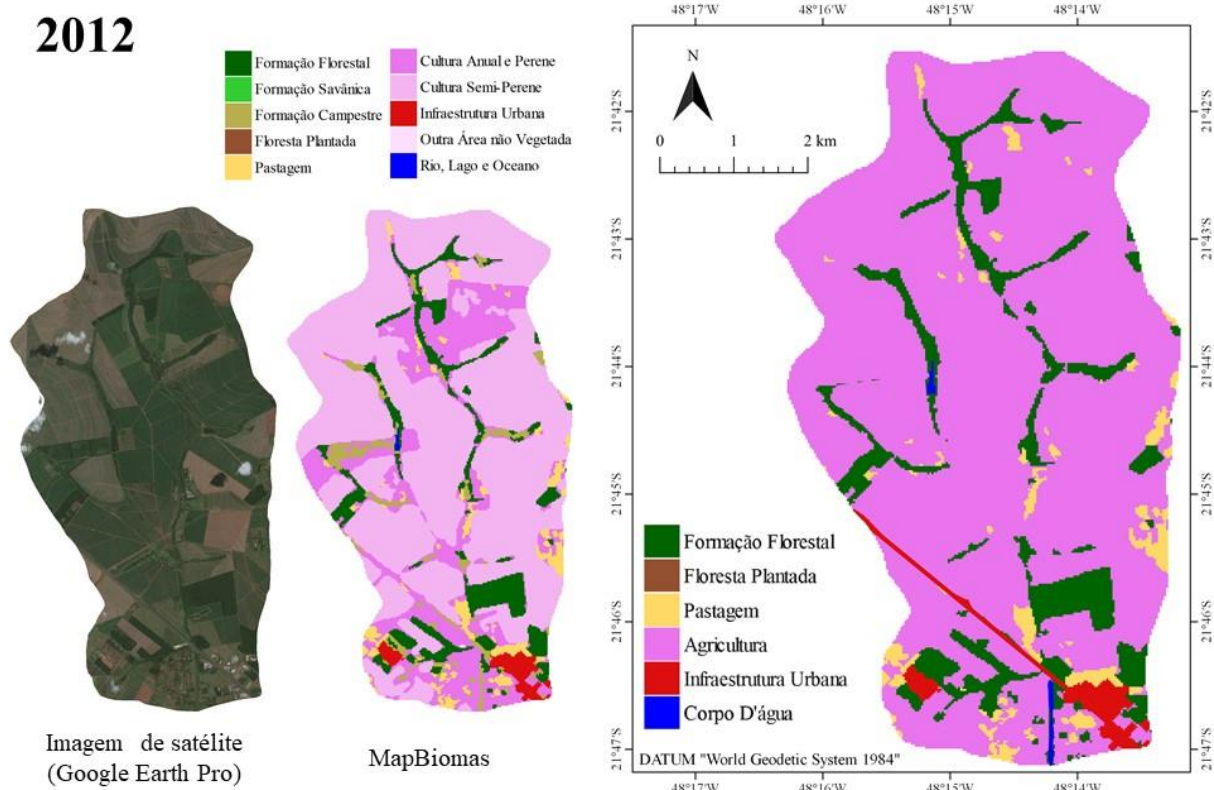
2011



MapBiomias

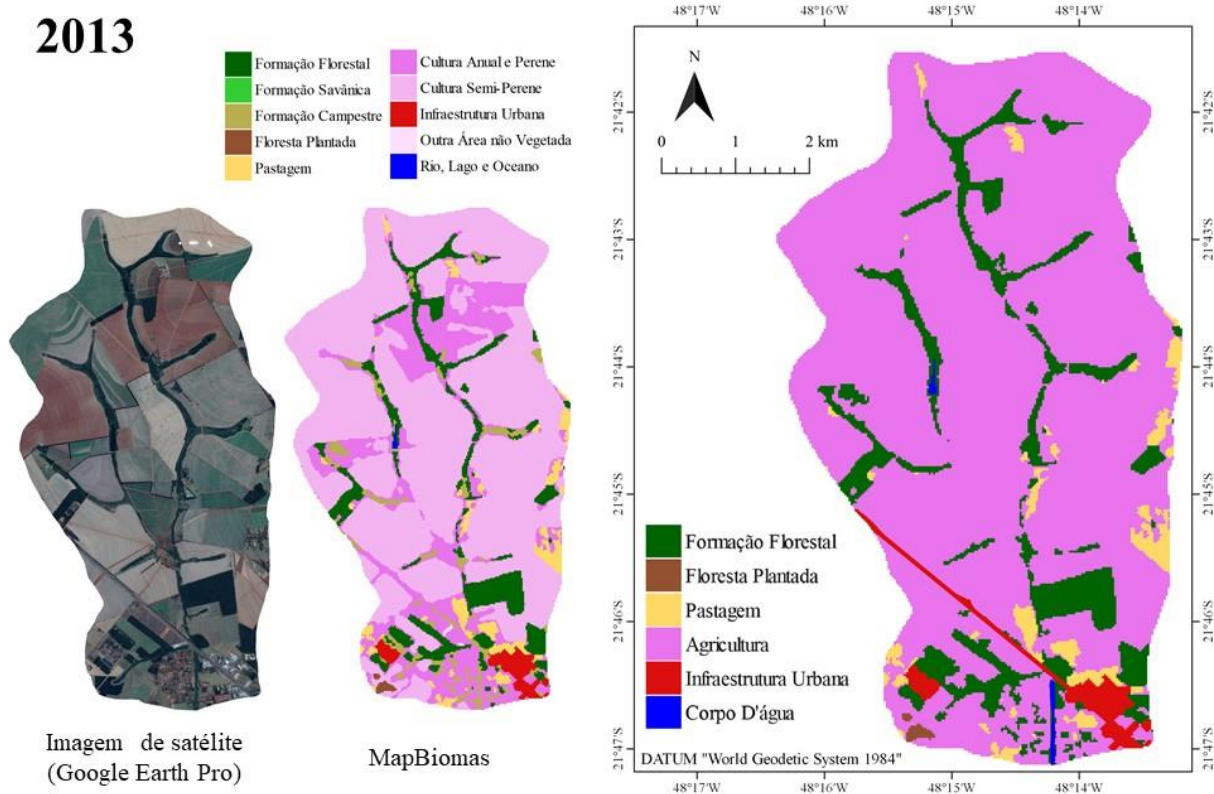
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 32 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2012



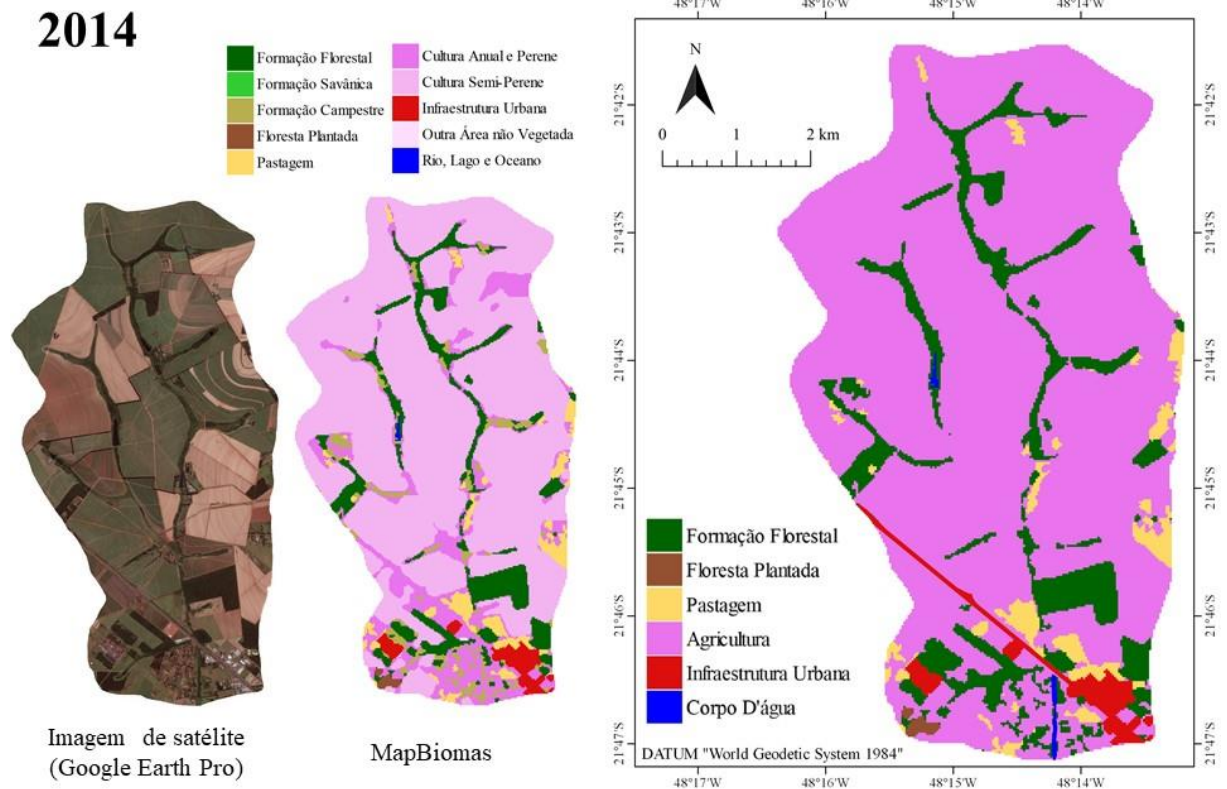
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 33 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2013



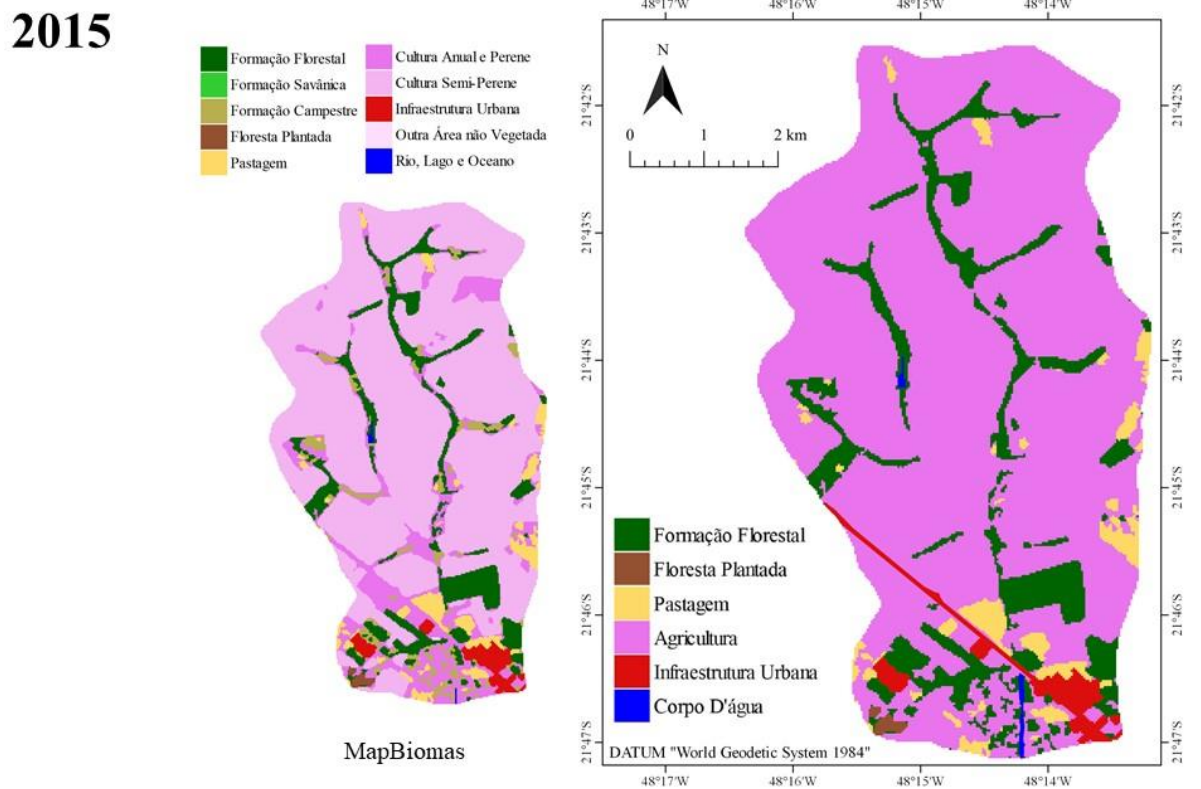
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 34 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2014



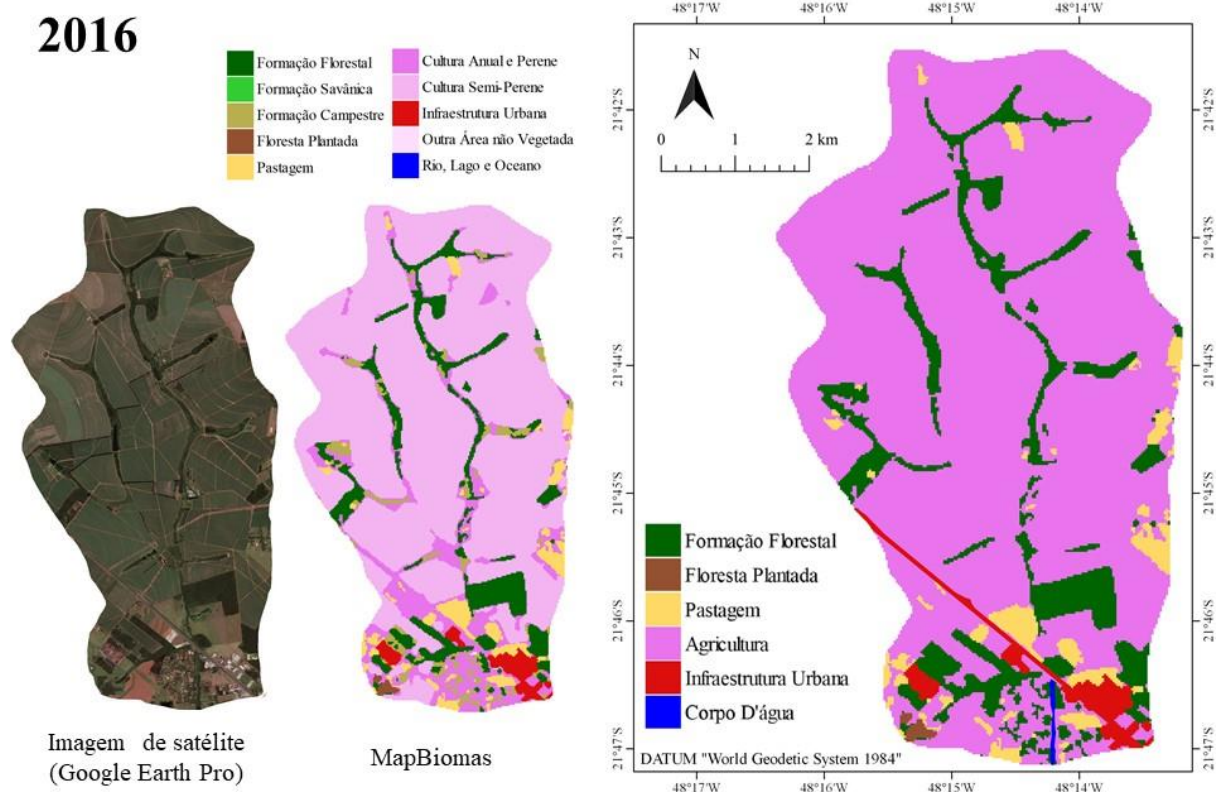
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 35 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2015



