



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

EMANUELE RUYZ PEDRACI

**ASPECTOS CLIMÁTICOS, HIDROLÓGICO E USO DA TERRA NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO CAFEZAL - PR**

Londrina
2023

EMANUELE RUYZ PEDRACI

**ASPECTOS CLIMÁTICOS, HIDROLÓGICO E USO DA TERRA NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO CAFEZAL - PR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Geografia, da
Universidade Estadual de Londrina - UEL, para
a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Moreira dos
Santos

Londrina
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Pedraci, Emanuele.

ASPECTOS CLIMÁTICOS, HIDROLÓGICO E USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO CAFEZAL - PR / Emanuele Pedraci. - Londrina, 2023.
91 f.

Orientador: Maurício Moreira dos Santos.

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2023.
Inclui bibliografia.

1. Geografia - Tese. 2. Hidrologia - Tese. 3. Climatologia - Tese. I. Moreira dos Santos, Maurício. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU 91

EMANUELE RUYZ PEDRACI

**ASPECTOS CLIMÁTICOS, HIDROLÓGICO E USO DA
TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO
CAFEZAL - PR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Geografia,
da Universidade Estadual de Londrina -
UEL, para a obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marciel Lohmann

Prof. Dra. Leila Limberger

Londrina, 11 de fevereiro de 2023.

A Adriana, Marcos, Augusto e Vitor, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, que em minhas orações, encontrava paz para poder seguir adiante.

Agradeço a toda minha família, mas principalmente aos meus pais Marcos e Adriana, que me auxiliaram não só financeiramente, mas com todo afeto, carinho e compreensão, pelo apoio e base que sempre me mantiveram firme. Ao meu irmão Augusto e minha avó Lourdes, pelo apoio e carinho.

Ao meu namorado Vitor, por estar comigo e me apoiar, pela ajuda nos cálculos necessários para este trabalho. Pelo amor e paciência em momentos que pensei em desistir, meu muito obrigado!

Aos meus amigos Carla, Bruno, Paulo, Wichelly, Luana e Maycon, pelo apoio e auxílio na vida acadêmica, nos desabafos, pela amizade de sempre.

A Carolina e Francisco, que foram fundamentais no meu crescimento profissional, enquanto estive em estágios. Ao Fernando, pela oportunidade do meu primeiro emprego na área em que me formei, pelos ensinamentos sobre geoprocessamento, pela ajuda e explicação de como criar os mapas para este trabalho. A eles, que foram compreensivos em minhas ausências para dedicação ao processo de pós-graduação, meu muito obrigado!

Aos membros da banca, que aceitaram o convite para participarem deste processo, trazendo contribuições valiosas para este trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos, pela compreensão da minha realidade, por aceitar este desafio comigo, por toda paciência e dedicação.

[...] fazer com que o meio ambiente seja mais limpo, mais puro e preservado. E cuidar da natureza, a fim de que ela cuide de nós".

Papa Francisco

RESUMO

A preservação dos recursos naturais do planeta é dever de toda comunidade, bem como o uso sustentável da água, pois é um bem comum e componente fundamental para a vida. Neste sentido, pesquisas científicas que envolvem o aprofundamento do conhecimento sobre a dinâmica da água em bacias hidrográficas se tornam fundamentais para a gestão e sustentabilidade desse recurso. Partindo desta premissa, este trabalho apresenta estudos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, localizada na região de Londrina, no norte do estado do Paraná, percorre no sentido de oeste a leste 4 importantes municípios. Esta pesquisa utilizou-se de levantamentos de dados secundários e aplicação de métodos para análise de relações socioespaciais e variáveis naturais pertencentes a dinâmica climática e hidrológica regional. O presente trabalho está dividido em dois artigos. O primeiro intitulado: “Variação na vazão fluvial e a interferência do El Niño e La Niña: um breve estudo sobre a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal” tem como objetivo análise da variação temporal das vazões fluviais da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal e como os fenômenos climáticos podem afetar a evolução da fluviometria neste sistema. Os estudos hidrológicos associados ao clima são fundamentais para a compreensão sistêmica de uma bacia hidrográfica. O segundo, intitulado: “O uso e ocupação do solo e seu impacto sobre a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal”, tem por objetivo abordar os processos antrópicos de uso do solo e a cobertura de vegetação e suas influências na dinâmica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal. Os resultados desses estudos podem contribuir para formulação de novas políticas públicas e ações de planejamento sobre a bacia estudada que devem ser elaboradas por prefeituras municipais, iniciativa privada e demais instituições, visando de forma integrada e participativa à manutenção e preservação ambiental, proporcionando adequadamente a gestão dos recursos hídricos e o monitoramento do clima, buscando a redução de possíveis prejuízos econômicos, sociais e ambientais, sobretudo futuros, advindos do aquecimento global, que está produzindo, com cada vez mais frequência e maior intensidade, eventos extremos que impactam a natureza e sociedade em diferentes escalas de alcance.

Palavras-chave: Recursos Naturais; Bacia Hidrográfica; Ribeirão Cafezal; Meio Ambiente

ABSTRACT

The preservation of the planet's natural resources is the duty of every community, as well as the sustainable use of water, as it is a common good and a fundamental component of life. In this sense, scientific research that involves deep knowledge about the dynamics of water in watersheds becomes fundamental for the management and sustainability of this resource. Based on this premise, this work presents studies in the Ribeirão Cafezal Watershed, located in the region of Londrina, in the north of the state of Paraná, covering 4 important cities from west to east. This research used secondary data surveys and the application of methods for analyzing socio-spatial relationships and natural variables belonging to regional climatic and hydrological dynamics. This work is divided into two articles. The first entitled: "Variation in river flow and the interference of El Niño and La Niña: a brief study on the Ribeirão Cafezal Hydrographic Basin" aims to analyze the temporal variation of river flows in the Ribeirão Cafezal Hydrographic Basin and how the phenomena climatic conditions can affect the evolution of fluvometry in this system. Hydrological studies associated with climate are essential for the systemic understanding of a watershed. The second, entitled: "Soil use and occupation and its impact on the Ribeirão Cafezal Watershed", aims to address the anthropic processes of land use and vegetation cover and their influences on the dynamics of the Ribeirão Watershed Cafezal. The results of these studies can contribute to the formulation of new public policies and planning actions that must be elaborated by local governments, private initiative and other institutions, aiming in an integrated and participatory way at the maintenance and environmental preservation, providing appropriate management of water resources and climate monitoring, seeking to reduce possible economic, social and environmental damage, especially future damage, arising from global warming, which is producing, with increasing frequency and intensity, extreme events that impact nature and society at different reach scales.

Key-words: Natural Resources; Watershed; Ribeirão Cafezal; Environment

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução das manchas urbanas no período 1987 –2009	25
Figura 2: Classificação climática do Paraná.....	27
Figura 3: Representação da Idade geológica da área estuda.....	29
Figura 4: Mapa Representação da formação rochosa da área estudada.....	30
Figura 5: Mapa de Tipos de Solos da área estudada.....	31
Figura 6: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal em contexto regional.....	37
Figura 7: Mapa de localização das Estações Fluviométricas utilizadas neste trabalho.....	41
Figura 8: Temperatura média anual da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal no período de 1970 a 2020.....	43
Figura 9: Precipitação (mm) mensal média para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal no período de 1970 a2020.....	45
Figura 10: Precipitação Total (mm) e temperatura média anual (°C) para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal (1970-2020).....	46
Figura 11: Classificação da distribuição da precipitação (mm) acumulada (1970-2020).....	47
Figura 12: Ocorrência dos Fenômenos El Niño (cor laranja) e La Niña (cor azul) a partir de 1970 – 2018.....	48
Figura 13: Relação entre a temperatura, precipitação e fenômenos El Niño e La Niña na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal.....	51
Figura 14: Relação entre precipitação e Fenômeno ENOS para o período de 1970-2021.....	52
Figura 15: Fluiometria na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal (1987-2018) e classificação de ocorrência ENOS (1970-2021).....	53
Figura 16: Barragem do Parque Ecológico Daisaku Ikeda destruída por enxurrada no município de Londrina, ano 2016.....	55
Figura 17: Comparação entre os anos 2015 e 2016 com média histórica.....	55
Figura 18: Localização da Estação Fluviométrica Montante ETA – Londrina.....	65
Figura 19: Cálculo da curva de recessão para o ano 1988.....	67
Figura 20: Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, ano 1985.....	69
Figura 21: Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, ano 1990.....	70
Figura 22: Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, ano 1995.....	71
Figura 23: Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, ano 2000.....	72
Figura 24: Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, ano 2005.....	73
Figura 25: Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, ano 2010.....	74
Figura 26: Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, ano 2015.....	75
Figura 27: Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, ano 2020.....	76

Figura 28: Comparativo da expansão urbana entre os anos de 1985 e 2020.....	77
Figura 29: Evolução da mancha de floresta para o período 1985 – 2020.....	78
Figura 30: Relação entre reserva reguladora, crescimento urbano e florestal para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal no período 1985-2020.....	79
Figura 31: Coeficiente de Determinação (r^2) entre temperatura e varáveis precipitação (a), classes de anos (b) e reserva reguladora (c), entre os anos de 1988 e 2019.....	82
Figura 32: Coeficiente de Determinação (r^2) entre Restituição relativa e varáveis precipitação (a), Excedente Hídrico (b) e reserva reguladora (c), entre os anos de 1988 e 2019.....	82
Figura 33: Coeficiente de determinação (r^2) entre restituição e as variáveis de precipitação (a) excedente hídrico (b) e reserva reguladora (c) entre os anos 1988-2019.....	83
Figura 34: Coeficiente de determinação (r^2) entre excedente hídrico e precipitação (a) temperatura (b) e reserva reguladora (c) entre os anos 1988-2019.....	83

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1: Relação numérica e níveis de ocorrência do fenômeno ENOS.....	42
Tabela 2: Períodos de El Niño com grau considerado forte.....	48
Tabela 3: Anos onde o El Niño teve grau considerado médio.....	49
Tabela 4: Anos em que o La Niña teve grau moderado.....	50
Tabela 5: Divisão por classes de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal no período 1985-2020.....	68
Tabela 6: Relação entre as variáveis calculadas.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ONU	Organização das Nações Unidas
IAT	Instituto Água e Terra
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NBR	Norma Brasileira
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SIGLON	Sistema de Informação Geográfica de Londrina
TSM	Temperatura da Superfície do Mar

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2. Revisão de literatura	18
2.1 A precipitação e o Ciclo Hidrológico	19
2.1 Apresentação dos conceitos	20
2.2 Processos antrópicos	22
2.3 Caracterização do meio físico	26
3 ARTIGO A.....	32
3.1 Introdução.....	34
3.3 Material e Métodos	36
3.3.1 Localização da área de estudo	36
3.3.2 Levantamento de dados	37
3.3.3 Tratamento de dados.....	38
4. Resultados e Discussões.....	40
4.1 Oscilações da Temperatura Média do Ar.....	40
4.1.1 Distribuição da precipitação total na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal	41
4.1.2 Fenômenos ENOS e a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal.....	44
4.1.2 Fluviométrica para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal.....	49
4.1.4 Vazão e Precipitação para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal e impactos na sociedade.....	51
3.5 Considerações Finais	53
4 ARTIGO B.....	54
4.1 Introdução.....	55
4.3 material e métodos	60
4.3.1 Processamento de dados	61
4.3.2 Cálculos da constante de recessão e reserva reguladora aquífera	62
4.3.3 Análise estatística descritiva	64
5. O Processo de uso e ocupação do solo e a bacia hidrográfica do ribeirão cafezal	65
4.4.1 A expansão urbana na região da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal no período 1985-2020	73
4.4.2 Cálculo das diferentes variáveis para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal	77
4.5 Considerações finais.....	81
5 Referências	83

1 INTRODUÇÃO

A problemática ambiental passa a ser discutida com mais intensidade a partir da década de 1970, mas é partir da década de 1980 que essas discussões tiveram maior aprofundamento, por meio de novos estudos e metodologias, permitindo o surgimento de novas reflexões ao longo do tempo. Assim, a importância de se estudar impactos ambientais produzidos por ações antrópicas foi se tornando cada vez mais presente e necessária para a sociedade moderna.

A década de 1990 foi marcada por grandes eventos onde o tema era o meio ambiente, como exemplo, em 1992 acontece a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, que ficou conhecida como ECO-92. De acordo com Marcatto (2002) nesta conferência abordou-se, conciliado a propostas ambientais, o crescimento econômico, desigualdade social, consumo excessivo, entre outros. No final do ano de 2002, aconteceu na África do Sul a Rio+10, para refletir as decisões da ECO-92.

Dentre as questões ambientais, a disponibilidade da água ganhou relevância especial, pois é fonte essencial à vida, tornando a resolução de conflitos em relação ao seu uso prioritário. Além disso, a sociedade se desenvolveu à medida que transformou a água em recurso, especialmente para o abastecimento da população. Porém, devido a expansão urbana, associada à falta de saneamento ambiental e o uso e ocupação da terra de maneira desordenada em bacias hidrográficas, tem potencializado os impactos ao meio ambiente, afetando a disponibilidade de recursos hídricos.

Nesse sentido, torna-se indispensável que o ser humano encontre maneiras de preservar a água, por meio de planos e projetos que visem o seu uso sustentável, bem como, o incentivo para que novos estudos possam ser desenvolvidos para sustentabilidade deste recurso.

De acordo com Carvalho (2014) as bacias hidrográficas são caracterizadas como unidades espaciais com diferentes dimensões, onde se localizam os recursos hídricos. Para o autor, a gestão da água deve integrar fatores naturais e antrópicos tais como: tipo de solo; declividade; clima; hidrográficos e de uso e ocupação da terra. Partindo desta premissa, o presente trabalho tem por objetivo apresentar análises sobre os aspectos climáticos e antrópicos e sua influência sobre a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafetal, um dos mananciais mais importantes para a

Região Metropolitana de Londrina-PR (RML). São apresentados dois artigos científicos. Sendo eles A) “Variação na vazão fluvial e a interferência do El Niño e La Niña: um breve estudo sobre a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal” e B) “O uso e ocupação do solo e seu impacto sobre a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal”. Desse modo, este trabalho busca avaliar fenômenos climáticos, a expansão urbana e o uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal e possíveis interferências destes processos na dinâmica temporal hidrológica.

Hachem (2016) aborda a importância dos recursos hídricos para a sobrevivência das espécies e para o desenvolvimento dos setores econômicos. No entanto, os recursos hídricos passam por diversos problemas de interferência humana na sua dinâmica. Para o autor, o uso incorreto da água e a falta de saneamento ambiental tem levado a escassez desse recurso em diversos países.

Além da poluição dos cursos d’água pela produção agrícola, o acelerado processo de urbanização impacta na qualidade das águas que estão no perímetro urbano dos municípios em que a bacia hidrográfica se localiza. Resíduos de construção, vazios urbanos, sedimentos, rejeitos descartados incorretamente pela população, são alguns dos meios de poluição hídrica.

Segundo Cornelli et al. (2016) os processos de expansão urbana, da agricultura e também da industrialização, causaram impactos significativos na qualidade da água dos centros urbanos brasileiros. Tal fato está associado ao consumo de recursos hídricos que tais atividades demandam. A qualidade da água de uma bacia hidrográfica está diametralmente relacionada com o equilíbrio entre os fatores naturais e antrópicos (CORNELLI et al., 2016).

De acordo com Kauffmann e Silva (2005) a necessidade de um planejamento integrado e sustentável nos grandes centros tornou-se mais frequente nos últimos anos. Nesse sentido, as autoras abordam a importância da bacia hidrográfica como parâmetro fundamental no planejamento urbano e gestão dos recursos naturais, de maneira integrada.

Coloca-se então ainda no desafio da busca do desenvolvimento sustentável a discussão da sua viabilização, incluindo em especial, a articulação do planejamento urbano à gestão ambiental e de recursos hídricos, a implementação da bacia hidrográfica como unidade de planejamento integrado, a revisão dos parâmetros urbanísticos em vigor, buscando a sua eficácia no controle e qualidade da expansão urbana, destacando a sua importância e viabilidade como indicadores de sustentabilidade. É importante, portanto, que se aprofundem os estudos destes indicadores na busca por melhores condições de vida nas cidades. (KAUFFMANN e SILVA, 2005, p. 7)

Colaborar para que os recursos naturais sejam preservados é dever de toda comunidade, pois a água é um bem comum e componente fundamental para a vida. Planejar soluções para a manutenção e preservação desses elementos naturais é uma iniciativa muito positiva. Neste sentido, se faz necessários estudos que possam analisar a dinâmica da água nas bacias hidrográficas. Partindo desta premissa, este trabalho apresenta um estudo sobre a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, com extensão territorial entre os municípios de Rolândia, Cambé e Londrina, no Norte do estado do Paraná. Considerando que pelas zonas urbanas da região estudada, é comum encontrar algum curso d'água, apenas poucas áreas de vegetação nativa são ainda existentes no entorno dos cursos de drenagem da Bacia, o uso da terra é principalmente agrícola e com bastante ocupação de loteamentos. Com esses estudos, novas ações podem ser elaboradas pelas prefeituras municipais, iniciativa privada e demais instituições, com objetivo de elaboração de um plano integrado de gestão e monitoramento dos recursos hídricos, visando à manutenção de preservação do meio ambiente.

Esta pesquisa partiu de abordagens qualitativas e quantitativas. Realiza uma análise entre relações socioespaciais e o estudo de um caso específico, bem como, a utilização de dados estatísticos.

Foram utilizadas fontes de informações secundárias, compostas por levantamentos de material bibliográfico (livros e trabalhos acadêmicos) bem como documentos históricos e demais tipos de fontes que possam contribuir com dados referentes aos interesses do cumprir os objetivos desta pesquisa.