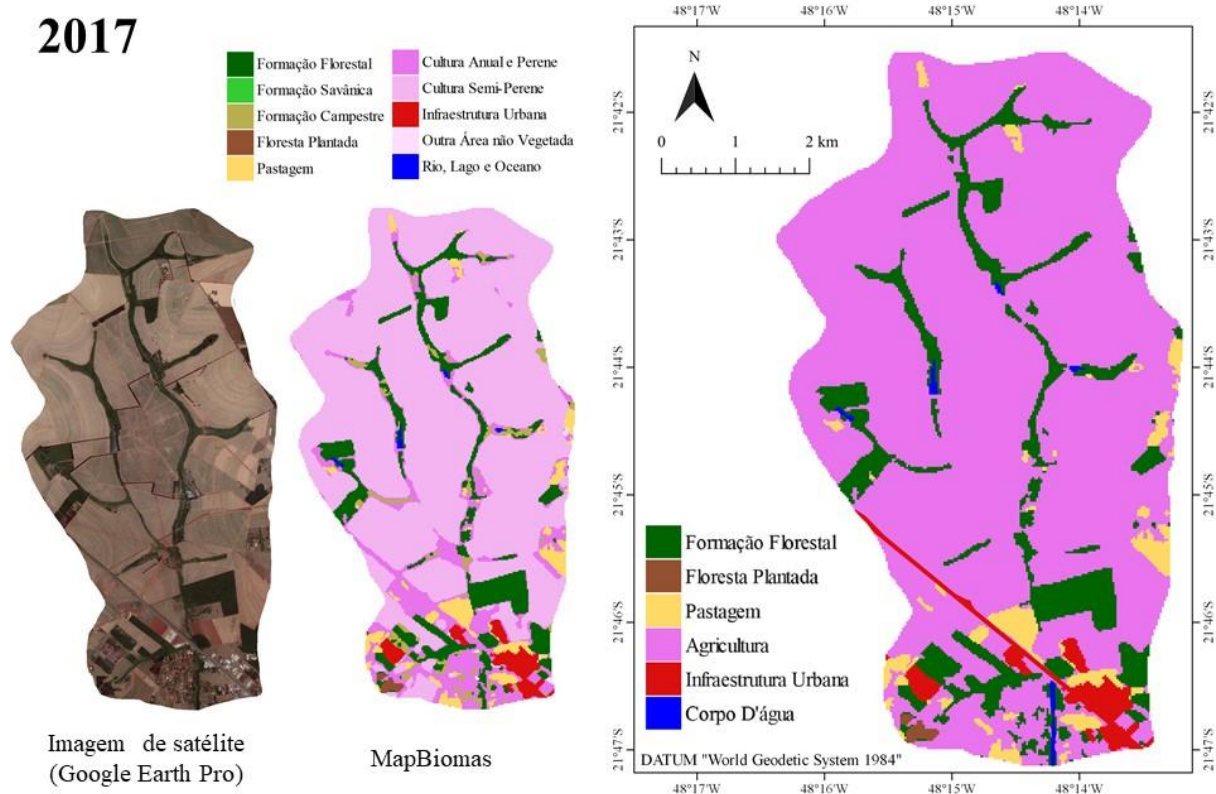
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 36 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2016



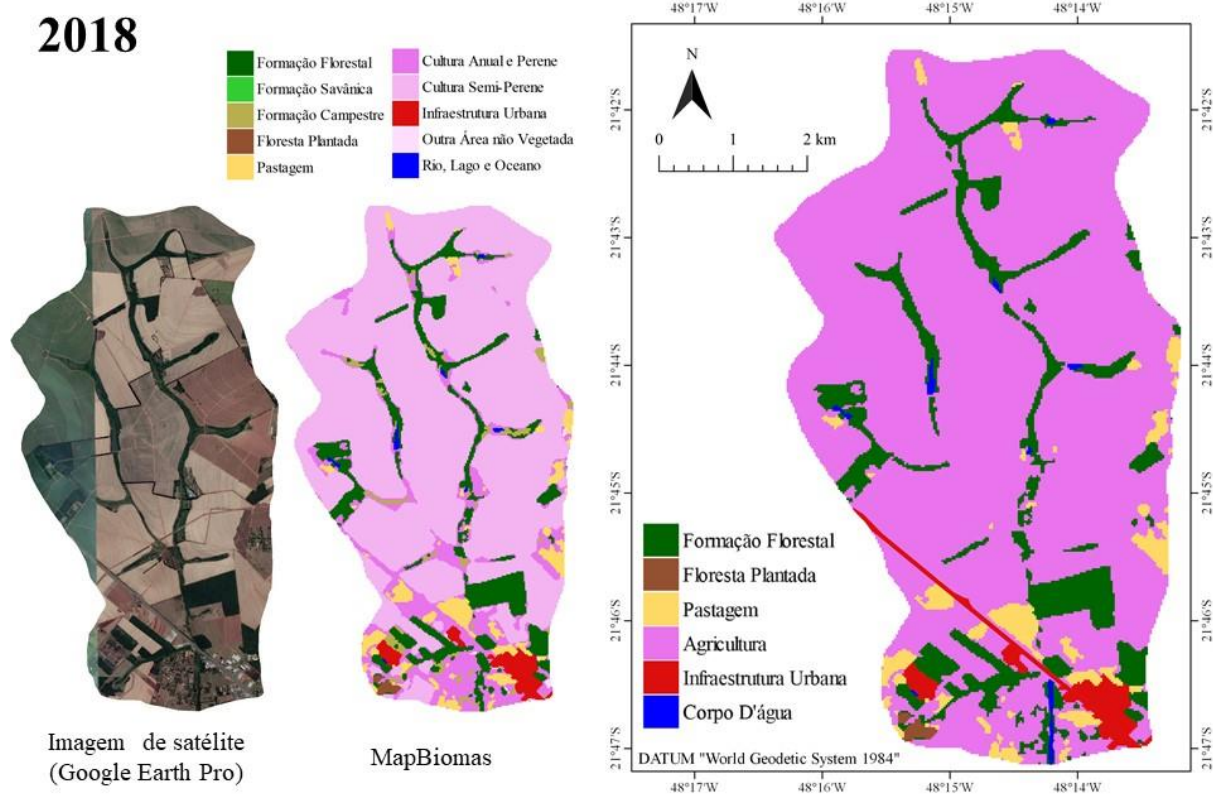
Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 37 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2017



Fonte: elaborado pelo autor.

Mapa 38 - Imagens relativas à análise da área estudada em 2018



Fonte: elaborado pelo autor.

5.3 CÁLCULO DAS MÉTRICAS

5.4.1 Áreas das Classes

Dos mapas depurados gerados foi possível calcular as áreas de cada classe de cada ano analisado. Todas as áreas calculadas estão descritas na Tabela 6.

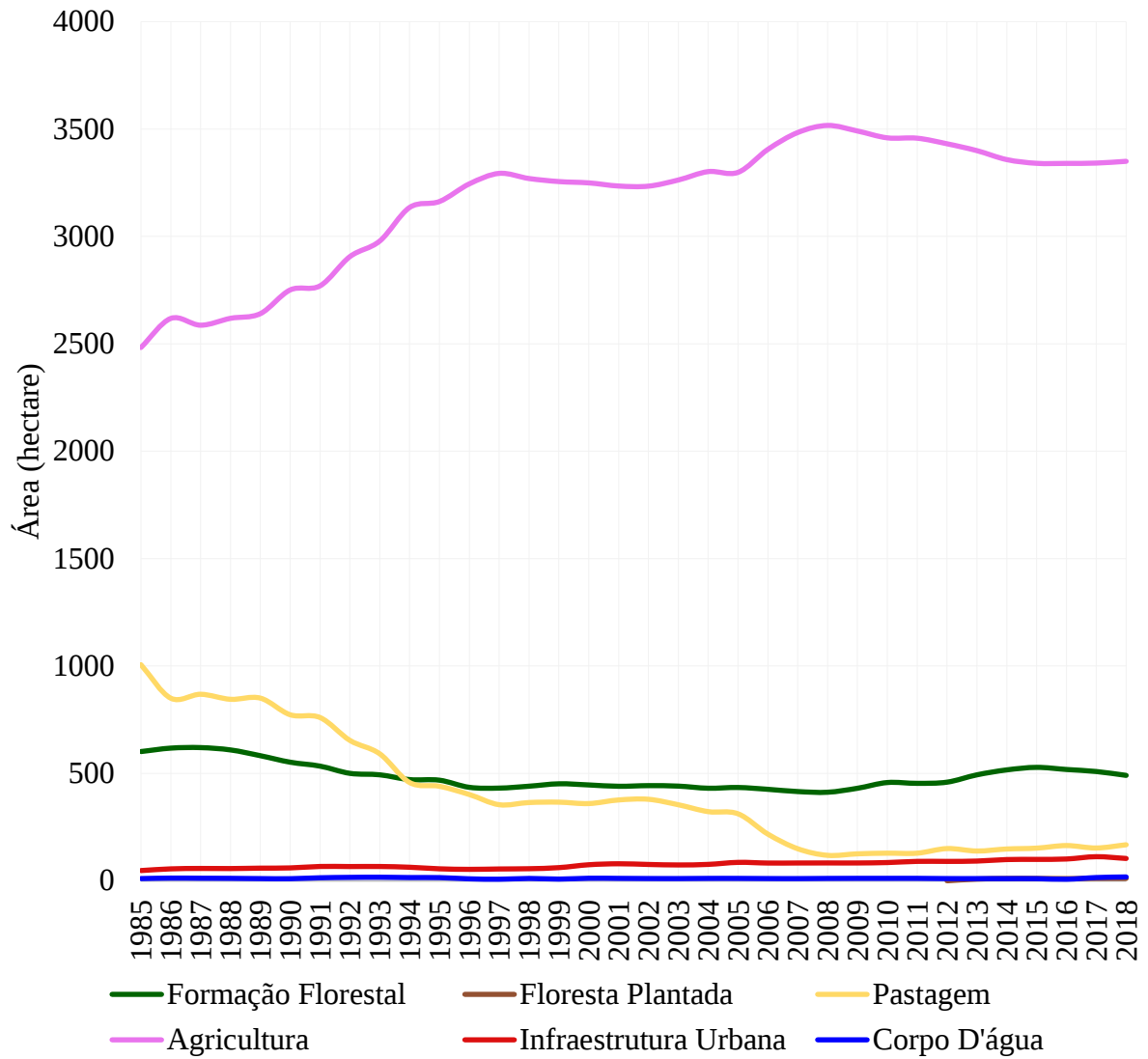
Tabela 6 - Áreas das classes de uso e ocupação da Bacia do Lajeado

	Corpo D'água (ha)	Floresta Plantada (ha)	Infraestrutura Urbana (ha)	Formação Florestal (ha)	Pastagem (ha)	Agricultura (ha)
1985	10,33	-	47,57	601,62	1006,14	2482,95
1986	12,50	-	55,50	617,75	850,12	2618,32
1987	11,89	-	57,36	620,13	868,41	2586,82
1988	11,37	-	56,92	609,23	844,97	2618,88
1989	10,12	-	58,87	582,38	850,50	2640,58
1990	9,71	-	59,95	552,13	772,96	2751,11
1991	14,06	-	66,64	533,84	760,09	2770,07
1992	15,87	-	66,23	500,28	653,58	2906,16
1993	16,68	-	66,55	493,35	591,17	2978,67
1994	14,91	-	63,01	471,13	457,39	3135,11
1995	14,72	-	55,78	468,31	440,00	3162,75
1996	9,11	-	53,16	435,15	401,70	3244,92
1997	7,25	-	55,07	431,51	354,19	3293,65
1998	10,89	-	56,23	440,34	364,42	3269,67
1999	7,93	-	61,21	451,60	366,08	3255,55
2000	11,84	-	74,74	446,22	359,53	3249,39
2001	11,23	-	79,21	439,99	376,39	3234,87
2002	10,56	-	76,04	443,06	379,43	3234,18
2003	10,33	-	73,70	440,70	353,97	3262,85
2004	11,09	-	76,35	430,97	321,91	3301,97
2005	11,08	-	85,70	434,37	311,87	3298,54
2006	10,42	-	82,55	425,93	217,25	3405,40
2007	10,16	-	82,81	415,45	149,17	3483,96
2008	11,00	-	83,03	412,28	118,41	3516,84
2009	11,33	-	82,95	430,75	125,54	3490,98
2010	11,33	-	84,91	457,47	128,48	3459,13
2011	11,33	-	90,36	453,67	128,46	3457,51
2012	10,25	-	90,33	459,26	149,99	3431,50
2013	10,16	7,90	91,77	493,24	138,62	3399,53
2014	10,08	10,90	98,91	516,27	148,02	3357,80
2015	9,91	10,98	99,66	528,10	151,97	3340,61
2016	7,25	10,15	101,45	518,23	164,02	3340,21
2017	15,07	10,98	112,17	508,69	152,68	3341,64
2018	17,90	11,06	103,91	490,70	167,72	3349,96

Fonte: elaborado pelo autor.

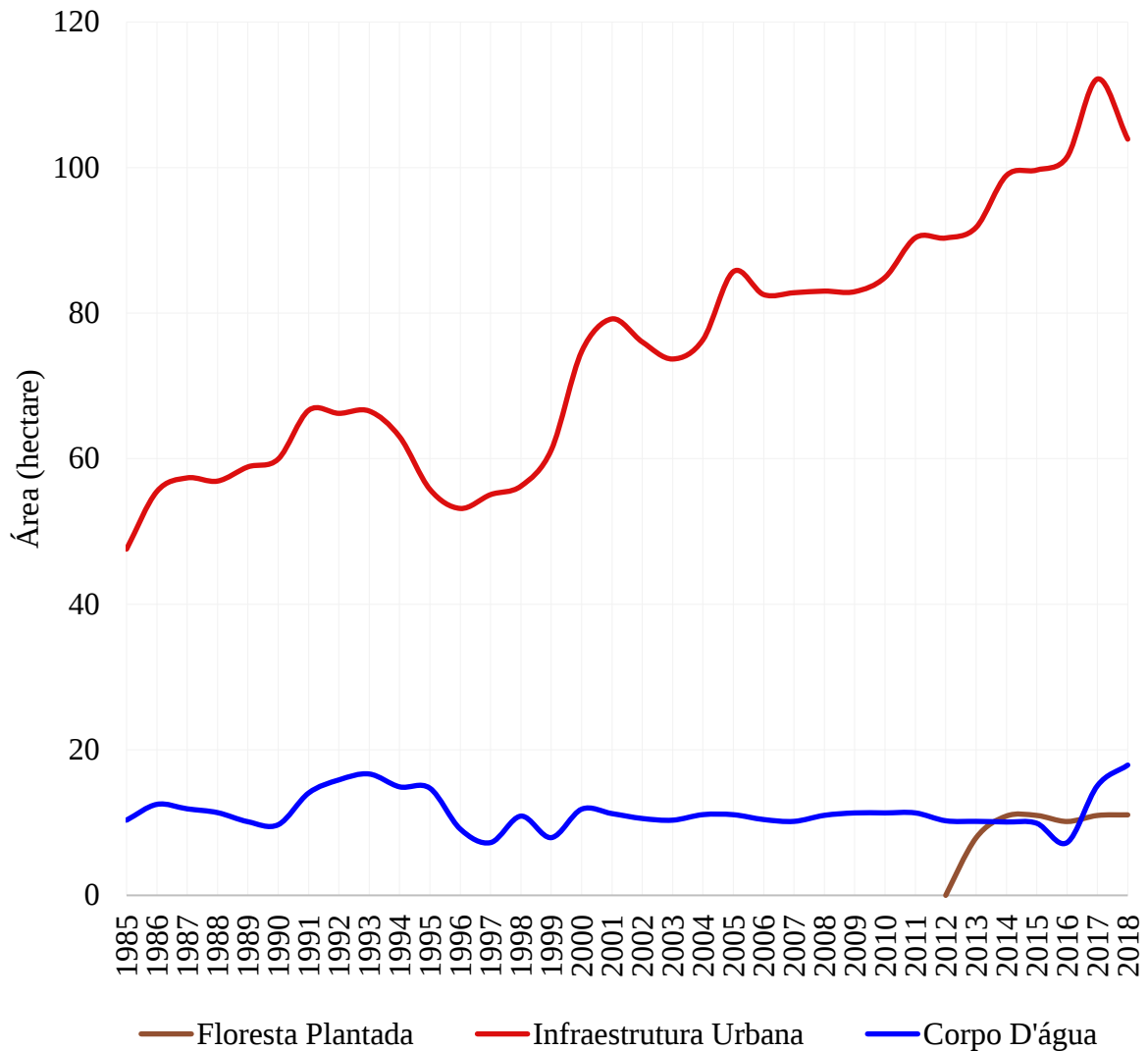
A partir dos dados de uso e ocupação do solo da bacia ao longo do período estudado foi possível criar gráficos que apontam tendências. No Gráfico 6 estão apresentadas as áreas ocupadas por todas as classes. Já no Gráfico 7, estão apenas as classes como menor área de cobertura na bacia (Corpo D'água, Floresta Plantada e Infraestrutura Urbana). Os gráficos deixam claro a constatação dos mapas com relação à mudança da paisagem. Áreas de pastagem diminuíram ao longo do tempo ao passo que área de agricultura aumentaram. Além disso, também fica evidente o aumento da infraestrutura urbana na área da bacia.

Gráfico 6 - Áreas das classes de uso e ocupação da Bacia do Lajeado



Fonte: elaborado pelo autor.

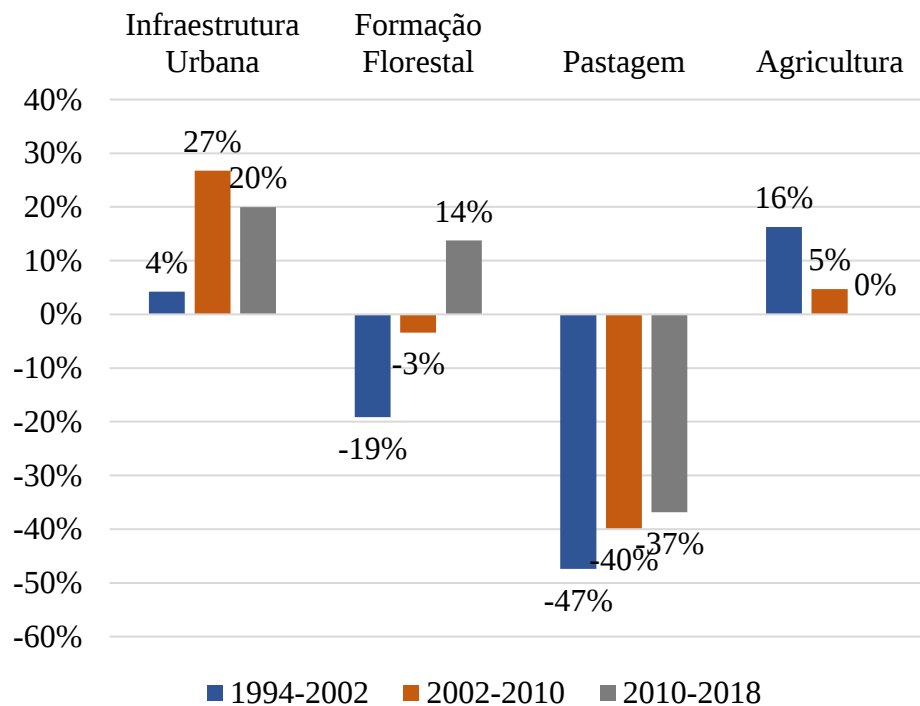
Gráfico 7 - Gráfico da evolução do uso e ocupação do solo das menores classes da Bacia da Represa do Lajeado



Fonte: elaborado pelo autor.

O Gráfico 8 mostra as mudanças da paisagem em porcentagem em três períodos para as classes Infraestrutura Urbana, Formação Florestal, Pastagem e Agricultura: 1986-1994, 1994-2002, 2002-2010 e 2010-2018. As mudanças percentuais foram calculadas a partir da média móvel destes períodos. A classe Infraestrutura Urbana apresentou aumentos maiores em todos os períodos, principalmente a partir de 2002. A Formação Florestal teve uma grande perda no primeiro período, uma menor no segundo e ganhos no período seguintes. Pastagem apresentou perdas em todo o período, sendo a classe de maior variação percentual. Por fim, Agricultura apresentou grande aumento no primeiro um período, um aumento menor no segundo e se manteve no terceiro.

Gráfico 8 - Ganhos e perdas das classes entre 1994 e 2018



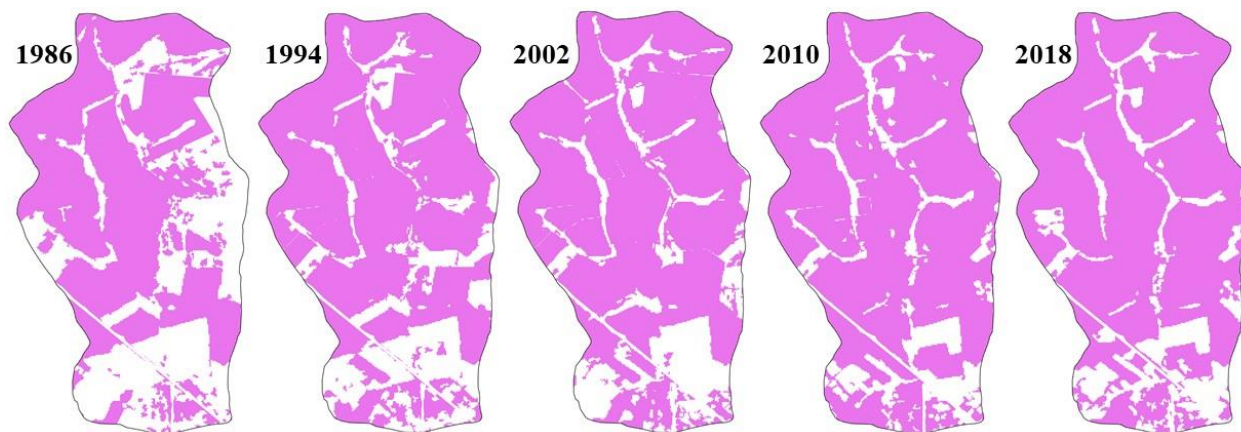
Fonte: elaborado pelo autor.

Essa transformação da paisagem, de pastagem para agricultura é observada no estado de São Paulo desde a década de 1950, principalmente da cultura canavieira, onde solidificou regiões agroindustriais em cidades como Ribeirão Preto, Araraquara, Piracicaba, Jaú e Vale do Paranapanema (CAMARA e CALDARELLI, 2016). Outra cultura bastante importante para a agroindústria de Araraquara é a produção de laranja (CORRÊA, 2008, apud PIERINI e FALCOSKI, 2019), presente na classe agricultura nos mapas gerados até o ano de 2012. O aumento da infraestrutura urbana está relacionado com o aumento populacional (IBGE, 2010) e com o espraiamento da cidade de Araraquara que resultou em um aumento no número de loteamento de chácaras no entorno da mancha urbana (PIERINI e FALCOSKI, 2019).

Portando, os destaques da mudança da paisagem da Bacia da Represa do Lajeado foram o aumento da área destinada à agricultura, que sempre foi predominante, uma diminuição de áreas de pastagens e um aumento da infraestrutura urbana. Entre 1985 e 2018 houve um aumento de 35% de área agrícolas e 118% de infraestrutura urbana, e uma diminuição de 83% de áreas de pastagem, ilustrados pelas Figuras 10, 11 e 12. Em comparação, no mesmo período, o estado de São Paulo teve um aumento de 178% de áreas agrícolas e 116% de infraestrutura urbana, e uma diminuição de 55% de áreas de pastagem, segundo o MapBiomas (2020). Isso indica que características socioeconômicas do estado se manifestam também na paisagem da

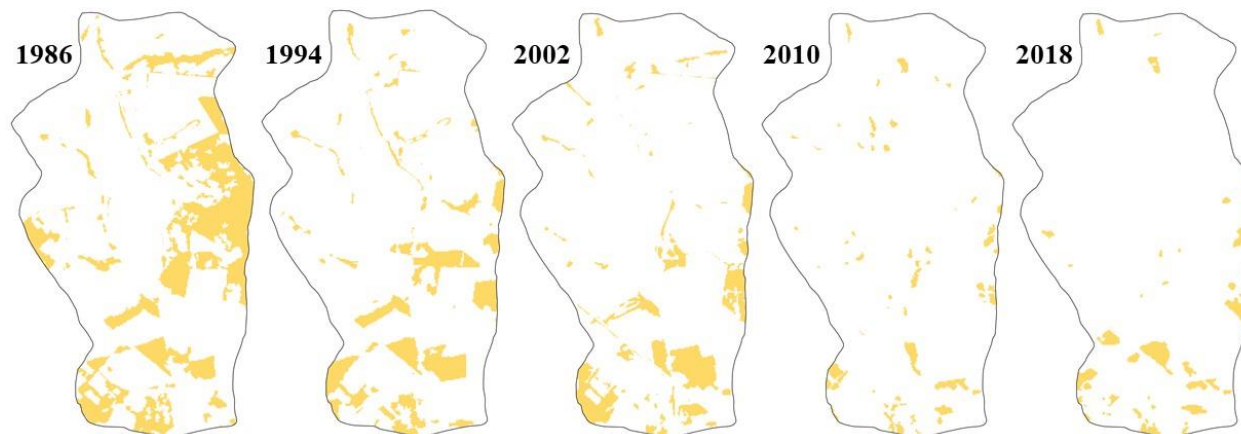
área drenagem da Represa do Lajeado, como urbanização e consolidação da agroindústria na região.

Figura 10 - Mudança da configuração da classe Agricultura na Bacia da Represa do Lajeado



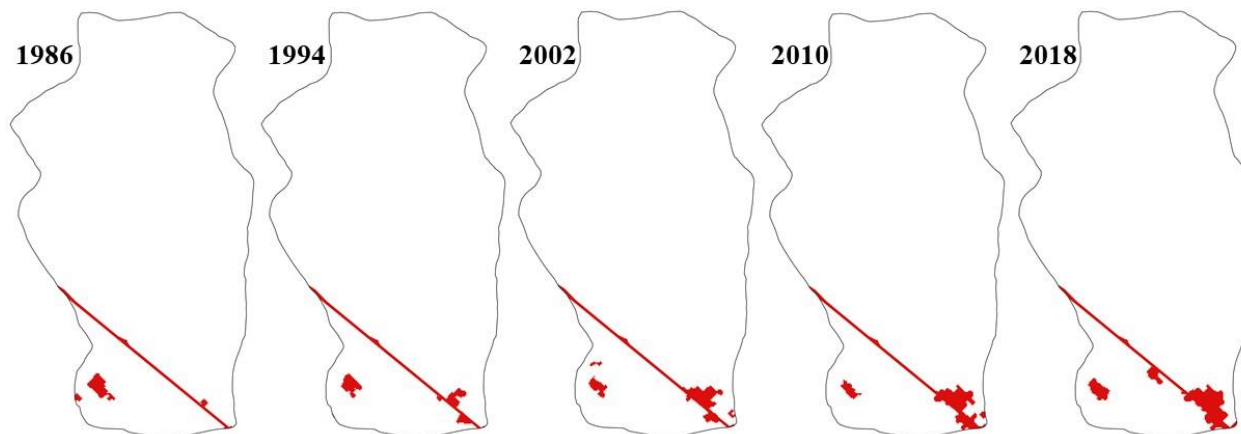
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 11 - Mudança da configuração da classe Pastagem na Bacia da Represa do Lajeado



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 12 - Mudança da configuração da classe Infraestrutura Urbana na Bacia da Represa do Lajeado



Fonte: elaborado pelo autor.

5.4.2 Vegetação ripária

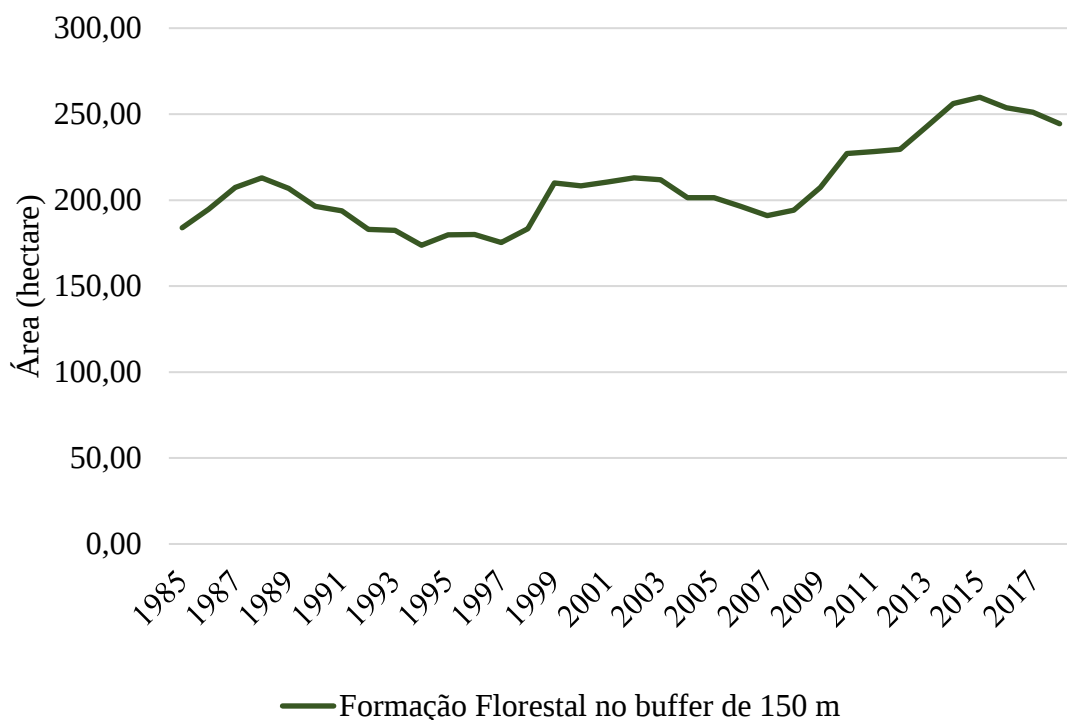
Os dados com relação à vegetação ripária presentes em uma área de 150 metros de distância das linhas dos cursos d'água estão expostos no Tabela 7. A partir dessa tabela foi gerado o Gráfico 9.