Dessa forma, o presente trabalho está dividido em dois artigos, como mencionado anteriormente. O primeiro artigo intitulado de “Variação na vazão fluvial e a interferência do El Niño e La Niña: um breve estudo sobre a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal” traz como objetivo uma análise sobre as vazões fluviais da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal e como os fenômenos climáticos podem afetar as dinâmicas da água neste sistema.

O segundo artigo intitulado: “O uso e ocupação do solo e seu impacto sobre a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal”, tem por objetivo abordar os processos antrópicos de uso do solo e a cobertura de vegetação e suas influências na dinâmica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal. Traz gráficos e cálculos do fluxo de base da área estudada, que foram fundamentais para as observações realizadas neste trabalho.

A água é fonte essencial para a vida, portanto, é fundamental que o ser humano encontre formas de preservá-la. Partindo dessa premissa, se faz necessário estudos que analisem a dinâmica dos recursos hídricos, neste caso, das bacias do município de Londrina, considerando que pelos bairros da cidade é comum encontrar algum curso d'água. Com esses estudos, novas ações podem ser elaboradas pela Prefeitura Municipal de Londrina e demais órgãos competentes, visando à manutenção de preservação do meio ambiente.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os seres humanos desenvolveram diferentes técnicas de sobrevivência ao longo dos anos. Utilizando-se dos recursos naturais de maneira cada vez mais agressiva e exploratória, a relação entre sociedade e natureza se modificou. Nesse sentido, como aponta Sauer (1997) os seres humanos devem ser vistos como agentes que modificam a superfície da terra, pois suas atividades impactam cada vez mais o meio ambiente.

A relação entre sociedade e o meio natural é dinâmica. De acordo com Ross (1993) com o avanço cada vez mais acelerado das tecnologias, e o uso capitalista dos recursos naturais, essa relação tem causado um grande impacto no meio natural. Pode-se estabelecer paralelismo entre o avanço da exploração dos recursos naturais com o cada vez mais complexo desenvolvimento tecnológico, científico e econômico das sociedades humanas. (ROSS, 1993)

Segundo Ross (1993) no meio natural há a troca de energia e matéria, em um processo de equilíbrio dinâmico. Essas dinâmicas são interdependentes e, para o autor, a ação antrópica deve ser considerada como parte integrante desse sistema, pois alteram o equilíbrio desse processo. As bacias hidrográficas são sistemas abertos, que perdem e recebem energia. Um ponto importante de análise, segundo Ross (1993) é a fragilidade ambiental, quando se faz o planejamento territorial ambiental.

Dentro dessa concepção ecológica o ambiente é analisado sob o prisma da Teoria de Sistemas que parte do pressuposto de que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio, entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções do homem nas diversas componentes da natureza, gerando estado de desequilíbrio temporários ou até permanentes. (ROSS, 1993, p. 65)

Conforme aponta Rodrigues (2001) a Teoria Geral dos Sistemas deve levar em consideração a integração de todos os elementos desse sistema. Como orientação para a sistematização, propõe-se a Modelagem, que, idealmente, deverá ser subsidiada pela mensuração direta (monitoramentos e experimentações) das trocas, circuitos, balanços de matéria e energia nos sistemas e subsistemas. (RODRIGUES, 2001, p. 73)

2.1 A PRECIPITAÇÃO E O CICLO HIDROLÓGICO

A disponibilidade da água depende e é afetada diretamente pelos agentes climáticos. Segundo Barbosa (2006) o ciclo da água tem sofrido cada vez mais impacto da ação humana, pela necessidade do uso da água, esse elemento tem sido utilizado de maneira muitas vezes mal planejada. As alterações no ciclo da água causam desequilíbrios no meio ambiente.

De acordo com Duarte (2009) o Ciclo da Água tem papel fundamental na distribuição de água no planeta Terra. No entanto, essa distribuição ocorre de forma desigual. Sendo a água, um recurso atrelado ao desenvolvimento econômico e social, muitas vezes, a captação e utilização desse recurso não é feita de maneira sustentável.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), conforme documento publicado em 2016, a água é um fator chave na percepção das mudanças climáticas, através das mudanças no escoamento dos rios e nos volumes de precipitação. Atualmente, os dados já existentes no Brasil mostram que existem alterações na vazão de bacias hidrográficas. Essas mudanças causam diversos impactos, necessitando de um planejamento aprofundado.

O ciclo hidrológico está diretamente vinculado às mudanças de temperatura da atmosfera e ao balanço de radiação. Com o aquecimento global da atmosfera, esperam-se, entre outras consequências, mudanças nos padrões da precipitação (aumento da intensidade e da variabilidade da precipitação), o que poderá afetar significativamente a disponibilidade e a distribuição temporal da vazão nos rios, quer negativamente, quer positivamente. Em resumo: além de alterações nas disponibilidades médias, os eventos hidrológicos críticos, secas e enchentes, poderão tornar-se mais frequentes. (BRASIL, 2016, p.15)

A precipitação é uma forma de entrada de água no sistema de uma bacia hidrográfica. Para Hachem (2016) a precipitação tem fundamental função na manutenção do sistema. O autor define a precipitação como toda água proveniente do vapor d'água da atmosfera que recai sobre a superfície da Terra. Basicamente, a precipitação é formada pelo acúmulo de partículas, até as mesmas alcançarem peso suficiente para precipitar pela ação da gravidade. (HACHEM, 2016)

Segundo Duarte (2009) a principal entrada no sistema hidrológico é a precipitação, e havendo modificações na precipitação, a vazão também será afetada. Conforme aponta a autora, há um aumento na vazão da bacia do Paraná no

período de 1931 a 2001, fato que ocorreu devido a alterações climáticas, e também pelo desmatamento, com a retirada da mata nativa.

2.1 APRESENTAÇÃO DOS CONCEITOS

Para a compreensão destes dois artigos, alguns conceitos são fundamentais, sendo eles o conceito de Bacia Hidrográfica, degradação e impacto ambiental, interferência antrópica, e uso do solo. Bem como, é fundamental para este trabalho, abordar o uso e ocupação do solo e o meio físico em que a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal está inserida. Tendo isso, este tópico aborda o meio físico, aspectos sociais e a consideração dos fatos históricos, deste modo, este trabalho dedicou-se a buscar a compreensão do todo. Os conceitos norteadores para este trabalho serão abordados neste tópico.

O conceito de bacias hidrográficas é discutido por diversos autores. Uma definição comum é a ideia de que uma bacia hidrográfica possui uma entrada e uma saída. Porto e Porto (2008) definem a bacia hidrográfica como um sistema capacitor natural de água, que escoa esse elemento até uma saída, o chamado exutório.

De acordo com Tucci (1997) uma bacia hidrográfica é constituída por um aglomerado de superfícies de vertentes e também de uma rede de drenagem composta por diversos cursos d'água que se encontram e formam um único leito de saída.

Para Mendonça (1999) em um primeiro momento, as análises se concentram em aspectos físico-naturais. Em um segundo momento, os processos antrópicos como poluição e degradação são abordados. As atividades humanas e sua espacialização constituem-se [...] em importante elemento na análise da degradação ambiental, e deve ser abordada de um ponto de vista crítico – de causas e consequências sociais (MENDONÇA, 1999)

Vários problemas ambientais surgem com o desenvolvimento e expansão urbana. No caso das microbacias, para Goudie (1990) os processos de urbanização alteram de maneira considerável as características hidrológicas de um determinado lugar de uma maneira geral.

De acordo com Rubira (2016) a cobertura vegetal é fundamental para manter a dinâmica do meio ambiente em equilíbrio. No entanto, quando inseridas em regiões urbanizadas, essa cobertura vegetal pode sofrer processos de degradação

ambiental, devido as necessidades populacionais do espaço. A degradação ambiental acontece, segundo o mesmo autor, quando há o uso dos recursos ambientais de maneira não sustentável.

A necessidade do homem de se organizar e se fixar em um determinado espaço geográfico e expandir suas tecnologias conforme evoluí o desenvolvimento da raça humana, provoca inúmeras modificações no meio, alterando o que chamamos de natural, acarretando na maioria das vezes graves problemas ambientais, o que torna determinado espaço em um ambiente de risco de vida para o próprio homem, que foi o grande responsável por toda essa mudança, é a chamada degradação ambiental. (RUBIRA, 2016, p. 141)

Segundo Rubira (2016), processos de degradação ambiental acontecem no Brasil constantemente, afetando os aspectos físicos da paisagem de diferentes níveis e formas. Tal fato faz com que alguns elementos naturais sejam mais vulneráveis a sofrer impactos ambientais, muitas vezes até irreversíveis.

O impacto ambiental, segundo Rubira (2016), difere da degradação ambiental, pois trata de qualquer interferência no meio ambiente, podendo ser positiva ou negativa. Por sua vez, Para Neto (2008), a degradação ambiental resulta em danos negativos ao meio ambiente, que estão comumente associados à ação humana, podendo levar o recurso natural a um esgotamento ou destruição total. Para o autor, impacto ambiental ocorre quando há alteração das características físicas, biológicas e químicas do meio ambiente, podendo ser provocado por processos naturais ou pelo ser humano.

Neste sentido, a Organização das Nações Unidas (ONU), na Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1987) definiu que o desenvolvimento econômico interfere no meio físico e que, grande parte dos recursos renováveis pertencem a um ecossistema complexo e interligado. Sendo assim, há a necessidade de investimentos para auxiliar na proteção do meio ambiente. Ações como reflorestamento, proteção de bacias hidrográficas, conservação do solo entre outras.

Nesse sentido, torna-se importante que medidas sejam tomadas para proteção do meio ambiente. Segundo Pereira (2011) as Áreas de Preservação Permanente (APP) são fundamentais para a preservação dos elementos naturais. Ainda segundo Pereira (2011) as matas ciliares também entram nas diretrizes do Código Florestal, pois fazem parte dessas áreas de preservação, devendo ser vedada qualquer influência de construções antrópicas nesses locais. Não há como

se pensar em preservação dos cursos d'água, sem pensar na vegetação. É a cobertura vegetal que dará o apoio para que a qualidade hídrica se mantenha de forma positiva.

No âmbito legal, através da Lei Federal nº 9.433, de oito de janeiro de 1997, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos, que criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. De acordo com o Art. 32 dessa Lei, esse Sistema tem alguns objetivos como coordenar a gestão integrada das águas, deliberar de maneira administrativa, possíveis conflitos sobre a questão dos recursos hídricos, planejar, regular e controlar a preservação, uso e recuperação desses recursos.

A principal diretriz sobre preservação do meio natural está no Código Florestal, instituído através da Lei Federal 4.771/65, alterado pela Lei Federal 7.803/89, pela Medida Provisória n.º 1.605-30/98 e pela Lei 12.651/2012. O artigo 6º da Lei 12.651/2012 aborda que podem ser definidas como Áreas de Preservação Permanente quando for destinado a conter erosão de solo, reduzir riscos de enchentes e deslizamentos, proteger restingas, várzeas, áreas úmidas, sítios de valor científico, cultural ou histórico, conter espécies da fauna ou flora ameaçados de extinção, proporcionar o bem-estar público, formar faixas de proteção ao longo de vias, e proteger o território nacional. O artigo 7º da mesma Lei aborda que a proteção de Área de Preservação Permanente será de responsabilidade do proprietário da área, seja de direito público ou privado. Em caso de supressão de vegetação, o proprietário da área, é obrigado a providenciar a recomposição da vegetação.

2.2 PROCESSOS ANTRÓPICOS

A ação humana interfere na dinâmica dos sistemas naturais. Segundo Pereira (2011) com a mecanização, a tecnificação e o uso excessivo de agrotóxicos na agricultura, conciliado a mudança na produção agrícola, levou a uma intensificação dos impactos ambientais na região.

Em termos ambientais, esse processo significou a intervenção na maioria dos ecossistemas naturais, convertidos em agrossistemas mecanizados, com a utilização cada vez mais generalizada de fertilizantes e agrotóxicos, o que resultou na erosão dos solos, contaminação dos recursos hídricos,

mudanças climáticas e um grande desequilíbrio na fauna local. (PEREIRA, 2011, p. 9).

Os seres humanos utilizam a natureza como recurso, fundamental para sua sobrevivência. No entanto, ao longo dos anos, com o acelerado processo capitalista, essa relação tem causado graves consequências ao meio ambiente. O uso da terra e da água sofrem essas consequências. Segundo Queiroz et. al. (2010) a água está cada vez mais em um processo de escassez, por isso, é de fundamental importância que seu uso seja planejado.

Neste sentido, o planejamento e gestão de bacias hidrográficas estão sendo cada vez mais enfocados nas pesquisas técnico-científicas. O monitoramento ambiental, em bacias hidrográficas, procura caracterizar aspectos relevantes que permitam diagnosticar as mudanças que ocorrem no uso e ocupação do solo, tornando possível avaliar os efeitos das atividades humanas exercidas nas bacias hidrográficas sobre os ecossistemas. Por isso, é indicado monitorar variáveis ambientais que sejam sensíveis às mudanças que possam vir a ocorrer (QUEIROZ et. al. 2010, p. 2010)

Nos últimos anos, a população tem percebido de perto como o uso não racional da água afeta negativamente a distribuição deste recurso. A partir disto, segundo Souza et. al. (2014) algumas medidas foram introduzidas para o uso correto e sustentável da água. Este uso tem sofrido restrições significativas em função de prejuízos nos rios provenientes das ações naturais e antrópicas, as quais alteram os aspectos de qualidade e quantidade de água disponível para o uso humano. (SOUZA et. al, 2014)

A metropolização no Brasil tem relação com urbanização e processo de industrialização que ocorreram no século XX. A partir das relações de produção do consumo que aconteceram no período de desenvolvimento industrial que o processo de urbanização se intensificou no Brasil. Avanços tecnológicos na comunicação e no transporte também impulsionaram o processo de industrialização e a concentração Urbana.

A região estudada também sentiu os efeitos da urbanização acelerada e sem planejamento que se intensificou a partir da década de 1960. A geomorfologia da região, conciliado com o clima, favoreceram a ocupação das terras, através da Companhia de Terras Norte do Paraná (CTNP).

Para Santos (1978) as ações antrópicas estão causando graves impactos na natureza. Os seres humanos e a natureza possuem uma relação dinâmica, no entanto, nos últimos anos, essa relação está prejudicando a natureza. Segundo

Santos (1978) as formas espaciais são linguagens do modo de produção. Esse modo de produção ocorre sob um determinado território.

O contexto de ocupação na região norte do Paraná era o período da grande crise mundial de 1929. De acordo com Alves (2005) alguns dos grandes proprietários de terras adquiriram muitas dívidas ou faliram. Os pequenos e médios produtores possuíam melhores condições para aquisição de terras. Nesse sentido, as terras foram divididas e vendidas em pequenos lotes, fato que gerou lucros para a Companhia de Terras Norte do Paraná.

Em um primeiro momento de vendas, de acordo com Cunha (2005), a CTNP funda os municípios de Cambé (na época denominada Nova Dantzig), Londrina, Apucarana, Ibirapuã, Bela Vista do Paraíso, Rolândia, Arapongas e Mandaguari. No ano de 1953, a Companhia de Terras Norte do Paraná passa a se chamar Companhia Melhoramentos Norte do Paraná (CMNP) fundando novos núcleos urbanos entre o eixo Londrina-Maringá.

Várias propagandas foram feitas sobre os loteamentos no norte do Paraná. Londrina foi escolhida para ser sede da CTNP, se tornando um centro de grande importância no Norte do Paraná. Com solos férteis, a principal atividade da região foi a agricultura, principalmente o cultivo do café.

Antes da década de 1940, Londrina era um município com alguns bairros populares, e grandes casarões que tinham vista para as plantações. Ao longo desta década, o município apresentou grandes taxas de êxodo rural, que foi um fator importante para o crescimento populacional dos municípios vizinhos.