Tabela 7 - Área da vegetação ripária dentro do buffer de 150 m

Formação Florestal no buffer de 150 m (ha)								
1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
183,952	194,76	207,274	212,884	206,846	196,442	193,778	182,946	182,43
1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
173,76	179,784	179,993	175,391	183,259	209,983	208,333	210,491	212,884
2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
211,868	201,411	201,339	196,407	190,95	194,223	207,394	227,114	228,266
2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
229,496	242,775	256,077	259,816	253,652	251,154	244,323		

Fonte: elaborado pelo autor.

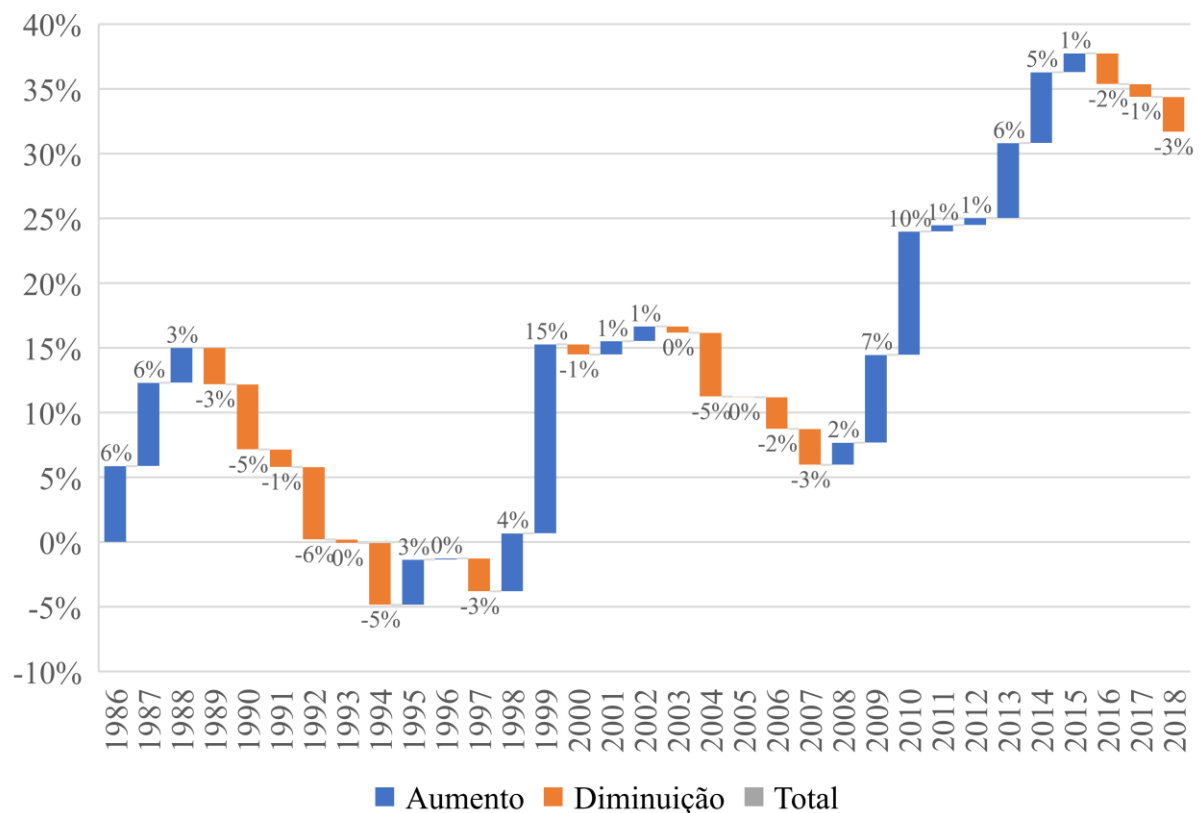
Gráfico 9 - Vegetação ripária no buffer de 150 m



Fonte: elaborado pelo autor.

É possível notar que a vegetação ripária dos cursos d'água da bacia estudada teve ganhos e perdas ao longo dos anos. Há um aumento da vegetação entre 1985 e 1988. Então se inicia uma perda até 1994, onde se mantém estável até 1997. Entre 1998 e 1999 há um ganho expressivo e uma estabilização a partir desse ano até 2003. A partir desse período há uma pequena tendência de queda até 2007, de onde se início maiores ganhos até 2015, quando retorna uma pequena queda até 2018. Apesar dos ganhos e perdas, a curva de tendência linear aponta para um aumento da vegetação ripária. No Gráfico 10 é possível notar as mudanças percentuais ao longo do tempo.

Gráfico 10 - Mudanças na vegetação ripária

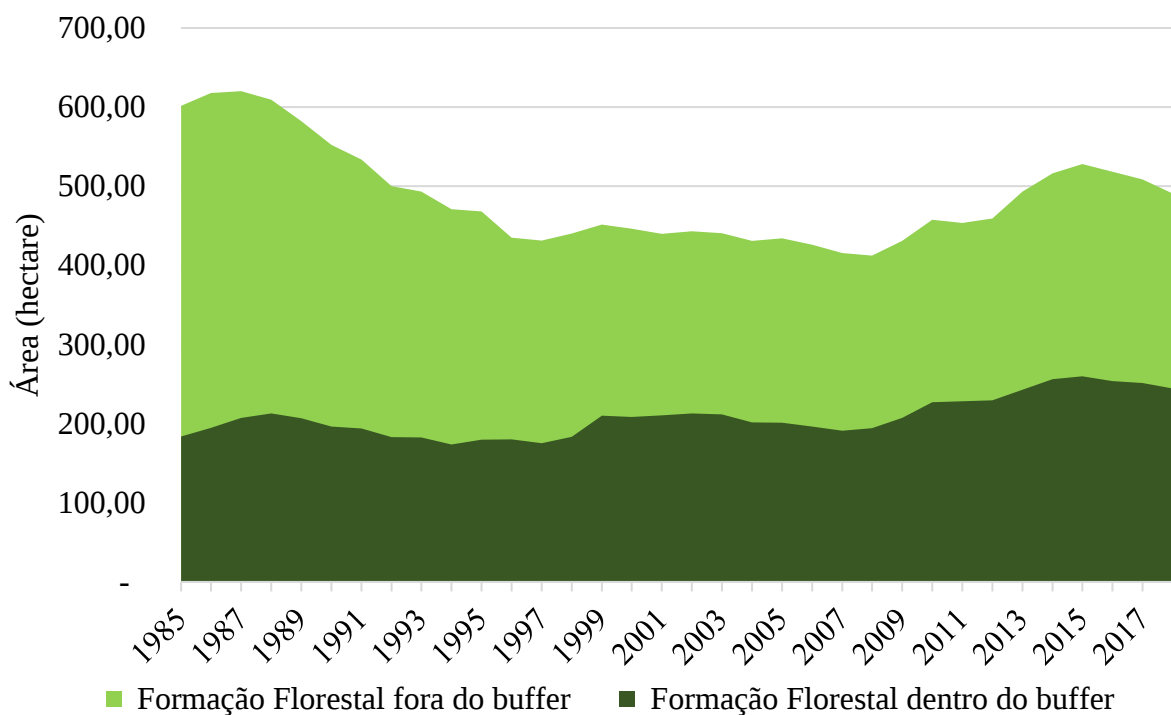


Fonte: elaborado pelo autor.

Quando se compara a evolução da classe Formação Florestal em toda a área da bacia com a mesma classe dentro do *buffer* de 150 metros é possível notar que enquanto no primeiro houve uma pequena tendência de queda, no segundo houve uma tendência de alta. Portanto, é possível concluir que houve mudança na paisagem em sentido de se aumentar a vegetação nativa dentro da faixa marginal de 150 metros de largura ao longo dos cursos d'água. Enquanto

a classe Formação Florestal em toda a área da bacia hidrográfica houve uma diminuição de 18% (de 601,62 hectares para 490,70 hectares), no *buffer* de 150 metros houve um aumento de 33% (de 183,95 hectares para 244,32). No Gráfico 11 é possível notar que a vegetação natural externa ao *buffer* diminuiu ao longo dos anos enquanto no seu interior aumentou. Enquanto nos primeiros anos analisados a vegetação nativa dentro do *buffer* representava pouco mais de 30% da área da classe Formação Florestal, a partir dos anos 2000, esta classe na bacia está concentrada em cerca de 50% dentro do *buffer*.

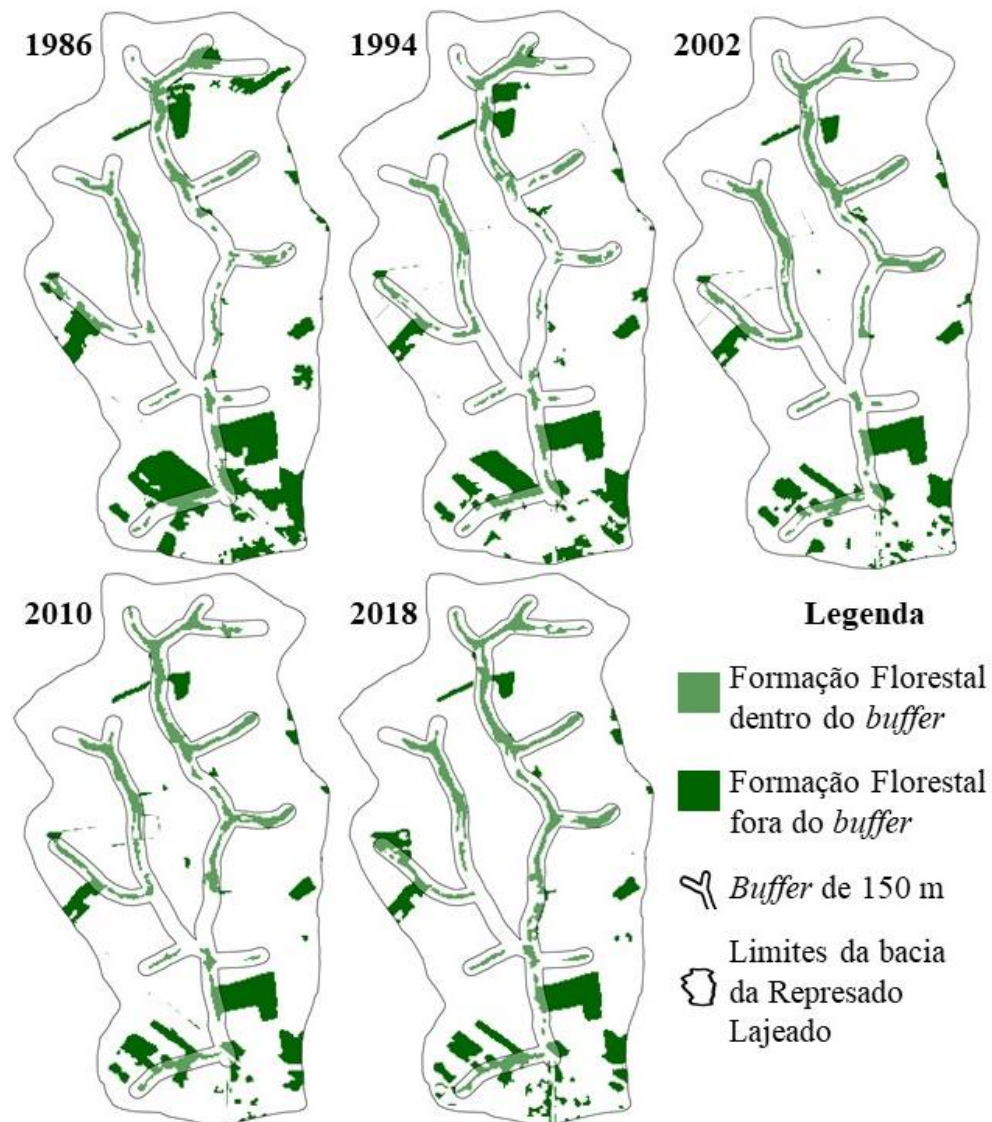
Gráfico 11 - Formação Florestal na bacia e no *buffer* de 150 m



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 13 ilustra como ocorreu a mudança da configuração da classe Formação Florestal na Bacia de Represa do Lajeado dentro e fora do *buffer* de 150 m. É possível notar que houve fragmentos que se perderam enquanto outros tiveram sua área diminuída. Além disso, nota-se um incremento dessa classe dentro das delimitações do *buffer* analisado. Provavelmente, esse incremento se deu por meio de projetos de adequação ambiental ao Código Florestal. Esse tipo de adequação é observado em vários projetos no estado de São Paulo em várias propriedades rurais onde há intenso cultivo de cana relacionado com a expansão da agroindústria sucroalcooleira (BRANCALION e RODRIGUES, 2010).