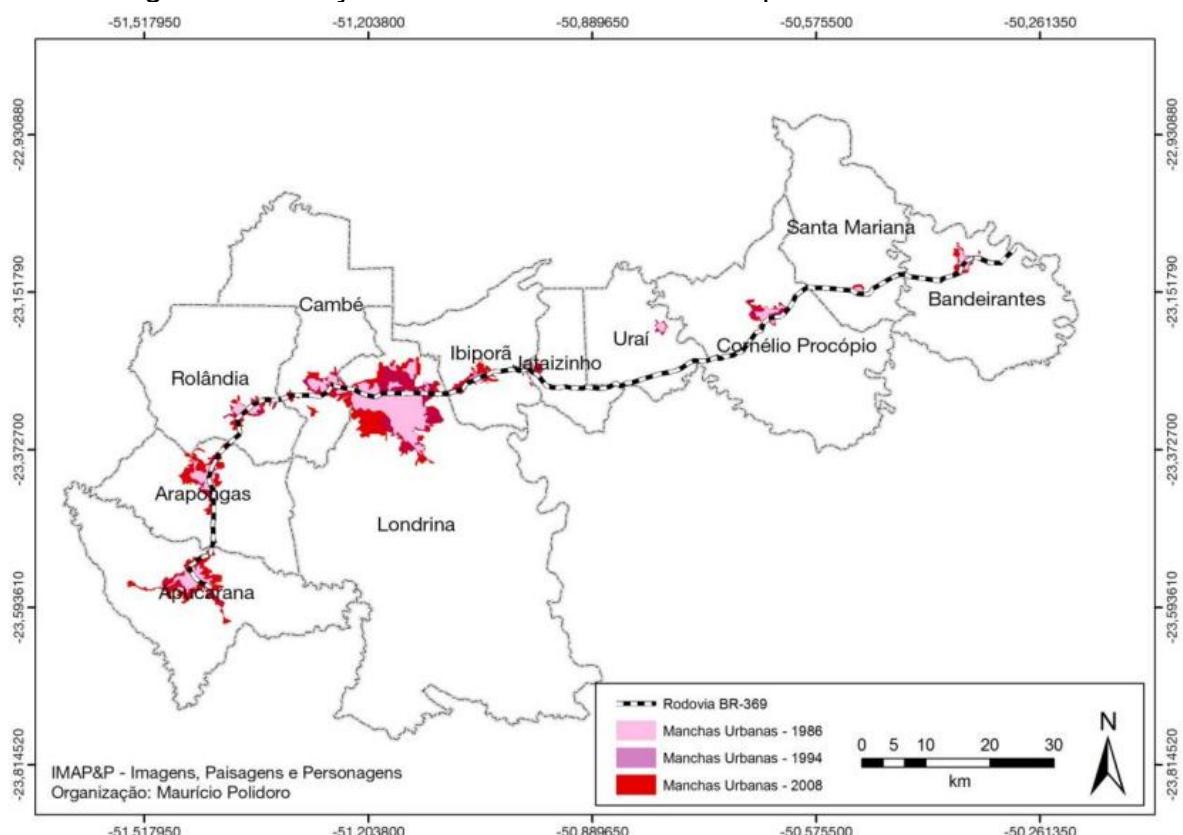
A partir da década de 1950, de acordo com Polidoro (2016) Londrina começa um processo de verticalização, conciliado com a alta produtividade da cultura do café. No entanto, a partir da década de 1970, há uma grande crise no cultivo de café. Começa então um plano com objetivo de desenvolver projetos de grande infraestrutura interligando Londrina até Maringá, chamado de plano METRONOR. Esse projeto reforçava a centralidade regional do norte paranaense e atendia às relações já existentes com o estado vizinho (POLIDORO, 2016, p. 86)

Com a crise no café e a mudança para novos cultivos, não necessitando da mesma quantidade de mão de obra como a produção do café, faz com que muitos trabalhadores do café tenham que buscar novas oportunidades na cidade. Com isso, há uma intensificação da população residente nos centros urbanos.

Além da poluição dos cursos d'água pela produção agrícola, o acelerado processo de urbanização, também impactou a qualidade das águas que estão no perímetro urbano de Londrina. Resíduos de construção, vazios urbanos, sedimentos, lixos descartados incorretamente pela população, são alguns dos meios de poluição das bacias hidrográficas.

Nesse contexto, a malha urbana da Região Metropolitana de Londrina (RML) se concentra principalmente em um primeiro momento pela BR-369 (Figura 1) e também pela PR-445. Essas rodovias foram e são fundamentais para o desenvolvimento e integração regional, facilitam os deslocamentos entre as cidades. É entre essas rodovias que a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal está localizada.

Figura 1: Evolução das manchas urbanas no período 1987 – 2009



Fonte: IMAP; adaptado por Maurício Polidoro (2016)

A área estudada está inserida na RML, que segundo o Fórum Nacional de Entidades Metropolitanas, até 2018, possuía um total de 1.101.595 habitantes. A taxa geométrica de crescimento anual da RML, no mesmo ano, foi de 4,05%. Essa população é majoritariamente residente nas cidades, com exceção de Alvorada do Sul, Pitangueiras e Tamarana.

Segundo a Prefeitura Municipal de Londrina (2014), a criação da RML traz grandes benefícios, como a arrecadação de créditos para ser utilizados em projetos que tenham como objetivo atender as demandas regionais. De acordo com Vercezi (2018) a industrialização foi fator fundamental na concentração da população. Cada processo de urbanização é diferente dos demais, o que gera dinamismo no espaço. “Mediante tal tendência, agrupar os municípios num determinado recorte espacial, isto é, regionalizá-los, significa, também, tipificá-los pelos papéis que desempenham no espaço onde estão inseridos.” (VERCEZI, 2018, p. 21)

Dessa forma, segundo Vercezi (2018) regionalizar os municípios caracteriza-os pela sua importância dentro do espaço em que estão inseridos. Nesse contexto que vão ocorrer as trocas e desenvolvimento do capital, aproximando o local da realidade da globalização.

O município de Londrina-PR detém grande quantidade de indústrias, entretanto, outros municípios da região também são referência no setor industrial, principalmente no entorno das principais rodovias, como é o caso dos municípios de Rolândia, Cambé e Ibirapuã, onde estão localizadas grandes indústrias.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

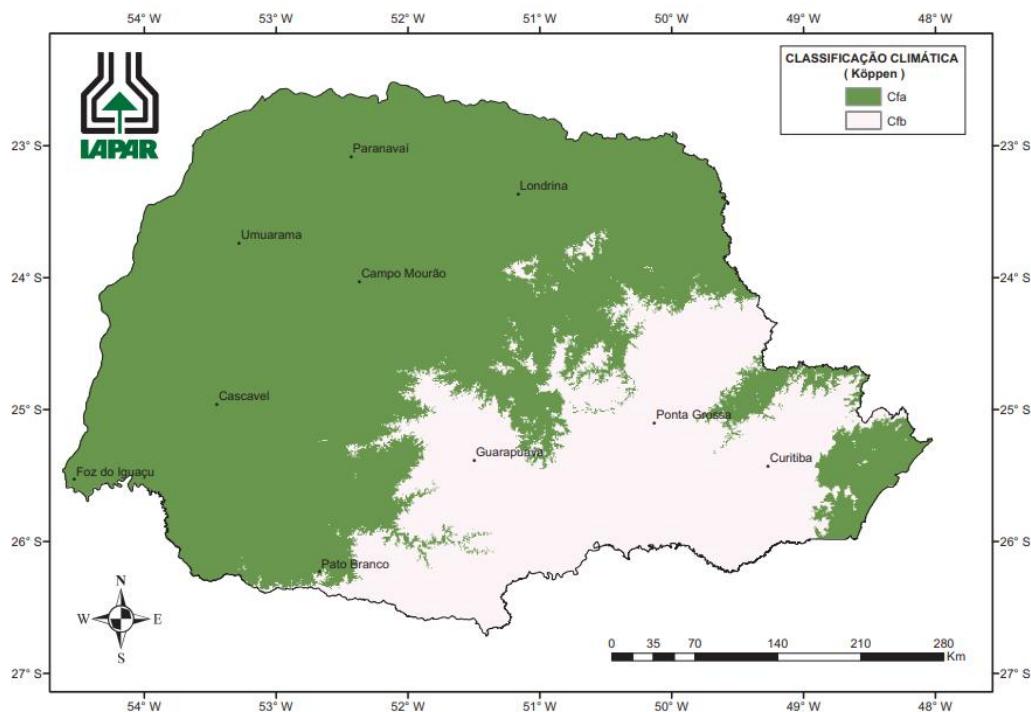
A região de estudo está localizada entre os municípios de Cambé, Rolândia e Londrina, no norte do estado do Paraná. Os aspectos fitogeográficos da área são diversificados e compostos por áreas urbanizadas, de vegetação florestal e áreas destinadas à agricultura.

De acordo com Santos et. al. (2020) em 2015, a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafetal possuía uma área urbanizada de 28.148,3 hectares, ocupando 13,70% da Bacia. A agricultura possuía uma área de 104.517,7, sendo o maior índice, com 50,85% de ocupação da Bacia. Solo nu apresentava uma área de 52.739,1 hectares, com 25,66% de ocupação da Bacia. A vegetação compunha 18.912,9 e uma porcentagem de ocupação da Bacia de 9,20%. Espelhos d'água ocupavam 0,59% da Bacia, com uma área total de 1.212,2 hectares.

No que diz respeito ao clima, Mangili (2014) aponta que este conceito deve ser considerado como um fenômeno natural, com dinâmica própria, que interfere na superfície da Terra de acordo com o uso e ocupação do solo. clima A classificação climática da região estudada é, segundo Köppen, clima subtropical

úmido – Cfa, como pode ser observado na Figura 2, caracterizado com verão quente e chuvoso, pouca ocorrência de geadas e sem uma estação seca definida.

Figura 2: Classificação climática do Paraná



Fonte: IDR-PR, 2022

A classificação climática da região de estudo é, segundo os parâmetros de Köppen como Cfa – clima subtropical, caracterizada com verão quente e chuvoso. No entanto, alguns períodos tiveram uma maior precipitação e um consequente aumento de vazão da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafetal.

As massas de ar que interferem na região são a Massa Tropical Atlântica (MTA), Massa Equatorial Continental (MEC) Massa Polar Atlântica (MPA) e Massa Tropical Continental (MTC) A região de estudo possui temperatura média de 22°, com baixas temperaturas no inverno, e temperaturas mais elevadas nos demais meses do ano. Essa variabilidade térmica é resultante da incidência dos raios solares sobre uma superfície que recebe essa energia. (MANGILI, 2014)

Pimenta (2019) relata que a região, além de possuir o clima Cfa, também apresenta característica do clima Cwa, clima temperado, caracterizado por verão quente e úmido, e do clima Ama, clima quente de monção com verão quente. Sendo

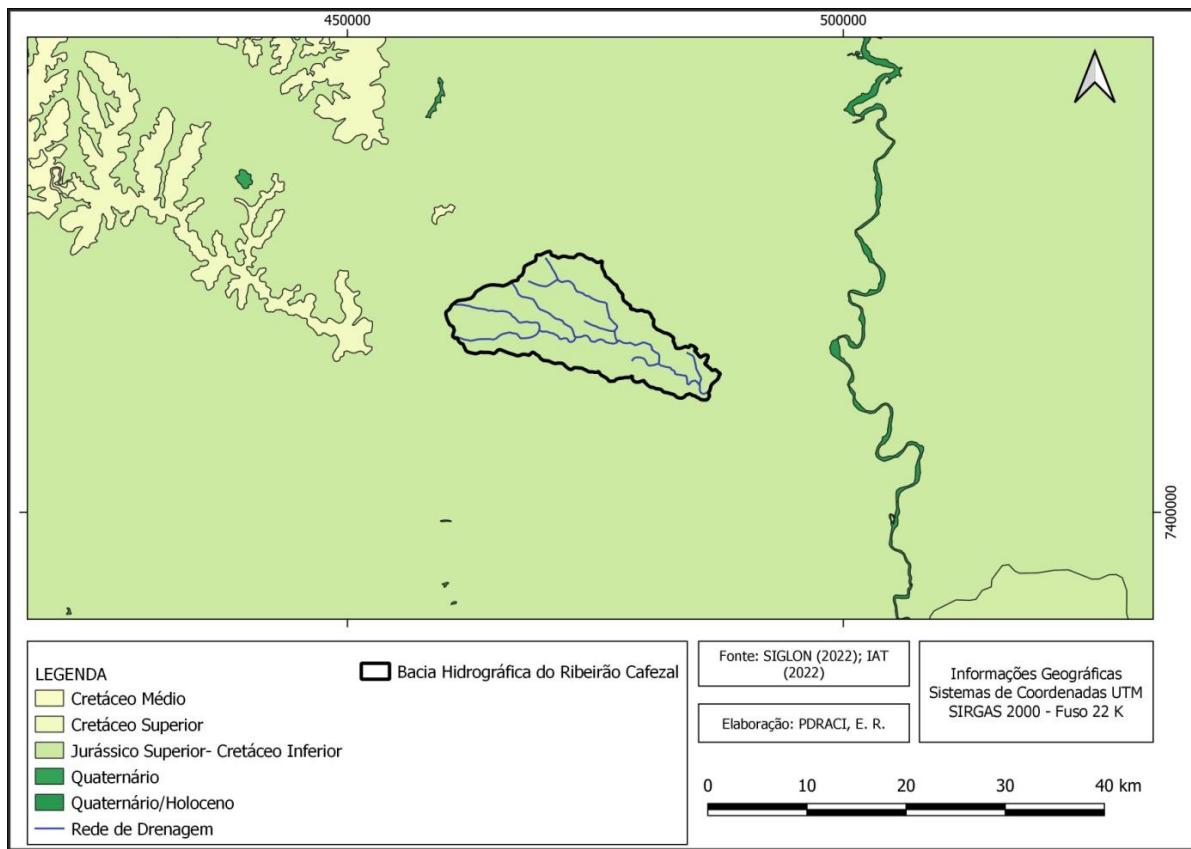
assim, pode-se considerar a região como uma região de transição climática, oscilando entre esses três tipos de clima.

De acordo com o Instituto Agronômico do Paraná (2019) as médias anuais de precipitação para a região de estudo variam entre 1.600 e 1.800 milímetros. As temperaturas médias anuais da região variam de 21° a 22° graus Celsius. A posição do estado do Paraná, de acordo com Troppmair (1990) é próximo aos trópicos. Tal fato causa enorme impacto nas condições climáticas do estado. No inverno, as massas polares de baixas temperaturas e umidade avançam sobre o estado. No verão, no entanto, as massas tropicais marítimas, acarretam correntes instáveis pré e pós-frontais, e faz com que haja chuvas quase que diariamente.

A geomorfologia é um aspecto importante para esta pesquisa, é a partir desse estudo que se torna possível compreender a formação do relevo. Nesse sentido, a área de estudo deste trabalho está localizada, segundo o Serviço Geológico do Paraná (2006), na unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, na unidade morfoescultural do Terceiro Planalto Paranaense, sub-unidade morfoescultural Planalto de Londrina, com dissecação média, topos alongados e vertentes convexas, vales em “V”, rochas da Formação Serra Geral, e com área total de 3.233,83 km².

De acordo com o Serviço Geológico do Paraná (2001) a região de estudo está localizada na Bacia Sedimentar do Paraná, que teve sua formação a partir do período Devoniano, há aproximadamente 400 milhões de anos. É caracterizada por ser uma bacia sedimentar, intracratônica. Ainda conforme o Serviço Geológico do Paraná (2001), a evolução do relevo ocorreu por sequências de subsidências e soerguimentos com atuação de processos diferenciais erosivos. A litologia da área de estudo se constituiu no período Mesozoico, caracterizado por rochas sedimentares e de origem continental, e também por rochas ígneas extrusivas, de idade jurássico-cretácea (Figura 3). A região de estudo possui rochas predominantemente basálticas, ricas em ferro, gerando solos em cor avermelhada.

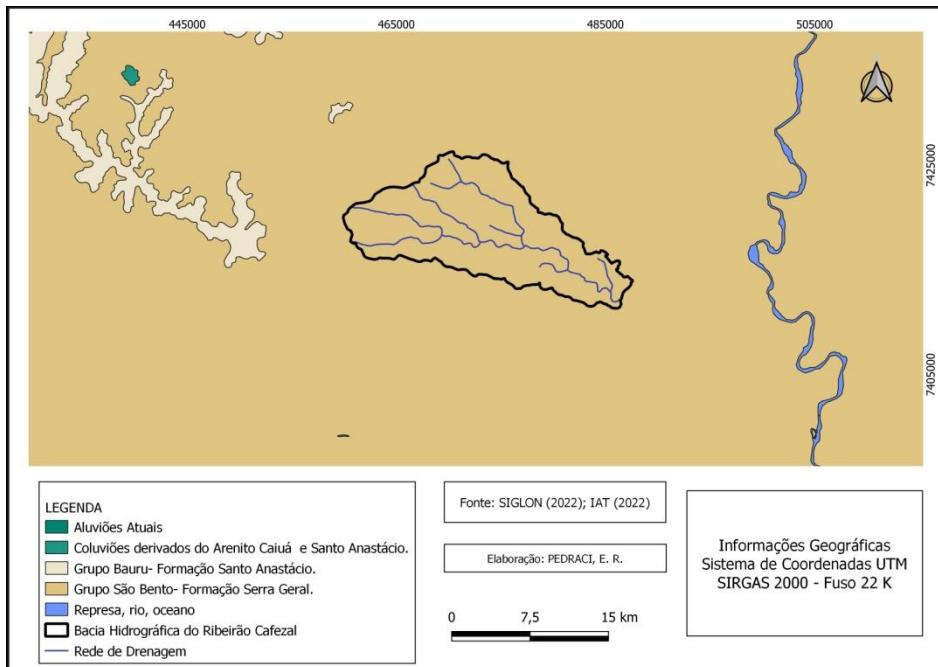
Figura 3: Representação da Idade geológica da área estudada



Fonte: MINEROPAR (2001) Org. Da Autora, 2022.

A área estudada está geologicamente inserida na porção sudeste da Bacia Sedimentar do Paraná, com predominância de rochas pertences ao Grupo Serra Geral (Figura 4) um conjunto litológico representado por sequências de derrames vulcânicos de grande extensão cobrindo cerca de 1.000.000 km², com idades entre 137 e 127 milhões de anos (Cretáceo) e espessuras que podem alcançar até 1700 m (HARTMANN, 2014; ARCHELA; FRANÇA; CELLIGOI, 2003).

Figura 4: Representação da formação rochosa da área estudada



As rochas ígneas dominantes na parte norte do Grupo Serra Geral, são constituídas por basalto, andesito basáltico e andesito de filiação toléítica, com estrutura de crosta inferior e superior intensamente amigdaloidais e núcleo maciço, com potencial de repositório de jazidas de geodos de ametista de classe mundial (HARTMANN, 2014).

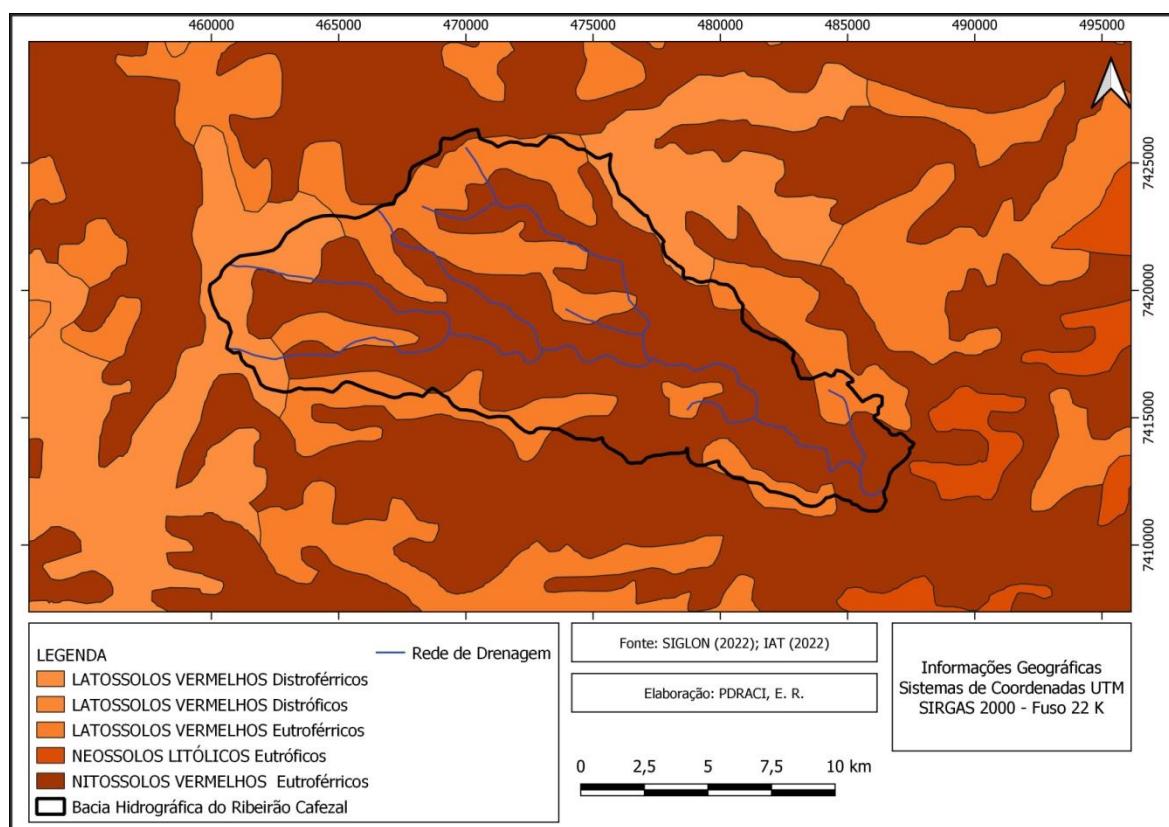
A geologia da área estudada caracteriza-se por possuir elementos estruturais, como falhas e fraturas, que permitem uma combinação apropriada de valores de porosidade e permeabilidade, possibilitando a acumulação, o armazenamento e a circulação de água subterrânea, constituindo então uma importante unidade hidrogeológica fissural, denominada de Sistema Aquífero Serra Geral (SASG).

Esse reservatório subterrâneo é fundamental para o abastecimento de várias cidades do estado do Paraná, além de ser explotado em outros estados brasileiros e países Sul-americanos (MENDES *et al.* 2002). A recarga aquífera ocorre por infiltração direta através da precipitação pluvial que recai sobre os solos de origem basáltica que interconectam o meio alterado e fraturado por zonas de descontinuidade.

Em relação a classificação dos solos distribuído no espaço que abrange a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal (Figura 5) é o Nitossolo Vermelho Eutroférlico e o Latossolo Vermelho Eutroférlico são os predominantes. De acordo

com o portal da Embrapa (2021) os Nitossolos Vermelhos Eutroféricos são derivados de rochas basálticas e são considerados de alta fertilidade e grande teor de ferro. Os Latossolos Vermelhos Eutroféricos podem ser divididos em três níveis, sendo eles Cambissólicos, Chernossólicos e típicos. Os considerados Cambissólicos possuem fragmentos de rochas e minerais primários. Os chernossolólicos são considerados intermediários e com grande fertilidade. Os Típicos não demonstram características restritivas.

Figura 5: Mapa de tipos de solos da área estudada



Fonte: IAT,(2022); SIGLON,(2022). Org. Da Autora.

3 ARTIGO A

Variação na vazão fluvial e a interferência do El Niño e La Niña: um estudo sobre a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal

Resumo

Os condicionantes do meio físico influenciam no desenvolvimento e manutenção de um sistema natural. Nesse sentido, a precipitação é uma das principais variáveis de influência nos volumes de vazão de uma bacia hidrográfica, produzindo impactos positivos ou negativos à natureza e sociedade de acordo com sua espacialização, variação temporal e intensidade. Dessa forma, para melhor compreender essa dinâmica, este trabalho teve por objetivo estudar as variações históricas das vazões fluviais da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, verificando a variabilidade da distribuição da precipitação e ocorrência do El Niño Oscilação Sul (ENOS). Para o desenvolvimento desta pesquisa foram levantados séries históricas de dados secundários de acesso público de variáveis climáticas (1970 a 2021) e de fluiometria (1988 a 2019), utilizando-se de planilhas eletrônicas e ferramentas de geoprocessamento para processamento digital o que permitiu a análise da distribuição espacial e histórica desses fenômenos na área de estudo. Como esperado, os resultados apontam que o ENOS não pode ser considerado como responsável isolado das alterações na dinâmica fluvial e precipitação de uma bacia, ou seja, existem outros fatores que causam impactos diversos na variação da vazão de um determinado curso d'água. De acordo com os dados obtidos, é possível perceber que, ainda não há alteração na dinâmica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal pela influência do ENOS, mas que com o avançar do tempo é possível que alterações desse sistema natural possam vir a ocorrer. É possível perceber um aumento nas temperaturas médias ao longo do período estudado.

Palavras-Chave: Água; Curso D'água; Bacia Hidrográfica; Ribeirão Cafezal

ABSTRACT

Conditions of the physical environment influence the development and maintenance of a natural system. In this sense, precipitation is one of the main variables that influence the flow volumes of a watershed, producing positive or negative impacts on nature and society according to its spatialization, temporal variation and intensity. Thus, in order to better understand this dynamic, this work aimed to study the historical variations of river flows in the Ribeirão Cafezal Watershed, verifying the variability of precipitation distribution and the occurrence of the El Niño Southern Oscillation (ENSO). For the development of this research, historical series of secondary data of public access of climatic variables (1970 to 2021) and fluvimetry (1988 to 2019) were raised, using electronic spreadsheets and geoprocessing tools for digital processing, which allowed the analysis of the spatial and historical distribution of these phenomena in the study area. As expected, the results indicate that ENSO cannot be considered as responsible alone for changes in the fluvial dynamics and precipitation of a basin, that is, there are other factors that cause different impacts on the variation of the flow of a given watercourse. According to the data obtained, it is possible to perceive that there is still no change in the dynamics of the Ribeirão Cafezal Watershed due to the influence of ENOS, but that with the advance of time it is possible that changes in this natural system may occur. It is possible to notice an increase in average temperatures over the period studied.

Keywords: Water; Watercourse; Watershed; Ribeirão Cafezal

3.1 INTRODUÇÃO

A água é fonte essencial à vida, no entanto, apenas ao final do século XX a preocupação com sua preservação começou a ser discutida. Diversos fatores podem alterar os sistemas hídricos. Entre esses fatores destaca-se o clima, um dos principais agentes de transformação da Terra.

Conforme aponta Duarte (2009) as mudanças climáticas podem alterar o ciclo da água produzindo diversos impactos sobre a natureza e sociedade. Nesse sentido, a precipitação pluviométrica, para a autora, é uma variável fundamental na caracterização dos tipos e modificações climáticas que podem afetar negativamente o ambiente, temática essa que vem se destacando em pesquisas científicas nos últimos anos, surgindo então, a necessidade de maiores estudos nessa área, especialmente associada aos sistemas hídricos, considerando a bacia hidrográfica como unidade territorial de gestão e planejamento para a sociedade moderna.

A distribuição no tempo e espaço da água pode ser afetada por intervenções dos sistemas atmosféricos locais e regionais, bem como, por fatores do meio físico, como as formas de relevo e distribuição da vegetação, mas também por intervenções humanas. Assim, os condicionantes antrópicos e naturais influenciam no ciclo da água, pois, o clima, a vegetação, o uso do solo, a topografia e as características das chuvas (des)regulam os processos hidrológicos ao longo dos limites territoriais das bacias. (DUARTE, 2009)

Nesse sentido, para que os recursos hídricos sejam distribuídos com qualidade e quantidade para o consumo da sociedade, se faz necessário compreender a distribuição e correlações no tempo e espaço de diferentes variáveis que interferem nessa dinâmica, sobretudo: a poluição das águas; o uso e ocupação da terra; a manutenção das áreas de preservação permanente no entorno de cursos d'água; coleta de dados históricos sobre vazão, eventos climáticos e compreensão do aquecimento global sobre diferentes escalas de impactos.

Nesse sentido, alguns dos fenômenos climáticos que podem interferir e modificar as condições climáticas e consequentemente, a dinâmica da água em diversas regiões do globo são o El Niño e o La Niña. Tucci (2002) aponta que o fenômeno El Niño tem afetado o clima do planeta com maior frequência a partir da década de 1970.

De acordo com Terassi et. al (2017) o El Niño é um dos principais fenômenos de modificação no regime de chuvas do Brasil. É ocasionado pelas combinações de anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) e a pressão atmosférica no Oceano Pacífico Equatorial. No Norte do estado do Paraná, os fenômenos El Niño e La Niña agem de forma considerável, alterando a variabilidade das chuvas.

De acordo com Limberger (2015) para compreensão dos fenômenos atmosféricos faz-se necessário entender a Temperatura da Superfície do Mar o que a autora denomina TSM. Para a autora, o oceano é um grande agente de transformação climática na atmosfera. A relação entre as condições climáticas de determinadas regiões e a TSM é chamada de teleconexão. Alterações na superfície do mar podem influenciar anomalias dos elementos atmosféricos em locais bastante distantes da anomalia oceânica original, ou podem ainda ter efeitos globais. (LIMBERGER, 2015)

Segundo Limberger (2015) eventos como o El Niño e La Niña caracterizam uma modificação na TSM na região do oceano Pacífico centro-leste que associada a oscilação da pressão atmosférica da porção do Pacífico Sul, altera as condições climáticas em todo planeta, devido sua magnitude.

O ENOS é considerado uma “gangorra” de pressão atmosférica em grande escala que atua sobre o Oceano Pacífico, e é marcada por condições anômalas no oceano e na atmosfera. Estas oscilações ocorrem periodicamente ao longo da zona de ressurgência da corrente de Humboldt, no Pacífico equatorial leste e regiões costeira do Peru e sul do Equador. Desenvolvem-se lentamente, acoplando os processos que ocorrem entre o oceano e a atmosfera. (LIMBERGER, 2015, p. 64)

A fase quente do El Niño Oscilação Sul (ENOS), em situações de anomalias no Oceano Pacífico tropical, de acordo com Limberger (2015) ocorre uma variação de pressão atmosférica entre leste e oeste do Pacífico, com ventos mais fracos que o de costume na porção equatorial central, com conversão da direção do vento para leste da região de grande convecção atmosférica, com chuva até o pacífico tropical central. Para o fenômeno La Niña, essas condições são o contrário. Desse modo, esses fenômenos podem alterar, de maneira diferente, o regime de precipitação de diversas regiões.

A limitada extensão das áreas impactadas por eventos ENOS indica a grande variabilidade do evento, e indica uma necessidade de se enfatizar a natureza probabilística das respostas climáticas ao invés de se considerar uma resposta única por eventos ENOS anteriores. As áreas afetadas por eventos ENOS mudam de estação para estação. (LIMBERGER, 2015, p. 69)

De acordo com Barcellos et. al (2020) a dinâmica da precipitação interfere de maneira direta na natureza, mas também nos diversos setores da economia. Para os mesmos autores, a precipitação é fundamental na manutenção do ciclo hidrológico, que, por sua vez, é um fator importante para a transformação das paisagens.

Todos esses processos devem ser avaliados e conduzidos de forma sistêmica e integrada, considerando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão. Partindo dessa premissa, esta pesquisa tem como objetivo analisar as variações históricas das vazões fluviais da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal-PR, e a ocorrência do ENOS sobre a variabilidade da distribuição da precipitação, temperatura média do ar.

A bacia em estudo representa um importante manancial regional que tem drenagem no sentido de oeste a leste entre os municípios de Rolândia, Cambé e Londrina no norte do estado do Paraná. Estes municípios são importantes para o setor agrícola e industrial, bem como, concentram considerável número de habitantes.

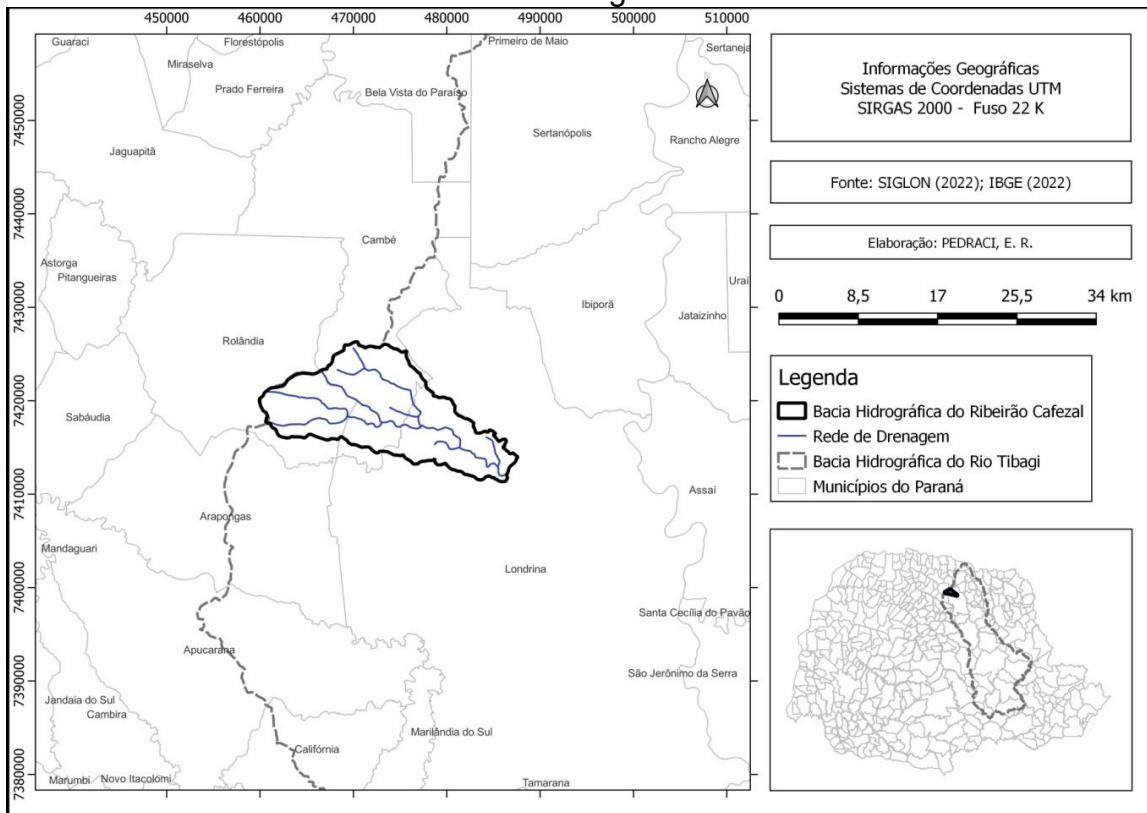
3.3 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram consultadas e selecionadas bibliografias de interesse, levantamento de dados secundários de disponibilidade pública e análises qualquantitativas das variáveis climáticas e de fluviometria para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal-PR, etapas necessárias para cumprir com o principal objetivo da presente pesquisa.

3.3.1 Localização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal localiza-se ao Norte do estado do Paraná, e sua rede de drenagens percorre no sentido NW-SE transpassando o território de três municípios: Cambé, Londrina e Rolândia. A bacia estudada é um dos principais afluentes do Rio Tibagi, como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal em contexto regional.



Fonte: SIGLON (2021); IBGE (2021). Org. Da autora.

A bacia estudada é um dos primeiros mananciais de abastecimento do município de Londrina-PR. Segundo Kataoka (2017), apresenta uma área de aproximadamente 20.621 hectares composto por 23 afluentes diretos e 10 indiretos, distribuídos ao longo dos 41 km de extensão de sua principal linha de drenagem.