Figura 13 - Mudança da configuração da classe Formação Florestal dentro e fora do *buffer* de 150 m na Bacia da Represa do Lajeado



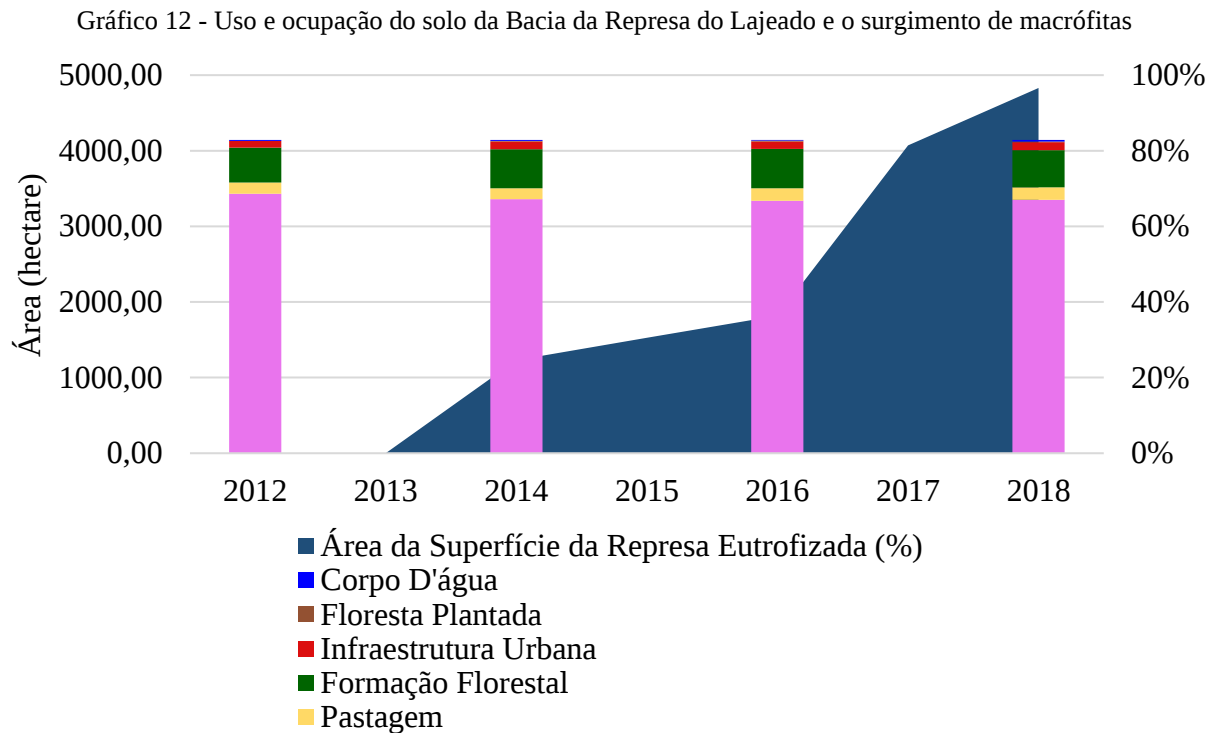
Fontes: elaborado pelo autor.

5.5 COMPARAÇÃO COM A ANÁLISE DA ÁGUA

Resumidamente, as mudanças da paisagem que ocorreram na Bacia da Represa do Lajeado foram: aumento da atividade agrícola, que sempre foi predominante; grande diminuição de áreas de pastagem; aumento da urbanização; e aumento da vegetação nativa ao longo das faixas de 150 metros no entorno dos cursos d'água.

Como essas mudanças podem ter impacto a qualidade da água da Represa do Lajeado? Primeiramente, é importante observar que, de fato, a qualidade da água da Represa do Lajeado está prejudicada, uma vez que houve um grande aumento de macrófitas que tomaram quase a totalidade de sua superfície, como é possível notar pelo Gráfico 12. O surgimento das

macrófitas é mostrado no eixo à direita do gráfico em porcentagem, onde é possível notar que as macrófitas invadem a represa em um curto espaço de tempo. Sendo que nesse mesmo período há poucas mudanças na paisagem (eixo esquerdo do gráfico).

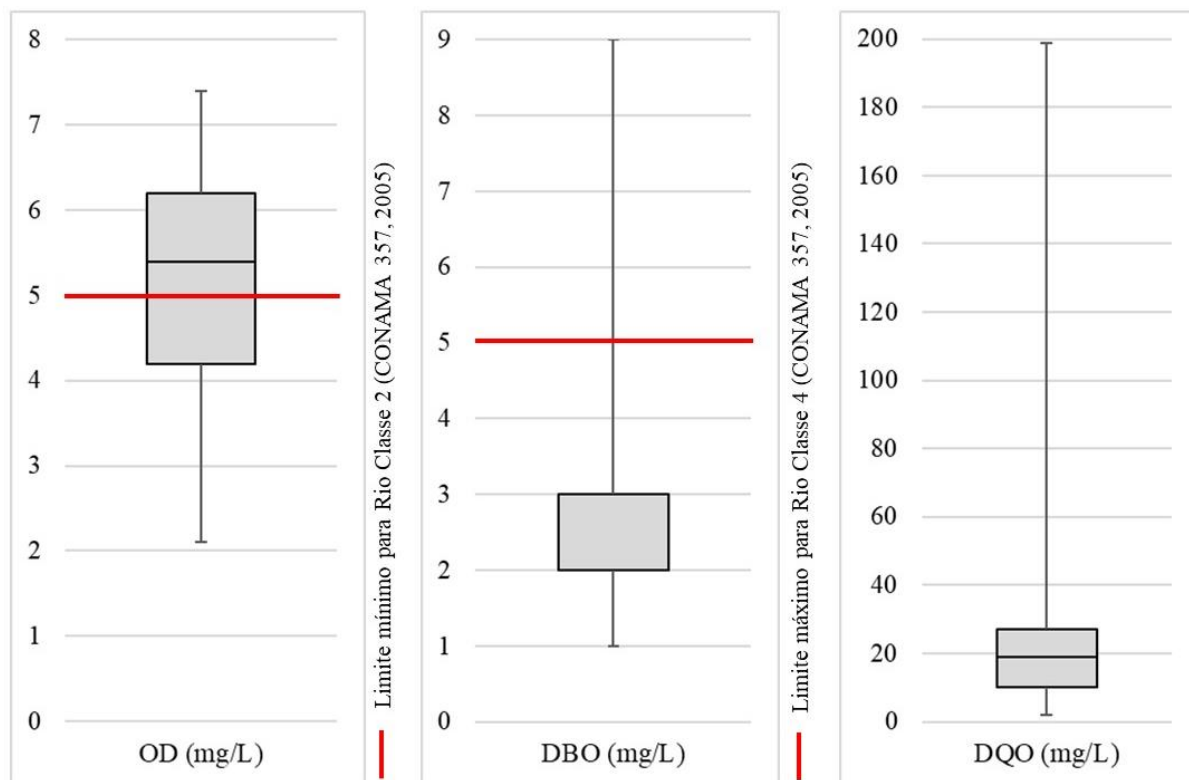


Fonte: elaborado pelo autor.

Essa bioinvasão, que ocorre em um curto período e compromete a qualidade da água, é chamada de eutrofização e é vastamente documentada em rios brasileiros, podendo ter como causa lixiviação de fertilizantes agrícolas, águas pluviais de regiões urbanas, despejo de detergentes, contaminação por resíduos minerários, disposição de efluente doméstico, dentre outros (BARROSO et al., 2013).

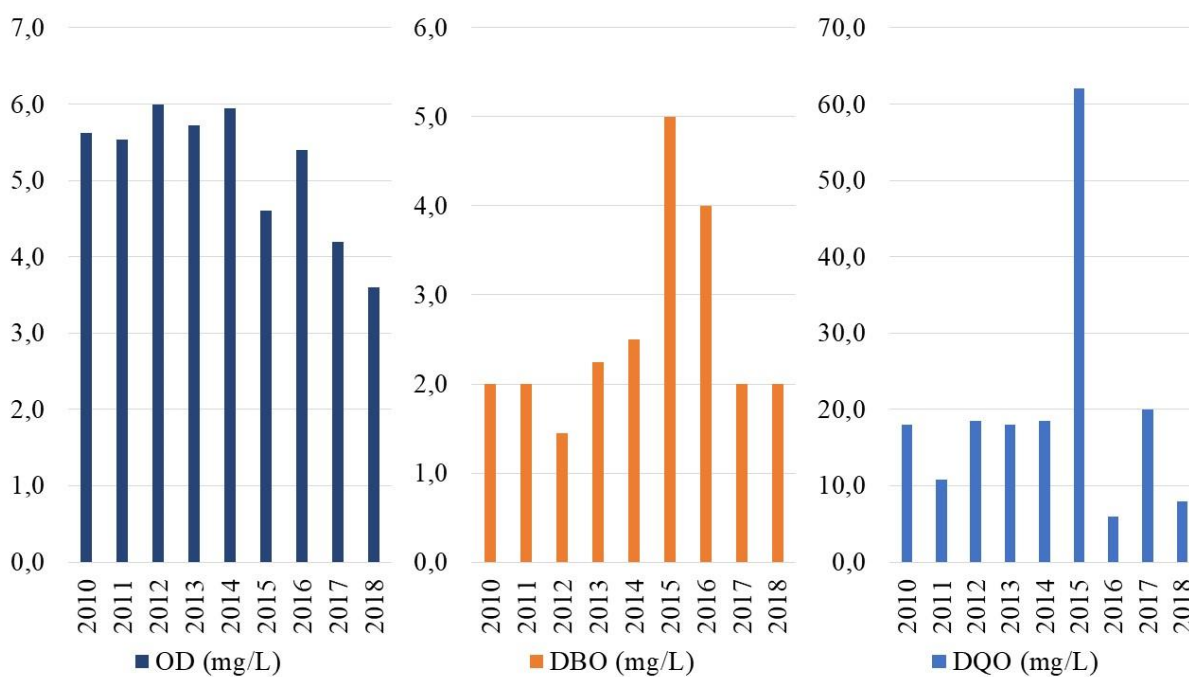
Para compreender como a água da represa sofreu impactos negativos é importante investigar a presença de matéria orgânica em seu meio. Com dados obtidos de OD, DBO e DQO no período entre 2010 e 2018, no exutório da represa, tem-se informações de como se manteve esses parâmetros. O Gráfico 13 mostra diagramas de caixa destes parâmetros e o Gráfico 14 mostra as médias anuais das amostras. Nota-se que houve muitos momentos em que o OD esteve abaixo do limite mínimo de 5,0 mg/L, tendo amostras que chegaram à 2,1 mg/L. Para DBO, houve amostras acima do limite máximo de 5,0 mg/L, chegando a eventos de 9,0 mg/L, indicando eventos extremos e pontuais. Para DQO, observou-se que houve pontos extremos chegando à 199,0 mg/L, mas com a maioria das amostras entre 10,0 e 27,0 mg/L.

Gráfico 13 - Diagramas de caixa dos parâmetros OD, DBO e DQO entre 2010 e 2018



Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 14 - Médias anuais dos parâmetros OD, DBO e DQO entre 2010 e 2018

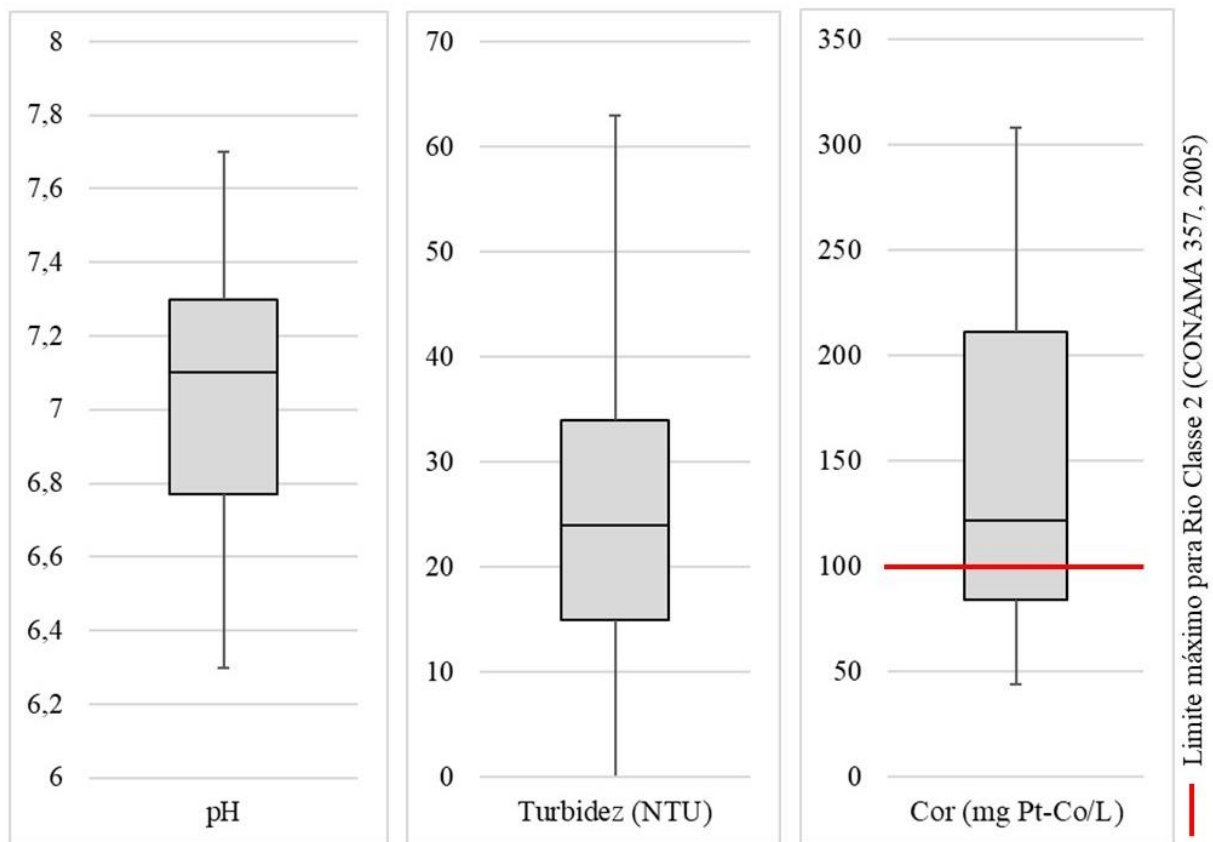


Fonte: elaborado pelo autor.

O ano de 2015 foi atípico, quando houve um grande aumento na concentração de DQO. Segundo Espíndola (2019), é possível que as altas observadas sejam derivadas do aumento da infraestrutura urbana verificada para o período com origem mais provável de lançamento de esgotos. O mesmo aconteceu para DBO, aumentou consideravelmente em 2015. Já a queda do Oxigênio Dissolvido a partir de 2013 provavelmente está mais relacionada com o aumento das macrófitas a partir de 2013, que diminui a radiação solar no interior da represa, diminuindo a fotossíntese.