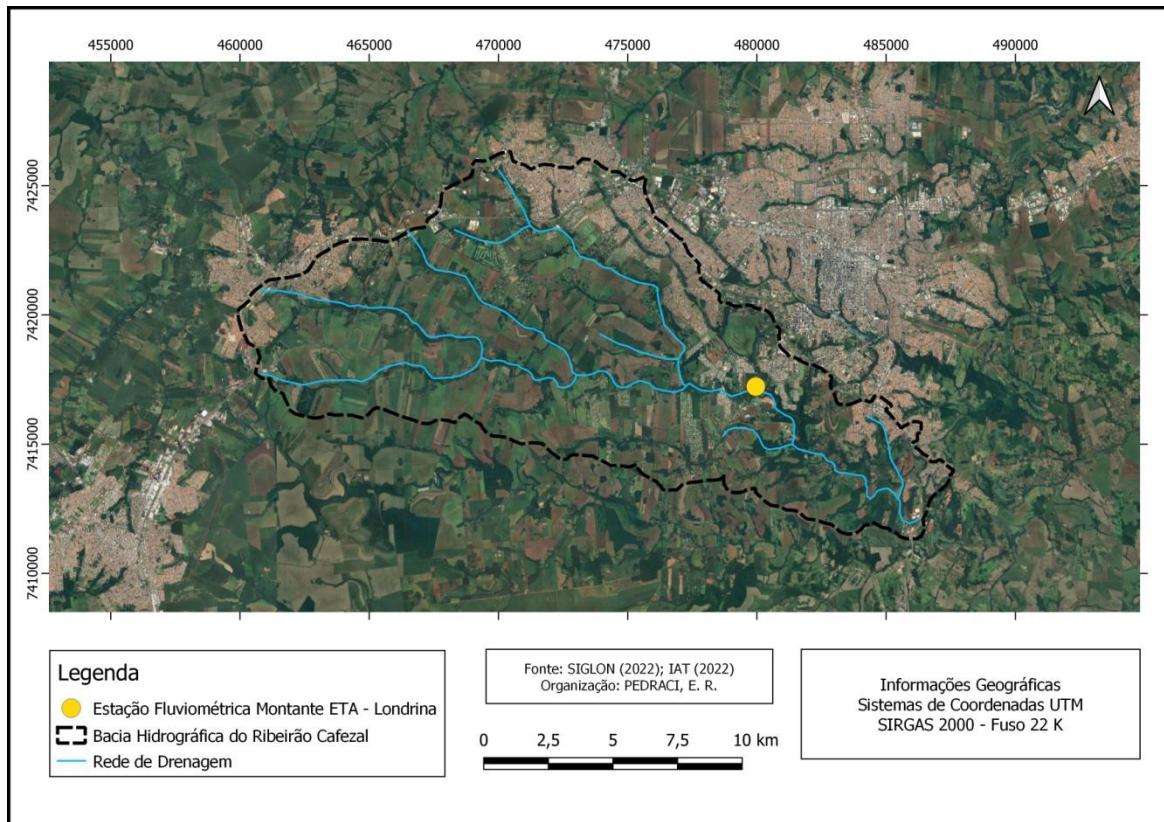
3.3.2 Levantamento de dados

Os dados secundários foram coletados via internet, de sites disponibilizados por agência e institutos de públicos de pesquisas. Em específico, os dados de precipitação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal foram extraídos do portal HidroWeb, da Agência Nacional de Águas - ANA (2021). Para os dados de vazão, utilizou-se do portal do Instituto Água e Terra – IAT (2021) e, por sua vez, as informações sobre os fenômenos climáticos foram extraídas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

A Bacia estudada possui duas estações fluviométricas, no entanto, para a coleta de dados necessários para este estudo, foi utilizada apenas uma, sendo ela a estação Londrina MTE ETA Sanepar (Figura 7) por apresentar a disponibilidade de

dados com maior período histórico (1988-2019), maior área de drenagem, segundo IAT (2021) (131,30 km² ante 46,70km²) e maior ocupação urbana do uso e ocupação da terra, em análise visual primária de acordo com a Figura 7.

Figura 7: Mapa de localização da Estação Fluviométrica utilizada neste trabalho.



Fonte: IAT (2022) SIGLON (2022). Org. Da autora.

3.3.3 Tratamento de dados

Para melhor compreensão das dinâmicas climáticas e hidrológicas que afetam a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal – PR, procurou-se obter melhor distribuição histórica possível das variáveis estudadas. Com isso, para precipitação e temperatura, a disponibilidade dos dados encontrava-se entre os anos de 1970 e 2020 (ANA, 2021), enquanto para os dados de vazão, entre 1988 e 2019 (IAT, 2021). Infelizmente, para fluviometria, além de apresentar período histórico inferior às variáveis climáticas, para alguns anos não constam levantamentos, porém, mesmo com alguns dados falhos para esta variável, o volume de informações levantadas foi suficiente para alcançar os objetivos propostos.

Dessa forma, para o armazenamento, georreferenciamento e análise dos dados, esta pesquisa utilizou de ferramentas de geoprocessamento em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Para isso, foi utilizado o *software* QGIS. O

ambiente SIG foi determinante para o processamento digital das informações, que possibilitou a produção de tabelas, gráficos e sua distribuição espacial a partir de mapas.

Além disso, empregou-se análise estatística clássica para determinação do nível de relações lineares entre as diferentes variáveis estudadas. Assim, considerou o nível de correlação dos valores de distribuição da série histórica de precipitação total anual com a temperatura média anual do ar e posteriormente, o nível de correlação entre o primeiro e a distribuição da série histórica de vazão para a área estudada.

Para se estabelecer possíveis relações gráficas temporais entre o fenômeno atmosférico-oceânico e variáveis climáticas e hidrológicas continentais para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal – PR, foi proposta metodologia para o tratamento dos dados, estabelecendo relações numéricas entre ausência ou ocorrência ENOS e seus respectivos níveis de atuação (fraco, moderado, forte) durante o período histórico estudado, de acordo com CPTEC-INPE (2022) e apresentado na Tabela 1.

O mesmo nível de classificação também foram aplicados para fluviometria, mas considerando os desvios positivos e negativos em relação aos valores médios históricos de vazão, considerando 3 níveis positivos acima da média e 2 níveis negativos abaixo da média.

Tabela 1 – Relação numérica e níveis de ocorrência do fenômeno ENOS.

	Nível de Ocorrência			
ENOS	Ausência	Fraco	Moderado	Forte
El Niño	0	1	2	3
La Niña	0	-1	-2	-3

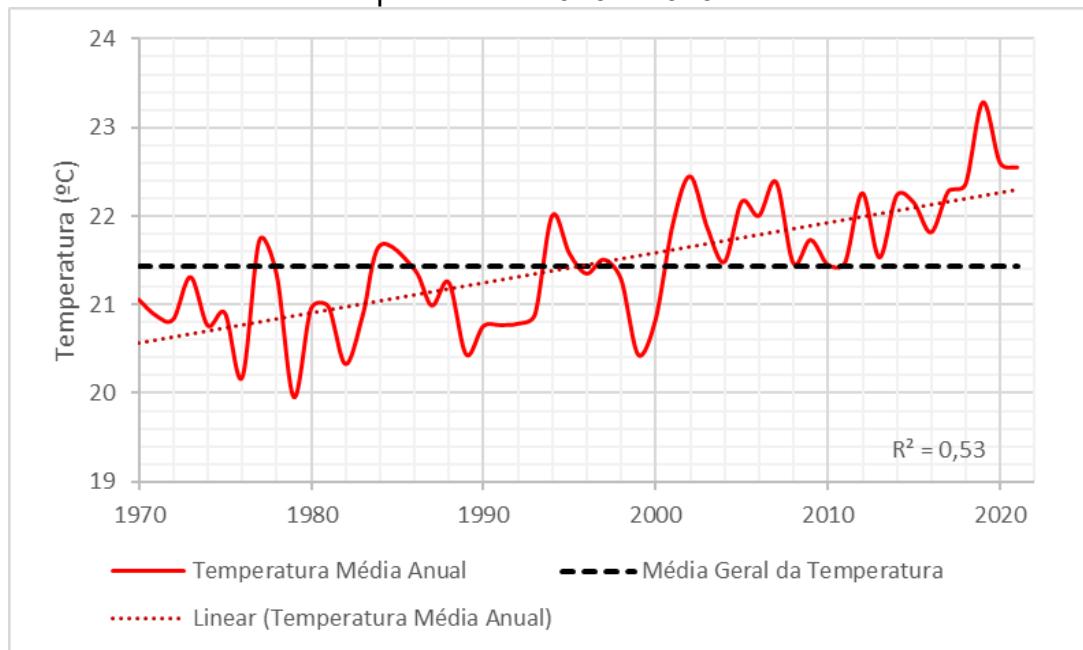
Fonte: CPTEC-INPE (2022). Org. Da autora.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 OSCILAÇÕES DA TEMPERATURA MÉDIA DO AR

As oscilações históricas da temperatura média do ar na região de estudo, no período de 1970 a 2020, podem ser vistos na Figura 8.

Figura 8: Temperatura média anual da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafetal no período de 1970 a 2020.



Fonte: INMET(2022). Org. Da autora, 2022.

A análise da Figura 8 permite observar que até o ano de 2000 a temperatura média anual do ar se manteve abaixo de 22,5°C para a região da bacia hidrográfica estudada, com algumas variações pontuais que apresentaram valores acima da média geral (21,4°C) para esse período de análise (1970 – 2022), como em 1977, 1984 e 1994. Contudo, desde o início do século XXI as temperaturas médias anuais se mantiveram, em sua maioria, acima da média geral para as últimas duas décadas (2001 a 2021) analisadas e até mesmo acima dos 22°C, tendo em 2019 a maior máxima da série para 51 anos de medições, atingindo índice de 23,3°C (Figura 8).

Desse modo, com base nessas oscilações evidenciadas, a análise dos dados permite a simulação de um novo exercício, onde se constata que nestes últimos 20 anos a temperatura média do ar (22,07 °C) está 0,63 °C acima da temperatura média para a série, ou 1,07 °C acima da temperatura média das 3 primeiras décadas da série (1970 a 2000).

Como exemplo, o IPCC (2018) constata através de projeções, que o mundo alcançará a qualquer momento da próxima década temperaturas médias da superfície de 1,5º C (irreversível) acima de valores do período pré-industrial (entre 1850 e 1900), ou seja, cerca de 10 anos antes projetado em relatórios anteriores. Ainda de acordo com a publicação, sem a adoção de medidas globais para redução das emissões de CO₂, o aquecimento Global atingirá temperatura acima de 2 °C até 2100, com riscos severos de impactos para o Planeta, como a ocorrência cada vez mais frequentes de eventos climáticos extremos, elevação médio Global dos oceanos e perdas de ecossistemas aquáticos e terrestres.

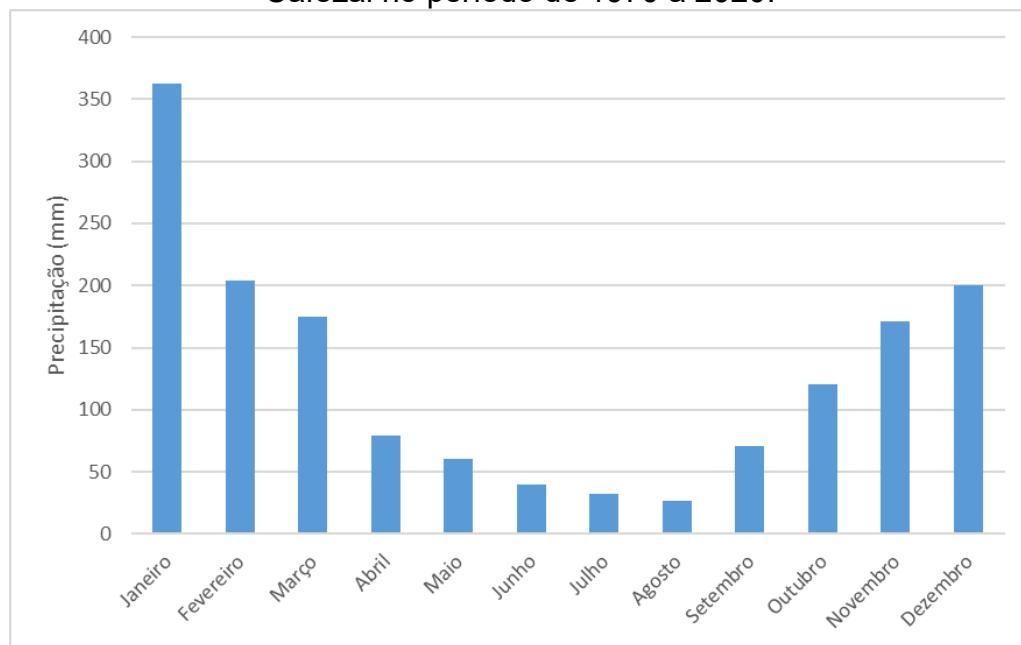
De modo geral, foi possível constatar o aumento médio das temperaturas do ar para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, como mostra a Figura 8, com coeficiente de determinação linear (r^2) de elevação em 53%.

Assim, reflete-se em nova comparação, entre as décadas de 1970 e 1980 a temperatura média anual para a bacia em estudo era de aproximadamente 20°C, para a seguinte (1981-1990) saltou para 21°C e para a década de 2010, já no século XXI, a temperatura média do ar elevou-se para 22°C, ou seja, 2°C positivos comparados aos valores médios da primeira década de levantamentos desta variável.

4.1.1 Distribuição da precipitação total na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal

Utilizando as médias mensais históricas da estação climática da bacia estudada, foi elaborado histograma da precipitação mensal média entre 1980 e 2020 (Figura 9). Constatou-se assim, que o mês mais seco foi agosto, com médias de 26,6 mm mensais, enquanto o mês mais chuvoso foi janeiro, com média de 362,6 mm. A distribuição espacial dos valores médios de precipitação é possível visualizar estações muito bem definidas entre períodos mais chuvosos (janeiro, fevereiro e março) e secos (junho, julho e agosto).

Figura 9: Precipitação (mm) mensal média para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal no período de 1970 a 2020.

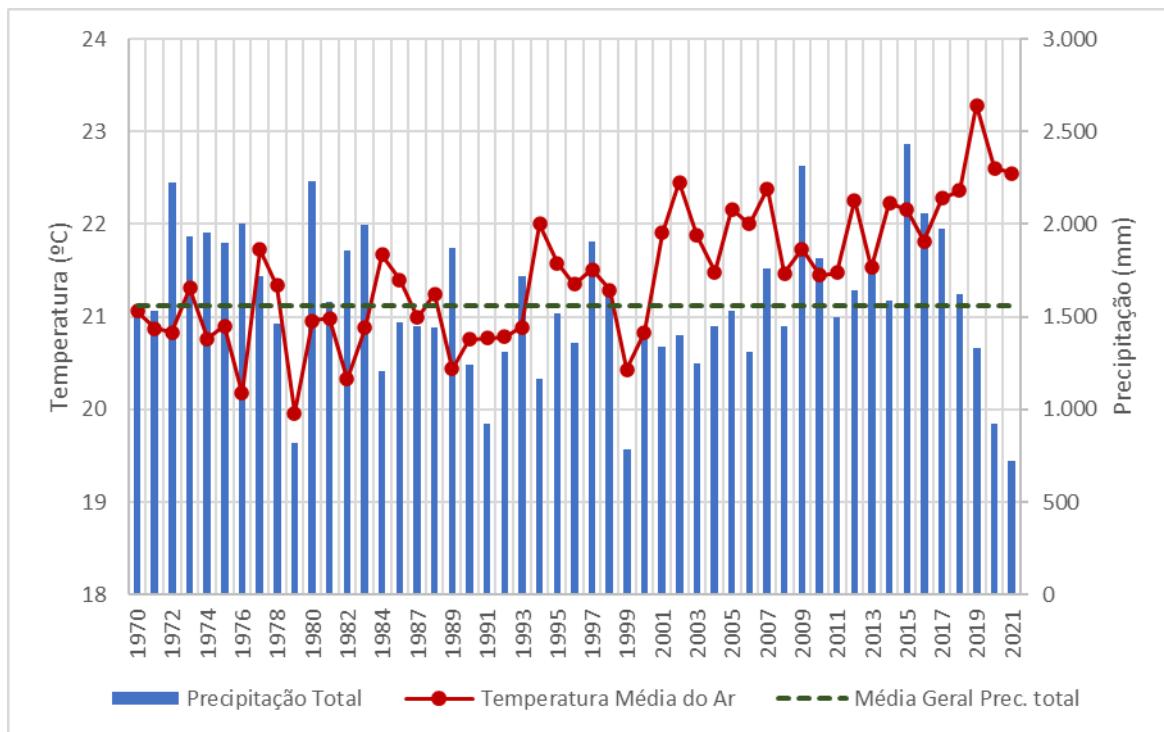


Fonte: INMET (2022). Org. Da autora, 2022.

Porém, a variabilidade da precipitação em bacias hidrográficas está associada à dinâmica atmosférica e a condições de relevo em diferentes escalas de análise, desse modo, sua distribuição no tempo e espaço também estará associado às variações de temperatura, tanto a nível global, quanto regional.

Dessa forma, regionalmente é apresentado comparativo entre as distribuições dos valores de temperatura média do ar e precipitação para a série histórica de 1970 a 2020 na área de estudo através da apresentação gráfica (Figura 10). A partir dessa avaliação se constata que a maior parte dos índices de precipitação total estão abaixo de 2000 milímetros anuais. Contudo, alguns valores extrapolam essa condição, como para nos anos de 1972, 1980, 2009, 2015 e 2016, como será melhor detalhado adiante.

Figura 10: Precipitação total (mm) e temperatura média anual ($^{\circ}\text{C}$) para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafetal (1970-2021).



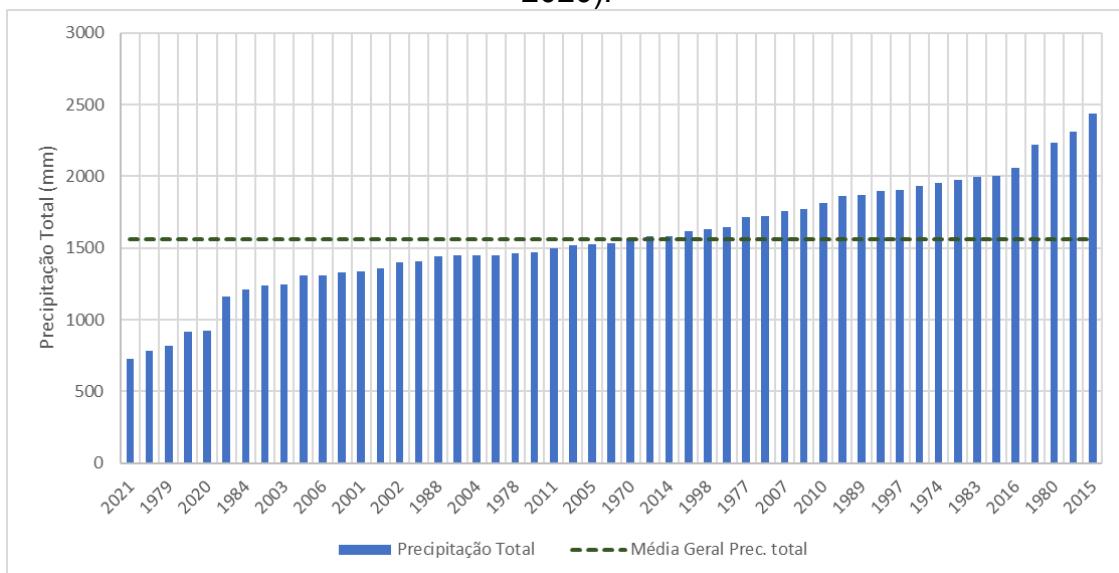
Fonte: INMET(2022). Org. Da autora, 2022

Antes, cabe ressaltar que os índices de precipitação total apresentam distribuição histórica distinta dos da temperatura média, pois as chuvas não apresentam tendências de crescimento ou de diminuição linear médio para a bacia hidrográfica estudada (Figura 10).

Porém, algumas variações se destacam como mostra a Figura 11, onde os índices acumulados acima da média geral de precipitação se concentram, principalmente, nos primeiros 14 anos medições, como nas sequências entre 1972 e 1977 e de 1980 a 1984, mas é necessário destacar que as máximas alcançadas estão em 2009 e 2015, com valores de 2311 mm e 2434 mm, respectivamente.

Para os anos com os menores índices de precipitação, a variabilidade de dados também se apresenta sem um padrão constante, mas ao se estabelecer uma classificação envolvendo os menores valores de chuva total para a série histórica pesquisada, é possível constatar que das seis primeiras posições no topo, 5 pertencem aos últimos 30 anos de medições, 1994, 2020, 1991, 1999 e 2021, com 1162 mm, 922 mm, 919 mm, 780 mm e 724 mm, respectivamente, a exceção é o ano de 1979, com 817 mm de precipitação acumulados (Figura 11).

Figura 11: Classificação da distribuição da Precipitação (mm) acumulada (1970-2020).

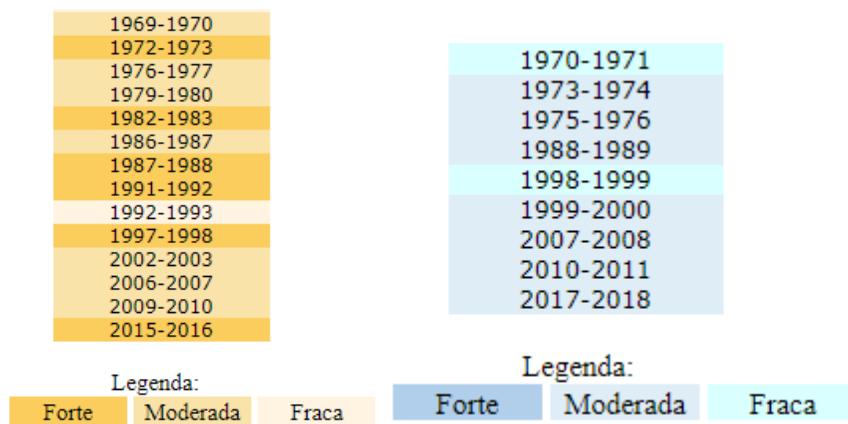


Fonte: INMET(2022). Org. Da autora, 2022

4.1.2 Fenômenos ENOS e a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal

De acordo com o CPETEC - INPE (2022) os períodos anuais de ocorrência do fenômeno ENOS e seus níveis de classificação para os períodos de interesse desta pesquisa podem ser vistos na Figura 12.

Figura 12: Ocorrência dos Fenômenos El Niño (cor laranja) e La Niña (cor azul) a partir de 1970 – 2018.



Fonte: INPE (2021) Org. Da autora

Para observar a influência do fenômeno El Niño de ocorrência forte nos índices médios totais de precipitação e médias anuais de temperatura foi estruturado a Tabela 2.

Tabela 2: Períodos, precipitação e temperatura média de El Niño com grau considerado forte.

Ano	Precipitação total (mm)	Temperatura média (°C)
1972	2220,8	20,83
1973	1930,5	21,31
1982	1859,7	20,33
1983	1992,9	20,88
1987	1449,7	20,99
1988	1443,6	21,25
1991	918,9	20,77
1992	1306,6	20,78
1997	1902,4	21,51
1998	1633	21,29
2015	2134	22,15
2016	2060,9	21,82

Fonte: HIDROWEB, 2021. Org. da autora.

Dessa forma, a Tabela 2 mostra que as temperaturas médias máximas ultrapassou 21°C, enquanto que para alguns destes períodos, houve um aumento de pouco mais de 22% da média de precipitação para toda a série histórica.

Para o ano de 1972, a média mensal de precipitação apresentou um volume de 2220,8 milímetros, a temperatura alcançou média de 20°. No ano de seguinte, a precipitação apresentou um valor de 1930,5 mm, a temperatura média foi de 21°. O ano de 1982 a precipitação foi de 1859,7 mm e a temperatura foi de 20°. No ano de 1983, a média de temperatura foi similar ao ano anterior e a precipitação foi de 1992,9 mm. No ano de 1987, a precipitação apresentou uma média mensal de 1449,7 mm e a temperatura foi de 20°. No ano 1988, a precipitação apresentou valor próximo ao ano anterior, no entanto, a temperatura média ficou em 21°.

Para o ano de 1991, a precipitação foi mais baixa se comparada aos anos anteriores, apresentando um valor de 918,9 milímetros e a temperatura manteve uma média de 20°. Para o ano de 1992, a precipitação média mensal foi de 1306,6 milímetros e a temperatura média foi de 20°. Para o ano de 1997 a precipitação apresentou um valor médio mensal de 1902,4 milímetros e a temperatura média foi de 21°. No ano seguinte, a precipitação média ficou em 1633 milímetros e a temperatura média foi de 21°.

O ano de 2015 apresentou uma precipitação média mensal de 2434 milímetros e a temperatura ficou em 22°. No ano de 2016, a precipitação apresentou

um valor de média mensal de 2060,9 e a temperatura se manteve a mesma do ano anterior.

Nos anos de 1986-1988, 1994-1995, 2002-2003, o fenômeno El Niño teve grau moderado. Nos períodos de 1986-1987 e 2002-2003, ambos com grau de intensidade do fenômeno considerado moderado, mantiveram uma constante no volume de precipitação. No ano de 1986, como pode ser observada na Tabela 3, a precipitação total mensal foi de 1467,3 milímetros e a temperatura manteve uma média de 21°. No ano de 1989, a precipitação foi de 1871,9 e a temperatura foi de 20°.

Tabela 3:Períodos, precipitação e temperatura média de El Niño com grau considerado moderado.

Ano	Precipitação total (mm)	Temperatura média (°C)
1986	1467,3	21,4
1989	1871,9	20,44
1994	1162,8	22
1995	1517,5	21,58
2002	1399,9	22,45
2003	1244,6	21,87
2006	1312	22
2007	1759,7	22,38

Fonte: HIDROWEB, 2021. Org. da autora

No ano de 1994, a temperatura média foi de 22° e a precipitação foi de 1162,8 milímetros. No ano seguinte, a precipitação foi de 1517,5 milímetros e a temperatura teve uma média de 21°. Para o ano de 2002, a precipitação manteve uma média de 1399,9 mm e a temperatura apresentou uma média de 22°. No ano seguinte, a temperatura cai para 21° e a média de precipitação mensal apresenta um valor de 1244,6 mm. Para os anos de 2006 e 2007, a temperatura ficou em média de 22° para os dois anos, e a precipitação ficou em 1312 e 1759,7 milímetros respectivamente.

Já o fenômeno La Niña, teve grau moderado nos períodos 1973-1974, 1975-1976, 1988-1989, 1999-2000, 2007-2008, 2010-2011 e 2017-2018. Para os anos de 1974, 1975 e 1976, a temperatura ficou 20° C, a precipitação apresentou valores de 1953,9, 1899,1 e 2000,5 milímetros respectivamente. Para o ano de 1989, a precipitação foi de 1871,9 milímetros e a temperatura foi de 20° C. Em 1999, a precipitação total mensal foi baixa, se comparada aos anos anteriores onde o La Niña teve grau moderado. Para o mesmo ano, a precipitação foi de 780,3 milímetros, e a temperatura se manteve em 20°, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4: Períodos, precipitação e temperatura média de La Niña com grau considerado forte.

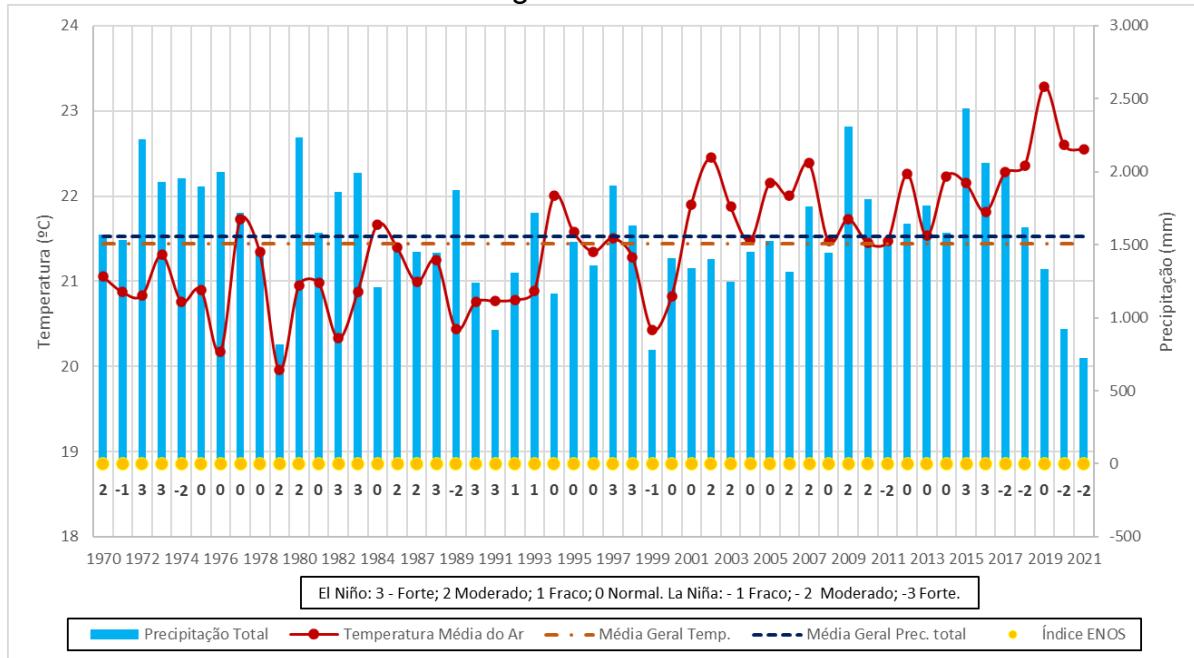
Ano	Precipitação total (mm)	Temperatura média (°C)
1974	1953,9	20,76
1975	1899,1	20,9
1976	2000,5	20,18
1989	1871,9	20,44
1999	780,3	20,43
2000	1406,2	20,83
2007	1759,7	22,38
2008	1446,2	21,47
2010	1813,6	21,45
2011	1498,1	21,47
2017	1974,6	22,28
2018	1619,7	22,36

Fonte: HIDROWEB, 2021. Org. da autora

Para o ano de 2000, a precipitação média mensal foi de 1406,2 milímetros e a temperatura média mensal foi de 20° C. Para o ano de 2007, a precipitação foi de 1759,7 milímetros e a temperatura foi de 22° C. Nos anos 2008, 2010 e 2011, a temperatura foi similar, com uma média anual de 21° C, a precipitação foi de 1446,2, 1813,6 e 1498,1 milímetros, respectivamente. Nos anos de 2017 e 2018 a temperatura média foi similar, apresentando 22° com precipitação mensal acumulada de 1974,6 e 1619,7 milímetros, respectivamente.

Para melhor análise a Figura 13 apresenta a relação comparativa entre o comportamento histórico da temperatura e precipitação anual da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal e a classificação para o índice ENOS de 1970 a 2020..

Figura 13: Relação entre a temperatura, precipitação e fenômenos El Niño e La Niña na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafetal.



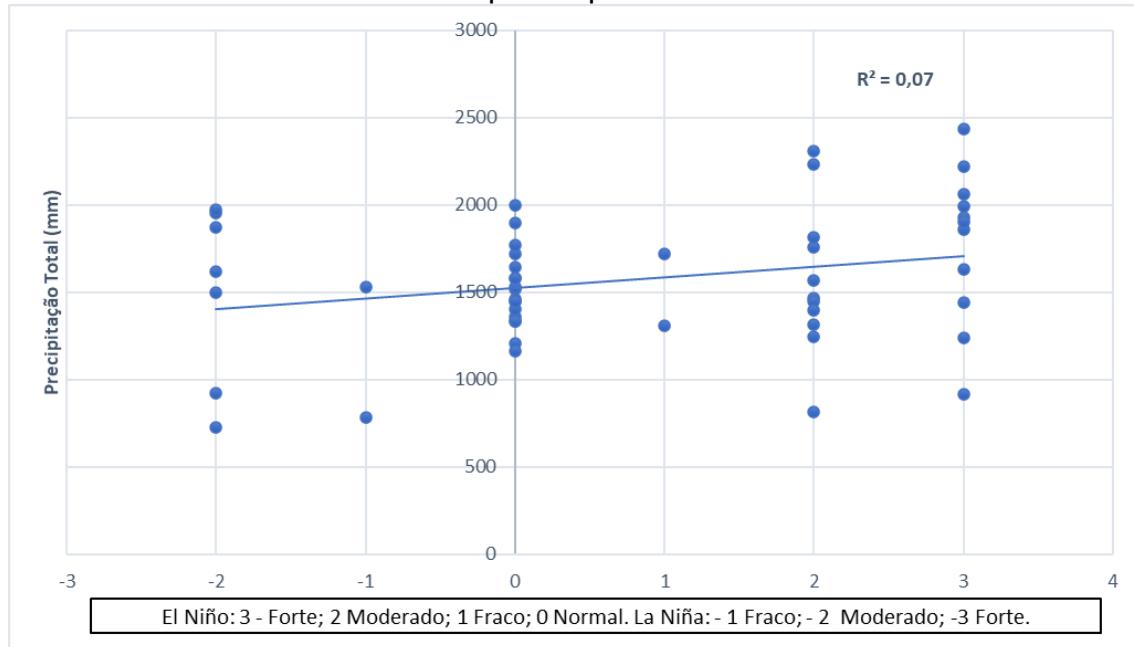
Fonte: INPE (2022) Org. Da Autora, 2022

A Figura 13 mostra que mesmo com a variabilidade do índice ENOS ao longo da série histórica, com frequências predominantes da classe normal ou 0 (11 amostras de 31), entre 2001 e 2021, ocorreram as maiores médias de temperatura, onde é possível observar que nesses últimos 10 anos a curva oscila predominantemente acima da média geral ($21,8^{\circ}\text{C}$), com valor máximo médio de $23,3^{\circ}\text{C}$ para o ano de 2019 que estava em ano normal (0) para ENOS, por sua vez, o índice máximo de precipitação para a série ocorreu no ano de 2015, com ocorrência de EL Niño forte, ou classe 3.

Embora, os índices mínimos médios de precipitação anual total também possuem variabilidade de oscilações ao longo dos anos, é possível notar que de 2019 a 2021 foram obtidas uma importante sequência de valores próximo a mínima histórica (780 mm) da série com 1333, 922 e 1061 milímetros, respectivamente, com predomínio da ação de La Niña de classe moderada (-2) (Figura 13).

De acordo com a Figura 14, é possível perceber correlação positiva R^2 de 7% entre a precipitação total do período de 1970 até 2021 e a classificação ENOS. Entre os anos 1970 e 1980 foram cinco ocorrências de El Niño entre moderado e forte, entre 1981 e 1990, foram seis ocorrências. Para o período de 1991 e 2000, foram seis ocorrências. E de 2010 até 2021, foram duas ocorrências.

Figura 14: Correlação (R^2) entre precipitação total (mm) e Classificação do fenômeno ENOS para o período de 1970-2021.



Fonte: HIDROWEB (2022) Org. Da autora.