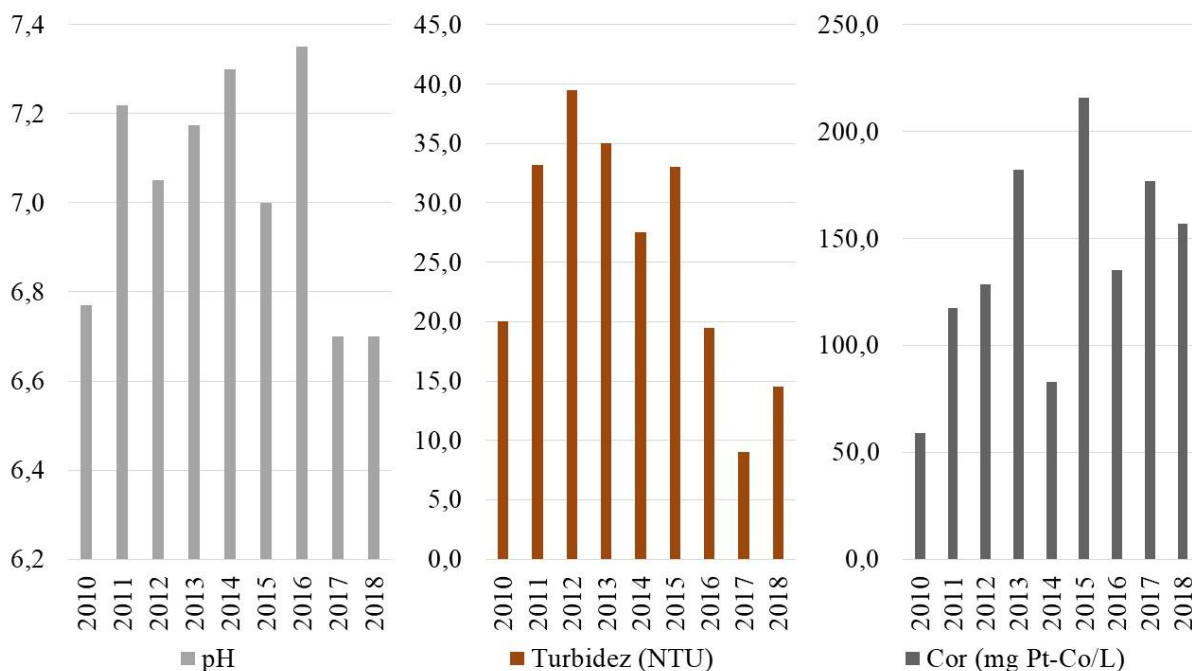
Outros fatores importantes de se analisar em corpos hídricos são o pH, que em ambientes com ausência de oxigênio tende a abaixar conta da geração de ácidos orgânicos, a turbidez, relacionada com a quantidade de material suspenso no meio, e a cor, que pode mudar de acordo com as circunstâncias, como decomposição de material orgânica e presença de esgotos domésticos. O Gráfico 15 mostra como as amostras coletadas entre 2010 e 2018 se comportaram e o Gráfico 16 mostra as médias anuais das amostras.

Gráfico 15 - Diagramas de caixa dos parâmetros pH, Turbidez e Cor entre 2010 e 2018



Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 16 - Médias anuais dos parâmetros pH, Turbidez e Cor entre 2010 e 2018



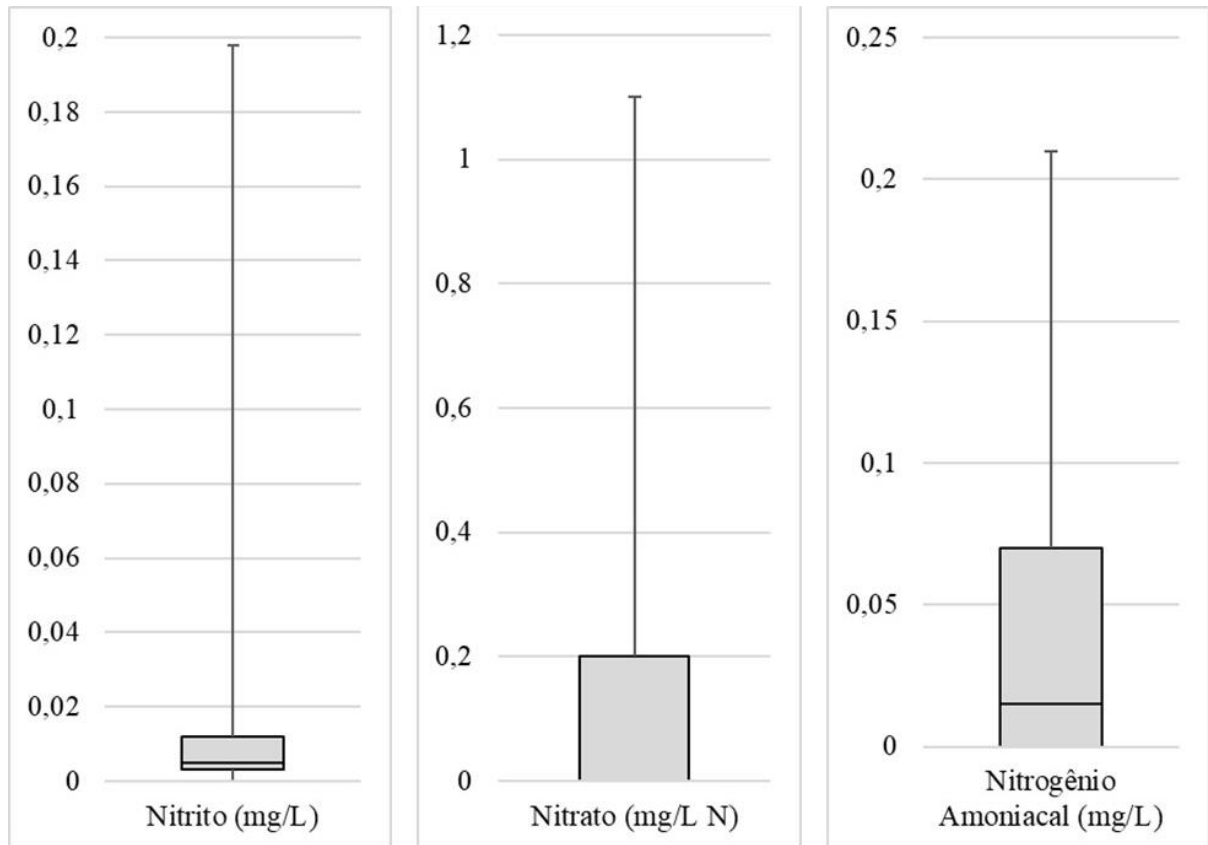
Fonte: elaborado pelo autor.

É possível notar que o pH se manteve próximo do neutro e dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA, entre 6 e 9, mesmo nas amostras extremas. A variação do pH poderia estar relacionada com o aumento da atividade agrícola e a urbanização, possíveis fontes de despejos que podem gerar essa oscilação.

A turbidez da represa apresentou valores concentrados entre 15 e 34 NTU, com extremos chegando a 63 NTU, que ainda é abaixo dos limites do CONAMA. As alterações podem estar relacionadas com o carregamento de sólidos para o interior da represa ocasionada por exposição do solo em áreas de APP e aumento de urbanização. A diminuição da turbidez a partir de 2015 pode estar relacionada com o aumento consolidação das macrófitas na represa, as quais podem promover um clareamento. Já a cor teve grande parte das amostras com valores acima dos limites CONAMA de 100 mg/L de Pt-Co. Seus valores se concentraram entre 84 e 211 mg/L de Pt-Co, chegando a valores máximos de 308 mg/L de Pt-Co. Com relação à esse parâmetro não é possível inferir sobre o uso e ocupação do solo. Segundo Espíndola (2019), a alta de 2015 pode estar relacionada à DQO e DBO verificada para este ano, sendo representada pelas partículas dissolvidas.

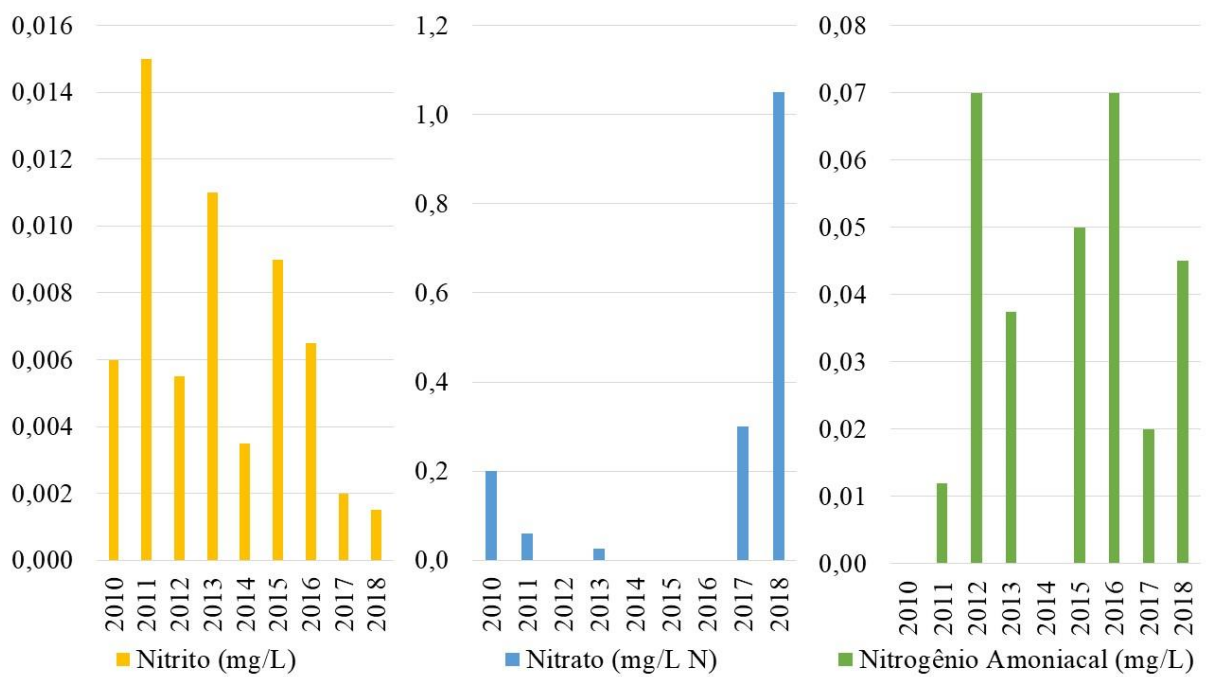
A presença de nitrogênio, nos seus diferentes estágios de oxidação na água, também pode ser indicadora de sua qualidade, já que pode ser oriundo de fontes contaminantes, tanto pontuais quanto difusas. O Gráfico 17, mostra a presença de Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Amoniacal na represa 2010 e 2018 e o Gráfico 18 mostra as médias anuais das amostras.

Gráfico 17 - Diagramas de caixa dos parâmetros Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Amoniacal entre 2010 e 2018



Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 18 - Médias anuais dos parâmetros Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Amoniacal entre 2010 e 2018



Fonte: elaborado pelo autor.

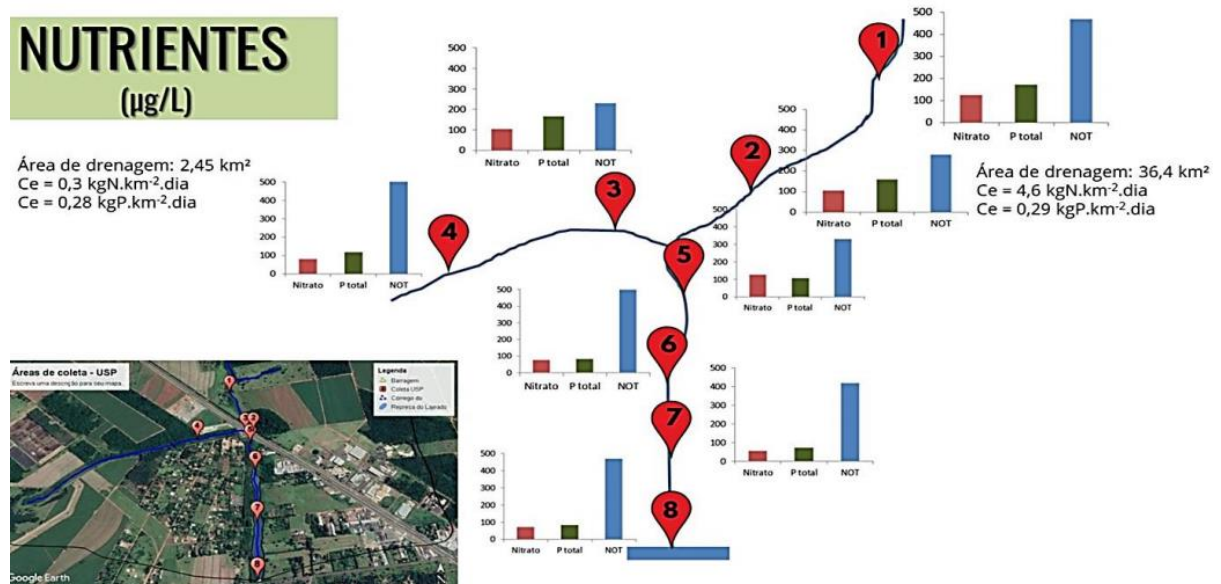
Todos os parâmetros de nitrogênio apresentaram eventos bem extremos, distantes da média, sendo que os valores para Nitrito estão concentrados 0,003 e 0,012 mg/L e chegando à máxima de 0,198 mg/L. Nitrato apresenta valores concentrados entre 0,0 e 0,2 mg/L, chegando à máxima de 1,1 mg/L. Já o Nitrogênio Amoniacal apresentou valores concentrado entre 0,00 e 0,70 mg/L, com a máxima em 0,21 mg/L.

O Nitrogênio Amoniacal é amplamente utilizado como fertilizante e é possível notar que ele apresenta altas em alguns anos, o que poderia estar relacionado com a predominância agrícola da área de drenagem. A área agrícola mudou pouco no período, portanto não é possível apontar correlações diretas. No entanto, o predomínio agrícola na área pode ser fonte de resíduos que alterem os índices da água.

Segundo Espíndola (2019), apesar do Nitrito ser altamente empregado na agricultura como parte da composição de fertilizantes, sua variação não parece estar correlacionada à variação da área agrícola, mas é possível que usos fora do padrão de fertilizantes tenham ocorridos ou lançamento indevido de produto químico. O Nitrato pode ter origem de fontes diretas ou na oxidação dos nitritos, os quais tendem ser rapidamente convertidos para nitrato, logo, seus desvios no gráfico podem estar relacionados ao uso de fertilizantes da atividade agrícola.

Apesar da análise temporal não indicar efeitos das alterações do uso e ocupação do solo na qualidade da água, coleta realizada em maio de 2019, com relação aos nutrientes nitrogenados e fosfatados, a análise espacial demonstra que a presença de fósforo e nitrogênio é maior em amostras à montante do exutório da represa, como mostrado na Figura 14.

Figura 14 - Distribuição espacial das concentrações de Nitrogênio e Fósforo na Represa do Lajeado e afluentes



Fonte: Espíndola (2019).

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com relação às mudanças da paisagem contribuíram para compreender a dinâmica dos parâmetros d'água na Represa o Lajeado e sua eutrofização.

A bacia hidrográfica estudada possui um formato alongado tornando-a menos suscetível a enchentes em condições normais de precipitação, por possuir características de drenagem pobres. Além disso, suas características geomorfológicas mostram que possui um relevo plano ou levemente ondulado em algumas regiões contribuindo para uma drenagem lenta, tornando a velocidade da drenagem uma varável dependente da cobertura do solo e dos níveis de pluviosidade.

O tipo de cultivo no solo (Latosolo Vermelho) da bacia, cana e cítricos em pelo menos 60% da área de drenagem da represa, tende a diminuir sua porosidade em relação à vegetação nativa e, portanto, aumentando o escoamento em direção aos cursos d'água. Esse escoamento pode ter contribuído para o aumento de cargas poluidoras na represa, alterando seu estado trófico, principalmente em anos que foram constatados pluviosidades fora do desvio padrão, como 2007, 2008, 2009, 2015 e 2016. É importante notar que são dois períodos marcados com grande volume pluviométrico. Já o ano de 2010 foi um ano de pluviosidade abaixo do desvio padrão. Apesar de grandes pluviosidades contribuírem para o escoamento de nutrientes e outras fontes de poluição difusa, o período de estiagem em 2010 pode ter contribuído para eutrofização no reservatório, uma vez que o menor fluxo de água em um ambiente lântico pode contribuir para uma maior concentração de nutrientes e matéria orgânica.

Quanto às transformações da paisagem, a área de drenagem da represa (4153 hectares) apresentou as seguintes características:

- a) Aumento da ordem de 35% da área destinada à atividade agrícola (de 2482,95 hectares em 1985 para 3349,96 hectares em 2018), que sempre foi predominante na área em todo o período estudado. As culturas cultivadas, tanto a cana de açúcar, quanto o cultivo de cítricos, podem ser fontes de poluição difusa por meio insumos aplicados, como fertilizantes, vinhaça e agrotóxicos, que são fontes de matéria orgânica e nutrientes.
- b) Diminuição de área de pastagem da ordem de 83% (de 1006,14 hectares em 1985 para 167,62 hectares em 2018). A redução dessas áreas se deu pelo aumento de outras atividades, como a agricultura, loteamentos chácaras e vegetação nativa.

- c) Aumento da urbanização da ordem de 118% (de 47,57 hectares em 1985 para 103,91 hectares em 2018, sendo 33,80 hectares a área da rodovia que cruza a bacia estudada). Apesar da pequena densidade populacional, a infraestrutura urbana pode ter contribuído para a diminuição da permeabilidade do solo e para o surgimento de cargas poluidoras pontuais, como o lançamento de esgotos doméstico, contribuindo para alteração do estado trófico da represa.
- d) Aumento da cobertura de vegetação nativa nas faixas marginais de 150 metros dos córregos e nascentes da ordem de 33% (de 183,95 hectares em 1985 para 244,32 hectares em 2018). Diferente do esperado, tal aumento não foi acompanhado pela manutenção ou melhoria de qualidade da água na represa. Isso pode ter ocorrido por outras mudanças que ocorreram na área, como o aumento do cultivo da cana, diminuição da pastagem e pela urbanização. Portanto, as várias outras modificações da paisagem ocorridas para além da faixa de 150 metros, impossibilitam qualquer inferência direta sobre a cobertura de vegetação nativa dentro das áreas marginais estudadas e a qualidade da água. A atividade agrícola comparada com pastagens é mais propensa para o escoamento de cargas poluidoras. Além disso, a urbanização causa grandes mudanças na dinâmica da drenagem do solo e aumenta a fonte de poluição pontual. É importante ressaltar, contudo, que a vegetação ripária não é dispensável para a região. A revisão bibliográfica evidencia a necessidade de vegetação ripária para a manutenção da qualidade da água, controle de enchentes, preservação da biodiversidade e fornecimento de vários outros serviços ecossistêmicos.

As mudanças da paisagem, juntamente com outras características ambientais, indicam que a distribuição das classes de cobertura do solo pode ter influenciado nos parâmetros da água da represa do Lajeado. No entanto, as causas da eutrofização da represa podem ter influência de outros fatores. Para este trabalho, os parâmetros da água analisados foram de amostras coletadas no exutório da represa. Para melhor inferir sobre os aspectos da distribuição geográfica das classes de uso e ocupação do solo, seriam necessários amostras temporais de outros pontos dentro da bacia.

É importante ressaltar que várias outras fontes de poluição podem ter gerado impactos ambientes. Tais fontes podem ser desconhecidas, oriundas de eventos pontuais. Por exemplo, a rodovia que corta o córrego que abastece a represa pode ser fonte de óleos combustíveis de vazamentos ou acidentes de automóveis, despejos desconhecidos e material particulado vindo do trânsito de veículos, uma vez que além da topografia, há vertedouros na margem da rodovia

que direcionam o fluxo d'água em direção a represa. Além disso, podem ter ocorrido lançamentos pontuais de empresas que se encontram na bacia e problemas nas estações elevatórias presentes próximas à represa.

A fonte de dados de uso e ocupação do solo da bacia, o Mapbiomas, foi fundamental para este trabalho, uma vez que ela disponibiliza uma base de dados gratuita e multitemporal da cobertura do solo brasileiro. Essa plataforma tem se mostrado de grande valor para estudos do tipo. Apesar disso, para este trabalho, foi necessário fazer várias correções, uma vez que o Mapbiomas fornece arquivos em *raster* onde os pixels equivalem à 900 m² (30 por 30 metros) cada um, podendo aumentar os erros da análise, dependendo da escala de estudo. Além disso o Mapbiomas, para o bioma Cerrado possui uma acurácia geral de classificação da ordem de 75%. Por esses motivos, foi necessário a reclassificação de algumas áreas que não correspondiam à classe presente no solo com o apoio de imagens de satélite de alta resolução.

7 RECOMENDAÇÕES FUTURAS

O ordenamento territorial é um mecanismo muito importante do poder público. Por meio dele é possível tornar os usos e ocupações do solo mais inteligentes e sustentáveis. Com isso, melhora-se o bem-estar da população e garante o mesmo para gerações futuras. Portanto, o planejamento deve ser feito buscando, dentre outros aspectos, a qualidade ambiental para que os serviços ecossistêmicos sejam preservados e a população possa, por exemplo, fazer uso de água de qualidade para abastecimento, recreação, cultivos agrícolas e muitos outros.

A eutrofização na Represa do Lajeado foi um evento que gerou, além dos impactos ambientais, danos socioeconômicos relevantes, já que além da perda de uso da represa, houve um processo judicial e de gestão da retirada das macrófitas que despendeu tempo e recursos. Nesse contexto, e a partir das análises da transformação da paisagem na Bacia da Represa do Lajeado, é possível indicar algumas recomendações que visem contribuir para o planejamento dos usos e ocupações do solo com o objetivo de melhorar a qualidade da água da Represa do Lajeado e, dessa forma, buscar evitar que episódios de eutrofização aconteçam mais vezes.

Tendo em vista a configuração da paisagem mais recente deste trabalho, o mapa de 2018, é possível fazer as seguintes indicações para trabalhos futuros:

- a) Fragmentação: a classe Formação Florestal, no ano de 2018, possuía 110 fragmentos na área de drenagem da bacia, sendo os maiores com área de 89 hectares (vegetação ripária ao mais ao norte), 71 hectares (fragmento ao norte da represa e próximo à rodovia, sendo que a borda à oeste margeia um curso d'água), 52 hectares (fragmento mais à oeste da bacia que também margeia nascentes e cursos d'água) e 47 hectares (fragmento à leste da represa e com seu norte às margens da rodovia). Apesar disso, a maioria dos fragmentos são menores e podem sofrer com efeito de borda e ter seus serviços ecossistêmicos (preservação da biodiversidade, absorção de matéria orgânica e nutrientes, e prevenção de processos erosivos, etc.) prejudicados. É importante manter os fragmentos já existentes (independentemente do tamanho), caracterizá-los para identificar a importância relativa de cada um para a conservação de diferentes espécies animais e vegetais na paisagem e, a partir de tais informações, estudar alternativas para manejá-los (minimizando impactos antrópicos sobre os mesmos), ampliá-los (reduzindo o efeito de borda) e conectá-los. Especial atenção deve ser dada às áreas de preservação

permanente às margens dos córregos e nascentes, que devem ser prioritárias para ações de recuperação

- b) Rodovia: essa infraestrutura urbana presente na bacia estudada pode ter impacto significativo na Represa do Lajeado. Isso acontece porque cruza um curso d'água no ponto de encontro com a represa e seus tributários, possui canais de drenagens pluvial às margens da rodovia e trata-se de uma importante via, que possui aproximadamente 62 metros de largura e de grande tráfego de vários tipos de automóveis. Os canais que drenam a água pluvial da via podem contribuir para um direcionamento de poluentes oriundos de automóveis e das empresas presentes às margens da rodovia à Represa do Lajeado. Assim, recomenda-se uma melhor investigação do fluxo de direção d'água na região da rodovia. Caso constatado correlação entre esses canais e fluxo d'água em direção à represa, e se decida tomar alguma providência de implementação mudanças dos canais de drenagem recomenda-se que evite um direcionamento concentrado à um ponto da represa. Ao invés disso, busque-se direcionar de maneira mais difusa às zonas que amortecem os impactos ambientais, como áreas de vegetação nativa.
- c) Esgotos domésticos: esse fator está relacionado com o aumento da urbanização na área de drenagem da bacia, que ocorreu próximo à represa e próximo à rodovia. Por ser uma fonte pontual de poluição, é importante se investigar possíveis extravasamentos e lançamentos irregulares. Essa fonte de poluição pode ter um sério dano à qualidade da água.
- d) Drenagem na região urbana: áreas com infraestrutura urbana possuem um solo mais impermeabilizado, podendo aumentar o escoamento superficial em direção à represa. Além disso, este escoamento está mais propício ao carregamento de fontes poluentes que podem impactar os recursos hídricos. Portanto, é importante investigar como ocorre o escoamento d'água na área com infraestrutura urbana e chácaras. Caso seja constatado um direcionamento da água muito concentrado em direção à represa em períodos de chuva, pode-se tomar medidas mitigadoras de impacto ambiental. É possível implementar infraestruturas que conduzam a drenagem para outras regiões da bacia de maneira mais dispersa, ou que induzam a infiltração.
- e) Empresas que estão na bacia: podem ser fontes de poluição por meio de seus efluentes, resíduos e da drenagem da área que ocupam, por exemplo a drenagem de seus estacionamentos. Assim, é importante se investigar possíveis irregularidades no lançamento de efluentes e conhecer como se comporta o escoamento da água pluvial na área que ocupam. Logo, é possível sugerir medidas que mitiguem impactos por meio de

infraestruturas de drenagem e adequação de sistemas de tratamento de efluentes, caso seja necessário.

Este trabalho pode contribuir por meio das indicações dos mapas com relação a questões como fragmentação, vegetação ripária, infraestrutura urbana, agricultura e seus impactos associados. Assim, para se definir as zonas de recuperação deve-se priorizar: (1) manutenção das Áreas de Preservação Permanente (30 metros de vegetação nativa da margens dos cursos d'água e 50 metros para nascentes); (2) diminuição do número de fragmentos por meio da união dos mesmos; e (3) considerar o impacto da cobertura do solo como fator de ordem de prioridade para se criar uma zona de vegetação nativa com o objetivo que ela tenha um efeito amortecedor dos impactos ambientais, lembrando que, no geral, os impactos são maiores em áreas urbanizadas, regiões agrícolas e pastagem, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULSLAM, D.; ABULIZI, A.; AHAT, A.; HALIK, W.; LUO, J.; MAMAT, Z.; XU, Z.; YANG, Y.; ZAYITI, A. Land-use change and its effects in Charchan Oasis, Xinjiang, China. **Land Degrad. Dev.** v. 28, p. 106-115, 2017.

ABESSA, D. M. S.; ARAUJO, G. S.; CAMPOS, B. G.; CRUZ, A. C. F.; GUSSO-CHOUERI, P. Levels of Metals and Toxicity in Sediments from a Ramsar Site Influenced by Former Mining Activities. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 171, p. 162–72, abr 2019.

ACUÑA, V.; BOITHIAS, L.; ZIV, G.; MARCÉ, R.; SABATER, S.; VERGOÑÓS, L. Assessment of the water supply: demand ratios in a Mediterranean basin under different global change scenarios and mitigation alternatives, **Sci. Total Environ.** v. 470, p. 567-577, Fev 2014.

ADAMI, M.; MENDES, F de S.; AGUIAR, D.A.; SALGADO, M. P. G.; RUDORFF, B.F. T, Mudança do uso da terra devido à expansão da cana-de-açúcar em São Paulo de 2005 a 2011. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO–SBSR, Foz do Iguaçu/PR, INPE. **Anais...**, Foz do Iguaçu: INPE, 2013.

ALGHORANI, Y.; DELANEY, D. T.; N. U. OKAFORA. Improving Data Quality of Low-Cost IoT Sensors in Environmental Monitoring Networks Using Data Fusion and Machine Learning Approach. **ICT Express**, vol. 6, no 3, p. 220–28, 2020.

ALVES, C. B. M.; CALLISTO, M.; ELLER, A. P.; FEIO, M. J.; FERREIRA, W. R.; FRANÇA, J. S.; MACEDO, D. R. Defining and testing targets for the recovery of tropical streams based on macroinvertebrate communities and abiotic conditions. **River Res. Appl.** v. 31, p. 70–84, 2015.

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Rev. Bras. Ciênc. Solo.** v. 28, n. 2, Viçosa, Mar 2004.

ARONSON, J.; BRANCALION, P. H. S.; GONÇALVES, H.; REROLLE, J.; PEREIRA P. H.; RICHARDS, R. C. Governing a pioneer program on payment for watershed services: stakeholder involvement, legal frameworks and early lessons from the Atlantic forest of Brazil. **Ecosyst. Serv.** v. 16, p. 23-32, 2015.

BALLESTER, M. V. R.; DEEGAN, L. A.; HAUPERT, C. L.; KRUSCHE, A. V.; MOOR, E.; NEILL, C.; THOMAS, S. M.; VICTORIA, R. L. Amazon Deforestation Alters Small Stream Structure, Nitrogen Biogeochemistry and Connectivity to Larger Rivers. **Biogeochemistry**, v. 105, n. 1, p. 53–74, set 2011.

BARRETO, L. V.; BARROS, F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S. Eutrofização Em Rios Brasileiros. **Centro Científico Conhecer** - Goiânia, v.9, n.16; p. 2165, 2013.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação.** Florianópolis: UFSC. 112 p., 1994.

BENNETT, E. M.; BIGGS, R.; CARPENTER, S. R.; CORNELL, S. E.; FETZER, I.; FOLKE, C.; GERTEN, D.; HEINKE, J.; MACE, G. M.; PERSSON, L. M.; RAMANATHAN, V.; REYERS, B.; RICHARDSON, K.; ROCKSTRÖM, J.; SÖRLIN, S.; STEFFEN, W.; VRIES, W.; WIT, C. A. Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet. **Science**, v. 347, n. 6223, fev 2015.

BI, Z.; LI, P.; LI, Z.; QIN, Y.; SHI, P.; SONG, J.; WANG, Y.; ZHANG, X.; ZHANG, X.; ZHANG, Y.; ZHU, T. Response of Nitrogen Pollution in Surface Water to Land Use and Social-Economic Factors in the Weihe River Watershed, Northwest China. **Sustainable Cities and Society**. v. 50, 101658, out de 2019.