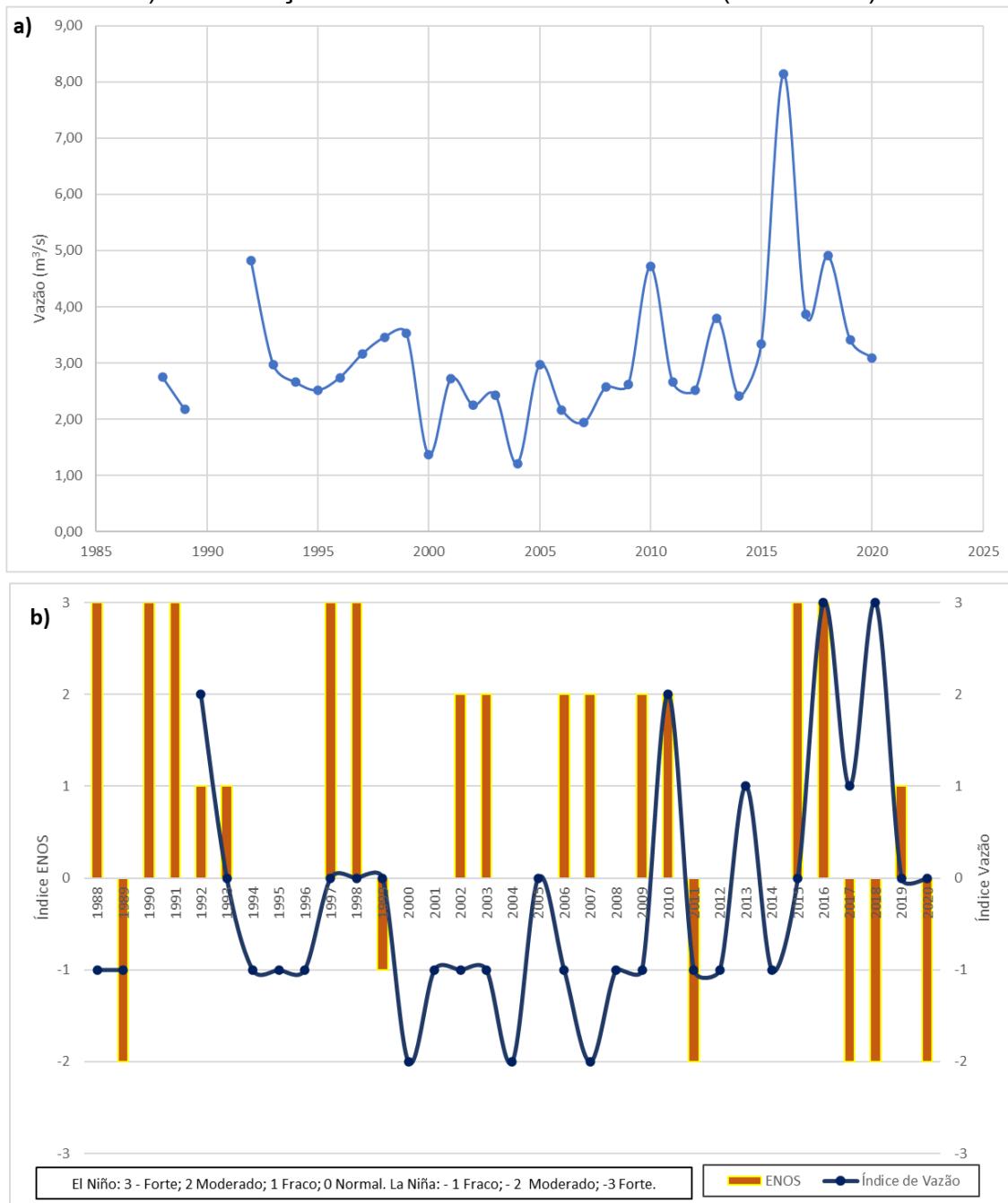
Além disso, alguns anos onde houve ocorrência do El Niño, podem ser constatados períodos de volumes consideráveis de precipitação, ou superior a 1500 mm. No entanto, em outros momentos de ocorrência do fenômeno, a precipitação esteve abaixo desse índice, alcançando mínima (815 mm) próximos as mínimas registradas em anos de ocorrência de La Niña de classe -1 e -2 (780 mm e 922 MM, respectivamente) (Figura 14). Deste modo, de acordo com os dados obtidos, não é possível relacionar exclusivamente a interferência direta do fenômeno ENOS na distribuição do total de precipitação na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal.

4.1.2 Fluvimetria para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal

Para os dados fluviométricos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, como pode ser visto na Figura 15a, a média da vazão fica abaixo de 5 m³/s até o ano de 2015, com destaque para os anos de 1999 e 2003, quando a média da vazão ficou abaixo de 2 m³/s.

No ano de 1991 a vazão foi de 4,82 m³/s, neste ano, houve a ocorrência do El Niño em grau forte (3). No ano de 2009, a vazão foi de 4,72 m³/s e o El Niño foi considerado moderado (2). Para o ano de 2015, a vazão da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal foi de 8,14 m³/s a máxima para a série histórica quando o El Niño considerado de classe forte (3).

Figura 15: a) Fluvimetria na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafetal (1987-2020) e b) classificação de ocorrência ENOS e Vazão (1987-2020).



Fonte: HIDROWEB (2021); INMET (2021). Org. da autora.

Como observado anteriormente, a ocorrência de ENOS de diferentes classificações nem sempre produzirá os índices máximos ou mínimos de distribuição das precipitações totais para a bacia hidrográfica estudada. Para a análise da fluvimetria média essa distribuição pode ser vista de forma semelhante, como mostra a Figura 15b, embora as vazões máximas de 2015 podem ter sido

influenciados de forma mais sustentada pela ocorrência do El Niño forte para esse ano.

Contudo, de modo geral, a distribuição do índice de vazão -1 (vazão fraca) é predominante, perfazendo 45,2% da frequência relativa e normalmente associada a não ocorrência de ENOS ou classe 0,, que por sua vez, corresponde a maior taxa de ocorrência, ou 35,5 % de frequência relativa (Figura 15b).

4.1.4 Vazão e Precipitação para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal e impactos na sociedade

A variação do volume da vazão do Ribeirão Cafezal é apresenta diferentes resultados. No período 1991-1992 houve uma queda no volume de vazão. Já no período 1997-1998 houve um aumento na variação da vazão. Em 2002-2003 houve queda na variação, tendo um aumento em 2006-2007, com novas quedas no período 2009-2010 e 2015-2016.

Vale observar que um valor discrepante foi o ano de 2015-2016, quando um grande volume de precipitação ocorreu na região de estudo, causando diversos estragos como pode ser observado na Figura 16. De acordo com a Prefeitura Municipal de Londrina, 1.744 pessoas foram atingidas pelas fortes chuvas, 15 dessas ficaram desabrigadas, 2.675 imóveis tiveram interrupção de energia, o abastecimento de água foi prejudicado, e cinco vias da região foram interditadas.

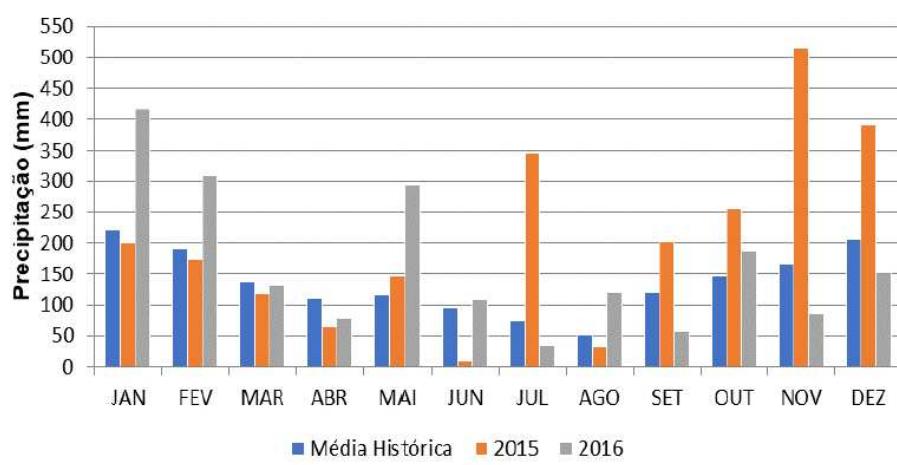
Figura 16: Barragem do Parque Ecológico Daisaku Ikeda destruída por enxurrada no município de Londrina, ano 2016.



Fonte: Junior Evangelista/G1, 2022.

No período de 2015-2016, com o El Niño considerado de grau forte, houve um aumento significativo no volume de precipitação em comparação ao período histórico como pode ser observado na Figura 17. A comparação entre os anos 1976 a 2016 demonstra que a precipitação de julho de 2015 e fevereiro de 2016.

Figura 17: Comparação entre os anos 2015 e 2016 com média histórica



Fonte: Santos et al. (2020, apud DUARTE, 2017)

A vazão da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafetal acompanhou o grande volume de precipitação no ano de 2015. Neste caso, observa-se que o fenômeno El

Niño foi um importante fator de impacto, pois neste ano a precipitação ultrapassou os 2000 milímetros, e a vazão chegou a mais de 8 m³/s.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os eventos climáticos são um dos principais agentes de impacto desse sistema. No entanto, em alguns períodos anuais pode-se notar forte influência de eventos climáticos, como o caso do ENOS. O período mais discrepante foi o de 2015-2016, onde o grau do impacto do El Niño foi classificado como forte (3), e causou um impacto visível da relação entre este fenômeno e a variação da vazão da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal.

O volume de precipitação aumentou significativamente ao passo que a variação da vazão do ribeirão também aumentou. No entanto, não é possível, de acordo com os dados observados, relacionar estes fenômenos as mudanças na dinâmica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal. O fenômeno ENOS, é apenas um dos fatores que podem alterar um sistema natural, existem outros fatores que podem causar impactos diversos na variação da vazão de um determinado curso d'água, como declividade, retirada de mata ciliar, urbanização, entre outros.

A frequência de aparecimento do fenômeno ENOS na região estudada ainda não apresenta uma constante significativa de padrão de ocorrência. Desta forma, para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, de uma maneira mais local, o fenômeno ENOS ainda não interfere de forma significativa na dinâmica da Bacia do Ribeirão Cafezal. Entretanto, a variabilidade da precipitação na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal está associada à dinâmica atmosférica regional e as condições do relevo. Os índices de precipitação total apresentam distribuição histórica distinta para a temperatura média, onde as chuvas não apresentam tendências de crescimento ou de diminuição linear médio para a bacia hidrográfica estudada.

4 ARTIGO B

O Processo de uso e ocupação da terra e a reserva reguladora: Estudo de caso para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal-PR

Resumo

A manutenção dos recursos hídricos está intrinsecamente relacionada a fatores climáticos, pois esse sistema se transforma e sofre impactos das mudanças nos regimes de chuva. Neste sentido, este trabalho se propôs a analisar a relação entre o uso da terra e a dinâmica hidrológica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal-PR. Segundo premissas iniciais, a ocupação da terra na região estudada teve seu processo de urbanização acelerado na segunda metade do século XX. Dessa forma, para melhor compreensão desse processo, o período selecionado para esta pesquisa foi de 1980 até 2020 para a coleta de dados climáticos, 1988 a 2019 para fluiometria, e de 1986 a 2020 para levantamentos de imagens disponibilizadas por sensores orbitais, permitindo a classificação do uso e ocupação da terra na bacia estudada. Para fluiometria foi aplicado método para determinação da curva de recessão, o que possibilitou produzir estimativas para as reservas reguladoras, excedentes e restituições hídricas históricas. Para correlação linear estatística das diferentes variáveis desta pesquisa para fins geoambientais na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal-PR, foi aplicado coeficiente de correlação de Pearson e coeficiente de determinação (r^2). Foi possível observar a partir da distribuição espacial e temporal da classificação do uso da terra, que a vegetação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal possuía no ano de 1985 um total de 25,631 km², apresentando a cada ano uma queda, até o ano 2000, onde a área de vegetação chegou a 17,163 km². A vegetação começa a reverter este processo e apresentar gradativa recuperação a partir do ano de 2005, passando a um total de 17,881 km². Até o final do levantamento, para o ano de 2020 a floresta apresentou um total de 25,556 km². Parte da área de vegetação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal já não existia desde a década de 1980. A análise estatística mostrou que as variáveis associadas às reservas subterrâneas aquíferas, não sofreram interferências devido à expansão urbana e perda Florestal na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, não podendo assim, correlacionar as variações de classes de uso da terra com alterações na dinâmica hidrológica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal. Fato corroborado com as relações lineares próximas entre as variações históricas na reserva reguladora do aquífero e os índices de precipitação. Contudo, foi possível perceber o aumento médio da temperatura do ar, que apesar de não interferir nas estimativas de reserva, teve influência na variação do excedente hídrico.

Palavras-Chave: Bacia Hidrográfica; Ribeirão Cafezal; Reserva Reguladora; Restituição Relativa;

ABSTRACT

The maintenance of water resources is intrinsically related to climatic factors, as this system is transformed and suffers impacts from changes in rainfall patterns. In this sense, this work proposed to analyze the relationship between land use and the hydrological dynamics of the Ribeirão Cafezal-PR Watershed. According to initial assumptions, land occupation in the studied region had its urbanization process accelerated in the second half of the 20th century. Thus, for a better understanding of this process, the period selected for this research was from 1980 to 2020 for the collection of climate data, 1988 to 2019 for fluvometry, and from 1986 to 2020 for surveys of images made available by orbital sensors, allowing the classification of land use and occupation in the studied basin. For fluvometry, a method was applied to determine the recession curve, which made it possible to produce estimates for regulatory reserves, surpluses and historical water restitution. For statistical linear correlation of the different variables of this research for geoenvironmental purposes in the Ribeirão Cafezal-PR Basin, Pearson's correlation coefficient and coefficient of determination (r^2) were applied. It was possible to observe from the spatial and temporal distribution of the classification of land use, that the vegetation of the Ribeirão Cafezal Hydrographic Basin had in 1985 a total of 25,631 km², presenting a decrease every year, until the year 2000, where the vegetation area reached 17,163 km². The vegetation begins to reverse this process and gradually recovers from the year 2005 onwards, reaching a total of 17,881 km³. By the end of the survey, for the year 2020 the forest had a total of 25,556 km². Part of the vegetation area of the Ribeirão Cafezal Hydrographic Basin no longer existed since the 1980s. Statistical analysis showed that the variables associated with underground aquifer reserves did not suffer interference due to urban expansion and Forest loss in the Ribeirão Cafezal Hydrographic Basin, therefore, it is not possible to correlate variations in land use classes with changes in the hydrological dynamics of the Ribeirão Cafezal Hydrographic Basin. This fact is corroborated by the close linear relationships between historical variations in the aquifer's regulatory reserve and precipitation rates. However, it was possible to perceive the average increase in air temperature, which, despite not interfering with the reserve estimates, had an influence on the variation in water surplus.

Keywords: Watershed; Ribeirão Cafezal; Regulatory Reserve; Relative Restitution;

4.1 INTRODUÇÃO

As relações de transformação da natureza por ações humanas surgem, principalmente, com as primeiras civilizações, no entanto, após a revolução industrial e principalmente nos últimos anos, os impactos ambientais sobre o meio ambiente tem se intensificado.

O aumento acelerado da população e suas demandas capitalistas, bem como os processos industriais e o consumo excessivo de produtos, tem transformado a relação entre a sociedade e a natureza. O uso dos recursos naturais está cada vez mais predatório para satisfazer o padrão de consumo imposto pelo capitalismo. Nesse sentido, a exploração dos recursos hídricos sem um planejamento adequado produz sua má distribuição e aumenta os riscos de poluição da água. De acordo com Alves *et al.* (2018) a sociedade se transformou, e conforme essa transformação, o uso da água como recurso também foi modificado.

Os recursos hídricos são importantes para o desenvolvimento da sociedade. A manutenção do sistema a qual a água pertence, está intrinsecamente relacionada a fatores climáticos, pois esse sistema se transforma e sofre impactos das mudanças nos regimes de chuva. Dessa forma, a precipitação, segundo Gomes *et al.* (2022) como um fator hidrológico com maior impacto sobre a população. É através das alterações atmosféricas que será possível a existência de enchentes, deslizamentos e erosões de solo, estiagens, inundações, entre outros.

No Brasil, com a Lei nº9.433 de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), a água começou a ser um assunto discutido e seu uso, melhor planejado. Essa Lei tem como principal objetivo manter para esta e futuras gerações, o abastecimento de água, com os parâmetros de qualidade adequados.

Além da poluição dos cursos d’água pela produção agrícola, o acelerado processo de urbanização, também impactou a qualidade das águas que estão no perímetro urbano de Londrina. Resíduos de construção, vazios urbanos, sedimentos, lixos descartados incorretamente pela população, são alguns dos meios de poluição das bacias hidrográficas.

As águas subterrâneas são importantes para a manutenção do ciclo hidrológico. Santos *et al* (2021) apontam que as águas subterrâneas alimentam o fluxo de base por meio da descarga dos aquíferos. O uso e ocupação do solo, a geologia, os tipos de solo, e o clima são algumas características que interferem neste processo.

Para Santos *et al* (2021), compreender a recarga de um aquífero é fundamental para analisar a disponibilidade de água subterrânea, podendo avaliar e planejar de forma conjunta os recursos para águas superficiais e subterrâneas. A recarga de um aquífero não é um processo linear, portanto, deve-se considerar a

série histórica para extração dos dados. Os autores analisaram a série histórica de uma determinada bacia hidrográfica e chegaram à conclusão de que as áreas urbanizadas, os tipos de cultivo agrícolas e o uso do solo para pastagem, causaram uma redução significativa da disponibilidade da água para recarga.

De acordo com Wang e Cai (2010) estimar a recessão do fluxo de base normalmente não é uma tarefa fácil. Este processo se baseia em dados diários de vazão, e a recessão é calculada a partir de uma variação na média de vazão diária. No entanto, para os mesmos autores, interferências humanas estão comprometendo este processo. Um exemplo está no bombeamento de água subterrânea, que pode impactar a curva de recessão do fluxo de base. Para Wang e Cai (2010), observar essa relação entre o fluxo de base e a interferência humana nos processos hidrológicos, deve-se analisar os dados da série histórica para a área em que se deseja estudar.

A região estudada teve seu processo de urbanização acelerado na segunda metade do século XX. A saída de grande parte da população rural, buscando na cidade uma melhor oportunidade de vida, fez com que a cidade se expandisse sem planejamento. Nesse sentido, Romanelli e Abiko (2011) abordam que a urbanização atual mostra uma falta de políticas de planejamento urbano-ambiental, ocasionando diversos problemas.

De acordo com Chies e Yokoo (2012) o processo de colonização das terras do estado do Paraná está diretamente ligado à produção do café. Foi a partir do processo de expansão da produção cafeeira, que a região norte do Paraná passou a ser de interesse de companhias de colonização.