BRANCALION, P. H. S.; GARCIA, L. C.; LOYOLA, R.; RODRIGUES, R. R.; PILLAR, V. D.; T. M. LEWINSOHN. A critical analysis of the Native Vegetation Protection Law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. **Natureza & Conservação**, v. 14, p. 1–15, abr 2016.

BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R. Implicações do cumprimento do Código Florestal vigente na redução de áreas agrícolas: um estudo de caso da produção canavieira no Estado de São Paulo. **Biota Neotrop.** v.10, n.4, Campinas, dez. 2010.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá Outras Providências. Brasília: Diário Oficial da União de 9 de janeiro de 1997.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 357, 25 de Março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 27 p.

BROEK, M. V.; CAMARGO, P. B.; GOMES, T. F.; GOVERS, G.; MARTINELLI, L. A.; MAZZI, E. A.; MORAES, J. M.; SILVA, R. W. C.; Runoff, Soil Loss, and Sources of Particulate Organic Carbon Delivered to Streams by Sugarcane and Riparian Areas: An Isotopic Approach. **CATENA**, v. 181, out 2019.

CALDARELLI, C. E.; GILIO, L. Expansion of the Sugarcane Industry and Its Effects on Land Use in São Paulo: Analysis from 2000 through 2015. **Land Use Policy**, v. 76, p. 264–74, jul 2018.

CAMARA, M. R. G.; CALDARELLI, C. E. Expansão canavieira e o uso da terra no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 88, p. 93–116, dez 2016.

CARDOSO, A. A.; ROCHA, J. C.; ROSA, A. H. **Introdução à Química Ambiental**. 2^a edição, Porto Alegre: Editora Artmed, 256 p, 2009.

CLÉMENT, F.; RUIZ, J; RODRÍGUEZ, M. A.; BLAIS, D.; CAMPEAU, S. Landscape Diversity and Forest Edge Density Regulate Stream Water Quality in Agricultural Catchments. **Ecological Indicators**, v. 72, p. 627–39, jan 2017.

COLADELLO, L. F.; GALO, M. L. B. T.; SHIMABUKURO, M. H.; IVÁNOVÁ, I.; AWANGE, J. Macrophytes' Abundance Changes in Eutrophicated Tropical Reservoirs Exemplified by Salto Grande (Brazil): Trends and Temporal Analysis Exploiting Landsat Remotely Sensed Data. **Applied Geography**, v. 121, ago 2020.

COOPER, A. B. Nitrate Depletion in the Riparian Zone and Stream Channel of a Small Headwater Catchment. **Hydrobiologia**, v. 202, n. 1, p. 13–26, ago 1990.

COSTA, C. W.; LOLLO, J. A.; LORANDI, R; SANTOS, V. S. Potential for Aquifer Contamination of Anthropogenic Activity in the Recharge Area of the Guarani Aquifer System, Southeast of Brazil. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 8, p. 10–23, abri 2019.

COTTINGHAM, P. D.; FEMINELLA, J. W.; GROFFMAN, P. M.; MORGAN, R. P.; ROY, A. H.; WALSH, C. J. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. **Journal of the North American Benthological Society**. v. 24, p. 706–23, set 2005.

CROUCH, T.D.; HALL, J.S; OGDEN, F.L.; STALLARD, R. F.; Effect of land cover and use on dry season river runoff, runoff efficiency, and peak storm runoff in the seasonal tropics of Central Panama. **Water Resour. Res.** v. 49, p. 8443–8462, 2013.

CUNHA, D. G. F.; DODDS, W. K.; SABOGAL-PAZ, L. P. Land Use Influence on Raw Surface Water Quality and Treatment Costs for Drinking Supply in São Paulo State (Brazil). **Ecological Engineering**, v. 94, p. 516–24, set 2016.

CUNHA, D. G. F.; MAGRI, R. A. F.; TROMBONI, F.; RANIERI, V. E. L.; FENDRICH, A. N.; CAMPANHÃO, L. M. B.; RIVEROS, E. V.; VELÁZQUEZ, J. A. Landscape Patterns Influence Nutrient Concentrations in Aquatic Systems: Citizen Science Data from Brazil and Mexico. **Freshwater Science**, v. 38, n. 2, jun 2019, p. 365–78.

CUNHA, D. G. F.; GRULL, D.; DAMATO, M.; BLUM, J. R. C.; LUTTI, J. E. I.; EIGER, S.; MANCUSO, P. C. S. Trophic state evolution in a subtropical reservoir over 34 years in response to different management procedures. **Water Sci. Technol.**, v. 64, p. 2338-2344, 2011.

DAEE (Brasil). **Banco de Dados Hidrológicos**. 2020. Disponível em: <http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>. Acesso em: 10 out. 2020.

DILLAHA, T. A.; SHERRARD, J. H.; LEE, D. Long-term effectiveness and maintenance of vegetative filter strips. **Bulletin**. n. 153, dez 1986.

DILLON, P. J.; FUTTER, M. N.; MOLOT, L. A.; ONI, S. K. Adjacent catchments with similar patterns of land use and climate have markedly different dissolved organic carbon concentration and runoff dynamics. **Hydrol. Process**. v. 28, p. 1436-1449, 2014.

DING, J.; JIANG, Y.; LIU, Q.; HOU, Z.; LIAO, J.; FU, L.; PENG, Q. Influences of the Land Use Pattern on Water Quality in Low-Order Streams of the Dongjiang River Basin, China: A Multi-Scale Analysis. **Science of The Total Environment**, v. 551–552, p. 205–16, mai 2016.

ESPÍNDOLA, Evaldo (org.). *Análise das Causas da Proliferação de Macrófitas Aquáticas na Represa do Lajeado (Araraquara/SP), dos Impactos Associados e das Alternativas de Manejo*. São Carlos: EESC-USP, 2019.

FULTON, W.; PENDALL, R.; NGUYEN, M.; HARRISON, A. Who Sprawls Most?: How Growth Patterns Differ across the US. **Brookings Institution**, Center on Urban and Metropolitan Policy, Washington, DC, 2001.

GILIO, L. **Análise dos impactos socioeconômicos da expansão do setor sucroenergético**. Piracicaba, 2015. 86p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2015.

HELMERS, D. P.; LAWLER, J. J.; LEWIS, D. J.; MARTINUZZI, S.; NELSON, E.; PLANTINGA, A. J.; PENNINGTON, D.; POLASKY, S.; RADELOFF, V. C.; WITHEY, J. C. Projected land-use change impacts on ecosystem services in the United States. **Proc. Natl. Acad. Sci.** v. 111, n. 20, p. 7492-7497, 2014.

HERNANDES, T. A. D.; SCARPARE, F. V.; SEABRA, J. E. A. Assessment of Impacts on Basin Stream Flow Derived from Medium-Term Sugarcane Expansion Scenarios in Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 259, p. 11–18, mai 2018.

HUGHES, R. M.; LEAL, C. G.; MACEDO, D. R.; MELLO, K.; PAULA, F. R.; RANDHIR, T. O.; RODRIGUES, C. B.; TANIWAKI, R. H.; VALENTE, R. A. Multiscale Land Use Impacts on Water Quality: Assessment, Planning, and Future Perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 270, p. 110879, set 2020.

IBGE. **Censo 2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 jun. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil - LSPA**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/lspa/tabelas>. Acesso em: 16 abr. 2020.

IBGE (Brasil). **Portal do IBGE**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 out. 2020.

KAR, G.; KUMAR, A.; SINGH, R. Spatial Distribution of Soil Hydro-Physical Properties and Morphometric Analysis of a Rainfed Watershed as a Tool for Sustainable Land Use Planning. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 10, p. 1449–59, out 2009.

KHAN, I.; ZHAO, M. Water resource management and public preferences for water ecosystem services: A choice experiment approach for inland river basin management **Sci. Total Environ.**, v. 646, p. 821-831, Jul 2018.

LEE, S.; HWANG, S.; LEE S.; HWANG, H.; SUNG H. Landscape Ecological Approach to the Relationships of Land Use Patterns in Watersheds to Water Quality Characteristics.

Landscape and Urban Planning, v. 92, n. 2, p. 80–89, set 2009.

LI, C; LI, S; ZHONG, J; XU, S. Spatial Scale Effects of the Variable Relationships between Landscape Pattern and Water Quality: Example from an Agricultural Karst River Basin, Southwestern China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 300, set 2020

LIBOS, M. I. P. C; ROTUNNO, O. F; ZEILHOFER, P. Modelagem da poluição não pontual na bacia do rio Cuiabá baseada em Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 8, n. 4, p. 113 -135, 2003.

LIMA, W. P. A silvicultura e a água: ciência, dogmas, desafios. **Cadernos do Diálogo**, Rio de Janeiro, 64 p., v. 01, 2010.

LIMA, W. P.; FERRAZ, S. F. B.; FERRAZ, K. M. P. M. B. Interações Bióticas e Abióticas na Paisagem: Uma Perspectiva Eco-hidrológica. In: CALIJURI, Mario do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes (org.). **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. São Carlos: Elsevier. p. 47-74, 2013.

MARTINELLI, L. A.; MOUTINHO, P; NAYLOR, R.; VITOUSEK, P. M. Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. v. 2, 431–438, dez 2010.

METZGER, J.P.; GOLDENBERG, R.; BERNACCI, L. C. Diversidade e estrutura de fragmentos de mata de várzea e de mata mesófila semidecídua submontana do rio Jacaré-Pepira (SP). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 21, n. 3, São Paulo, dez 1998.

METZGER, J. P. O Código Florestal tem base científica? **Natureza e Conservação**, v. 8, n. 1, p. 92 -99, 2010.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Millennium Ecosystem Assessment Ecosystems and human well-being: Synthesis, v. 1, p. 917, 2005.

MOUSSA, R. On Morphometric Properties of Basins, Scale Effects and Hydrological Response. **Hydrological Processes**, v. 17, n. 1, p. 33–58, 2003.

MUSCUTT, A. D.; HARRIS, G. L.; BAILEY, S. W.; DAVIES D. B. Buffer zones to improve water quality: a review of their potential use in UK agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 45, p. 59-77, 1993.

NAKANO, T.; TAYASU, I.; YAMADA, Y.; HOSONO, T.; IGETA, A.; HYODO, F.; ANDO, A.; SAITOH Y.; TANAKA, T.; WADAD, E.; YACHIA, S. Effect of Agriculture on Water Quality of Lake Biwa Tributaries, Japan. **Science of The Total Environment**, v. 389, n. 1, jan 2008.

NOVOTNY, V. Diffuse Pollution from Agriculture - A Worldwide Outlook. **Water Science and Technology**, v. 39, n. 3, p. 1–13, jan 1999.

OLIVEIRA, P. T. S.; ALVES SOBRINHO, T.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 819 -825, 2010.

ORZETTI, L. L.; JONES, R. C.; MURPHY, R. F. Stream Condition in Piedmont Streams with Restored Riparian Buffers in the Chesapeake Bay Watershed. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 46, n. 3, p. 473–85, 2010.

PETERJOHN, W. T.; CORRELL, D. L. Nutrient Dynamics in an Agricultural Watershed: Observations on the Role of A Riparian Forest. **Ecology**, v. 65, n. 5, p. 1466–75, 1984.

PIERINI, C. R.; FALCOSKI, L. A. N. A Evolução Urbana do Município de Araraquara (SP): Uma Crítica Ao Espraçamento. **Revista Húmus**, v. 9, n. 26, set 2019.

PINAY, G.; DECAMPS, H. The Role of Riparian Woods in Regulating Nitrogen Fluxes between the Alluvial Aquifer and Surface Water: A Conceptual Model. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 2, n. 4, p. 507–16, 1988.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

Projeto MapBiomass. **Coleção 4.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 01 abr. 2020.

ROCHA JUNIOR, C. A. N.; COSTA, M. R. A.; MENEZES, R. F.; ATTAYDE, J. L.; BECKER, V. Water volume reduction increases eutrophication risk in tropical semi-arid reservoirs. **Acta Limnol. Bras.** v. 30, n. 106, abr 2018.

RODRIGUES, D. B. B.; MENDIONDO, E. M. Bacias Hidrográficas: caracterização e manejo sustentável. In: CALIJURI, Mario do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes (org.). **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. São Carlos: Elsevier, 2013. p. 47-74. SEADE. **Coleção - Anuário Estatístico do Estado de São Paulo**. Disponível em: <https://bibliotecadigital.seade.gov.br/>. Acesso em: 20 jul. 2020

SHIKIDA, P. F. A.; AZEVEDO, P. F.; VIAN, C. E. F. Desafios da agroindústria canavieira no Brasil pós-desregulamentação: uma análise das capacidades tecnológicas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 49, p. 599-628, 2011.

SOUZA, A. L. T.; FONSECA, D. G.; LIBÓRIO, R. A.; TANAKA, M. O. Influence of Riparian Vegetation and Forest Structure on the Water Quality of Rural Low-Order Streams in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 298, p. 12–18, jun 2013.

SPAROVEK, G.; RANIERI, S. B.L.; GASSNER, A.; MARIA, I. C.; SCHNUG, E.; SANTOS, R. F.; JOUBERT, A. A Conceptual Framework for the Definition of the Optimal Width of Riparian Forests. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 90, n. 2, p. 169–75, jul 2002.

STRAHLER, A. N. Quantitative analyses of watershed geomorphology. **Transactions of American Geophysical Union**, Washington, DC, v. 38, n.6, p. 913-920, 1957.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, 2003. v. 30, n. 5, p. 849-857.

TUBELIS, D. P.; COWLING, A.; DONNELLY, C. Landscape Supplementation in Adjacent Savannas and Its Implications for the Design of Corridors for Forest Birds in the Central Cerrado, Brazil. **Biological Conservation**, v. 118, n. 3, p. 353–64, jul 2004.

VERMA, V. K.; SINGHA, S.; BHARDWAJA, A. Remote Sensing and GIS Based Analysis of Temporal Land Use/Land Cover and Water Quality Changes in Harike Wetland Ecosystem, Punjab, India. **Journal of Environmental Management**, v. 262, mai 2020.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1975.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 3ª edição, Belo Horizonte: Editora UFMG, 452 p, 2005.

VOUGHT, L. B. M.; DAHL, J.; PEDERSEN, C. L.; LACOURSIÈRE, J. O. Nutrient Retention in Riparian Ecotones. **Ambio**, v. 23, n. 6, p. 342–48, 1994.

WANGA, M.; DUAN, L.; WANG, J.; PENG, J.; ZHENG, B. Determining the Width of Lake Riparian Buffer Zones for Improving Water Quality Base on Adjustment of Land Use Structure. **Ecological Engineering**, v. 158, dez 2020.

WU, M. Y.; XUE, L.; JIN, W. B.; XIONG, Q. X.; AI, T. C.; LI, B. L. Modelling the Linkage Between Landscape Metrics and Water Quality Indices of Hydrological Units in Sihui Basin, Hubei Province, China: An Allometric Model. **Procedia Environmental Sciences**, v. 13, p. 2131–45, jan 2012.