O norte do estado do Paraná foi dividido em norte velho, norte novo e norte novíssimo. Conforme aponta Chies e Yokoo (2012) o norte velho abrange uma área que percorre o rio Itararé até a margem direita do rio Tibagi. Já o norte novo, está delimitado pelas barrancas do rio Ivaí até as cidades de Terra Rica e Terra Boa. O norte novíssimo tem esse limite até o curso do Rio Paraná, ultrapassando o rio Ivaí até a margem direta do rio Piquiri.

Segundo Chies e Yokoo (2012), apesar de possuir terras boas para atividades agrícolas, o estado do Paraná também possuía diferenças climáticas entre os outros estados que cultivavam café. O risco de geadas fez com que os produtores buscassem por novas técnicas de cultivo, para se adaptarem ao clima.

Apesar de a companhia colonizadora ter planejado as cidades do Norte do Paraná, segundo Chies e Yokoo (2012) as cidades tiveram um processo de ocupação acelerado, surgindo assim, diversos problemas ambientais. As terras destinadas ao cultivo agrícola faziam com que a vegetação fosse suprimida, sem considerar qualquer questão ambiental. O planejamento de manter a população e os animais próximos aos cursos d'água foi outra parte fundamental para os impactos ambientais, eliminando nesses locais, dejetos e outros tipos de materiais contaminantes.

A porção norte do Paraná teve um processo de modernização das atividades agrícolas, fazendo com que surgissem complexos agroindustriais, e diversificando a produção. De acordo com Fresca (2002) essa modernização fez com que uma grande porção da população residente em áreas rurais, migrasse para as áreas urbanas. Devido a essa acelerada expansão populacional nos grandes centros urbanos, não seguindo o planejamento feito para a ocupação das terras, fez com que o poder público proibisse a comercialização de novos lotes. Outro problema desse crescimento desordenado são as periferias, destinadas a população com menos poder aquisitivo, e que em muitas vezes, estão em locais de risco.

De acordo com Silva et. al. (2017) a expansão das estruturas e processos urbanos, conciliado com a falta de planejamento das bacias hidrográficas e conciliação entre os poderes públicos, faz com que os problemas ambientais sejam agravados. As construções e asfaltamento dos grandes centros urbanos gera um aumento do escoamento superficial por conta da impermeabilização do solo, alterando os processos naturais de infiltração da água no solo. A supressão total da cobertura vegetal são episódios comuns no uso do solo urbano, constituindo-se em degradação permanente em microbacias, principalmente com a retirada da vegetação das áreas de encostas que protegem os mananciais. (SILVA et al, 2017)

Outro fator de impacto da expansão urbana sobre o meio natural, segundo Cunico (2010), está no transporte de sedimentos para os fundos de vale. A vegetação é um fator importante na proteção do solo e dos cursos d'água, é através dela, que os processos erosivos no solo e a lixiviação terão menos impacto, mantendo dessa forma, um equilíbrio na qualidade da água.

Para Chaves e Santos (2009) a qualidade da água é resultado de fatores naturais, como o clima, geomorfologia, entre outros. O tipo de uso e manejo do solo também impacta na qualidade da água. Os rios menores podem apresentar valores

de variabilidade da qualidade da água. Cursos d'água servem como integradores das características da paisagem terrestre e como recipientes dos poluentes da terra e da atmosfera (CHAVES e SANTOS, 2009)

Morais (2015) aponta que os rios são indicadores fundamentais de impactos, sendo a variabilidade da água diretamente ligada à proporção da área de drenagem. As bacias que sofrem maior impacto estão localizadas em locais de grande concentração urbana. O processo de impermeabilização do solo em áreas urbanas é um dos fatores que mais contribuem para as mudanças nas características da bacia. (MORAIS, 2015)

De acordo com Perez Filho e Quaresma (2012) o uso e ocupação do solo para atividades antrópicas fez com que os seres humanos passassem a integrar os agentes transformadores da natureza nas abordagens geomorfológicas. Ainda de acordo com Perez Filho e Quaresma (2012) a partir do momento em que a sociedade surge, passa a existir uma relação de coexistência entre esta e a natureza. O uso do solo, entretanto, foi uma característica para o desenvolvimento da sociedade, principalmente por meio da agricultura, indústria e habitação. O sistema antrópico, pelo uso e ocupação das terras, principalmente com a cafeicultura e a pecuária extensiva, transformou o sistema físico/natural pré-existente em uma organização espacial expressa pela paisagem agropecuária. (PEREZ FILHO e QUARESMA, 2012)

Segundo Kobiyama et. al. (2001) a agricultura é um grande agente de degradação ambiental. De acordo com os autores, a introdução das atividades agrícolas precisa ser cautelosamente planejada, levando em consideração diversos fatores, para que dessa forma, o impacto ambiental seja reduzido.

Conforme aponta Viana e Celligoi (2002) considerando que a área de estudo está localizada na região de Formação Serra Geral, as rochas basálticas possuem textura microcristalina, com estrutura maciça e vesicular. Nesse sentido, as águas subterrâneas ocorrem conforme as zonas de descontinuidade das rochas, estando à vazão de cada poço tubular diretamente relacionada ao número e condição de abertura das fraturas atravessadas pelas perfurações. (VIANA e CELLIGOI, 2002).

De acordo com Queiroz (2012) o uso do solo para atividades agrícolas pode acarretar consequências ambientais negativas. Dentre estas, o desmatamento para uso agrícola, que retira a cobertura vegetal existente, que serve de proteção para o

meio ambiente, deixando assim o solo exposto, podendo causar erosões, assoreamento e contaminação dos cursos d'água.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) em estudo publicado em 2016, aponta que as mudanças climáticas afetam as águas superficiais, e também a taxa de recarga das águas subterrâneas. A relação entre os modos de vida da sociedade impacta significativamente o meio ambiente. A evolução nas condições de vida da civilização acelerou o crescimento demográfico no globo, causando pressão significativa sobre a demanda de recursos naturais e alterando as condições ambientais.

De acordo com Bordalo (2012) há uma necessidade de mudanças no uso da água como recurso, pois o autor apresenta a observação de um problema no abastecimento de água no mundo. Essa crise, como aponta o autor, é ocasionada pelas diversas maneiras de captação e uso da água, e da falta de distribuição desigual do recurso.

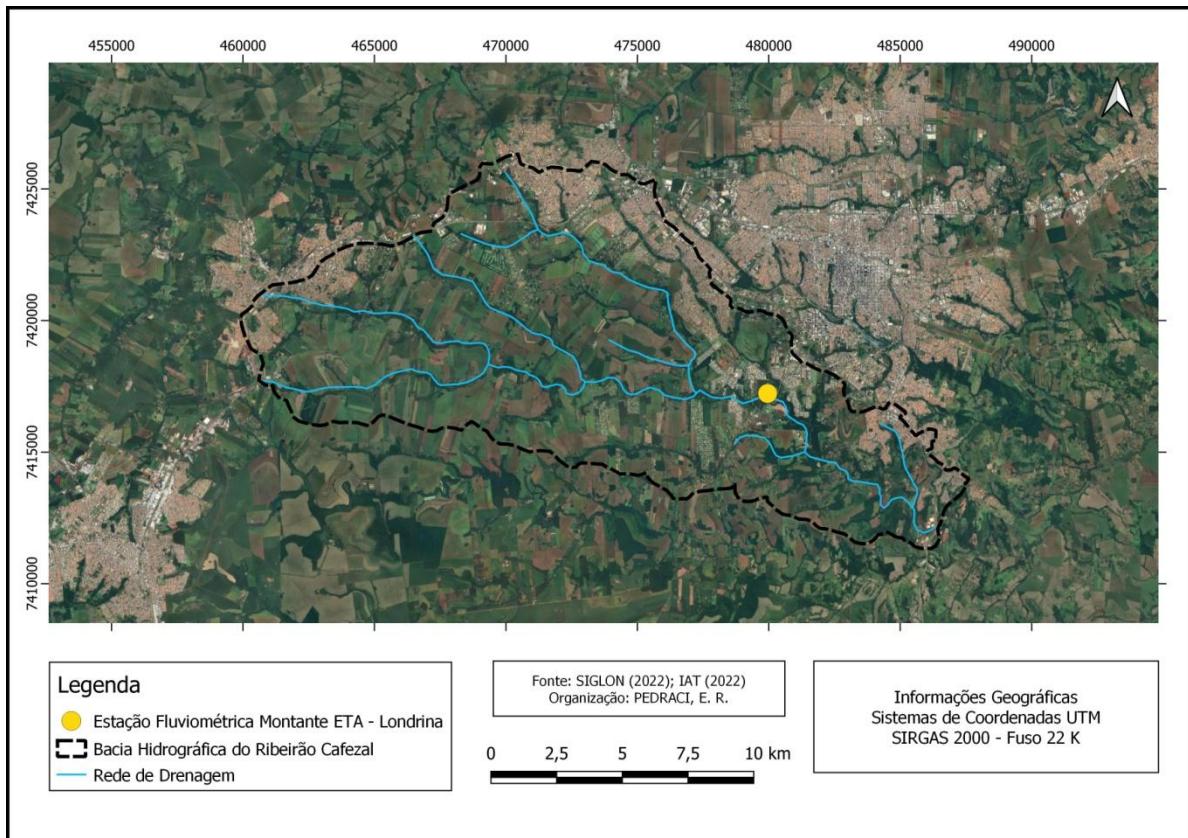
Nesse sentido, Tucci (2002) aponta que uma das principais formas de contaminação dos aquíferos em zona urbana se dá através da utilização de fossas sépticas, prejudicando o abastecimento de água.

A água é fonte essencial para a vida de diversos seres, portanto, é fundamental que o ser humano encontre formas de preservá-la. Desde as décadas finais de do século XX, houve um aumento nas discussões e na preocupação sobre o meio ambiente. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo analisar a relação entre a evolução do uso da terra e a dinâmica hidrológica da bacia analisada sob a ótica da reserva reguladora.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

Para este trabalho, utilizou-se da extração de dados da Estação Fluviométrica Montante ETA – Londrina, de código 64504591, como pode ser visto na Figura 18. Esta estação possui uma área de drenagem de 131,30 km² e está localizada na parte do exutório da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, latitude 23° 21' 16" e longitude 51° 11' 46".

Figura 18: Localização da Estação Fluviométrica Montante ETA – Londrina



Fonte: SIGLON (2022); IAT (2022) Org. Da autora.

4.3.1 Processamento de dados

As imagens classificadas com as informações sobre o uso e ocupação do solo utilizadas para o presente trabalho foram extraídas diretamente da plataforma do MapBiomass.

As imagens selecionadas foram capturadas pelo satélite Landsat, com resolução de 30 metros e 7 bandas espectrais. Os pixels são de 30x30m, onde são extraídas métricas para cada pixel dos anos selecionados. As classes definidas para a sua distribuição na área de estudo são: floresta; formação não florestal; agricultura; corpos d'água; agropecuária e área urbanizada.

As imagens selecionadas foram trabalhadas na ferramenta QGIS, através da ferramenta “estatística da camada raster”. Esta ferramenta transforma os pixels em metros quadrados, logo após, estes dados foram convertidos em quilômetros quadrados (km^2). Os mapas foram criados para os anos de 1986, 1995, 2005, 2015 e 2022. Devido à dificuldade de obtenção de dados orbitais de 1985, foi selecionada a imagem de 1986 de melhor qualidade.

Os dados de precipitação e fluviometria utilizados para este trabalho foram coletados do Sistema de Informações Hidrológicas do portal do Instituto Água e terra – IAT (2022). Devido a disponibilidade de dados fluviométricos na plataforma o período histórico analisado foi de 1988 até 2019.

4.3.2 Cálculos da constante de recessão e reserva reguladora aquífera

Existem vários métodos que possibilitam fazer a estimativa de reservas aquíferas, para a pesquisa foi selecionada a metodologia do cálculo da curva de recessão. Esse método é empregado a partir da extração de dados fluviométricos da estação localizada na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal (Figura 18).

O gráfico representando a curva de recessão está exemplificado na Figura 19 e pode ser expressa de acordo com a equação 1 (CELLIGOI; DUARTE, 2009; PETERLINI; PINSE; CELLIGOI, 2019; VIANA; CELLIGOI, 2002):

$$Q = Q_0 * e^{kt} \quad (1)$$

Sendo:

Q_0 = corresponde a descarga do rio no início da recessão (m^3/s);

Q_f = corresponde à descarga do rio (m^3/s) após um período de dias (t);

k = corresponde a constante de recessão.

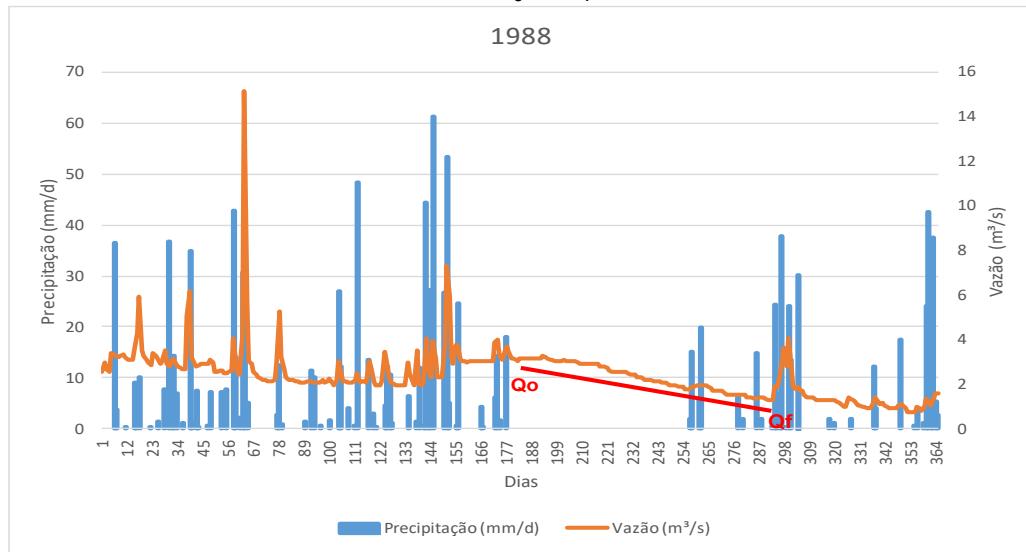
Rearranjando a equação 1 e aplicando logaritmo, tem-se a constante de recessão (equação 2): .

$$k = \frac{-\ln(Q) - \ln(Q_0)}{\Delta T} \quad (2)$$

Sendo:

ΔT = Simboliza o intervalo de tempo do início ao término da recessão (em dia).

Figura 19: Exemplo de geração da curva de recessão para o ano de 1988 e extração de Q_0 e Q_f .



Fonte: IAT (2022) Org. Da autora.

O volume de água contribuinte para a bacia em cada ano selecionado (V) em m³/ano é dado por (equação 3):

$$V = \frac{Q_0 \cdot 86400}{K} \quad (3)$$

A obtenção do volume, possibilita o cálculo da restituição (equação 3), que representa a estimativa da altura da pluviosidade que chega como recarga para o aquífero. Assim, a restituição (h) em mm é dada por:

$$h = \frac{V}{A} \quad (4)$$

Onde A = área da bacia localizada na zona de ocorrência aquífera (m²).

É possível ainda estimar a restituição relativa, que representa a razão entre a restituição e a soma da precipitação desde o último Q_f do ano anterior até o Q_0 do ano posterior e indica proporcionalmente a altura do volume de chuva que voltou para o aquífero como fluxo de base (equação 5):

$$H_{\text{relativa}} = \frac{(h)}{(\sum P)} * 100 \quad (5)$$

Onde:

H_{relativa} = restituição relativa (%);

h = restituição do aquífero (mm);

$\sum P$ = Soma da Precipitação (mm) de Q_f (ano anterior) até Q_0 (ano posterior).

A partir dos dados de recessão foi possível calcular a reserva reguladora do aquífero, que é uma relação entre a área da bacia hidrográfica multiplicado com a

restituição. A restituição é o volume infiltrado na bacia dividido pela área da bacia. A equação 6 é utilizada para cálculo da reserva reguladora:

$$R_r = A_c \times h_m \quad (6)$$

Onde:

R_r = Reserva da área aquífera na bacia estudada (m^3);

A_c = Área de ocorrência do aquífero que corresponde a própria delimitação; da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal (m^2);

H = restituição aquífera para a bacia (m).

4.3.3 Análise estatística descritiva

Após as estimativas das reservas anuais aquíferas, foi realizada análise de correlação estatística entre as variáveis climáticas e hidrogeológicas utilizando coeficiente de Pearson (r) e gráfico de dispersão utilizando regressão linear (r^2). O Coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma medida adimensional que mede a intensidade e a direção de relações lineares. A intensidade diz respeito ao grau de relacionamento entre duas variáveis, quanto mais próximo dos extremos do intervalo, (-1 e +1) mais forte é a correlação. Quanto mais próximo do centro do intervalo, zero, mas fraca é a correlação linear e pode ser representada pela seguinte equação 7:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N} \quad (7)$$

Com relação ao grau de fiabilidade, Lopes (2016) apresenta a seguinte proposta de classificação de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1: Categorização para os valores do coeficiente de correlação de Pearson.

Valor de r (+ ou -)	Interpretação
0,00	Nula
0,01 a 0,20	Ínfima fraca
0,21 a 0,40	Fraca
0,41 a 0,60	Moderada
0,61 a 0,80	Forte
0,81 a 0,99	Ínfima forte
1,00	Perfeita

Fonte: Lopes (2016).

5. O PROCESSO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO CAFEZAL

O processo de ocupação da terra na região estudada, é de certa forma recente, visto que os municípios no entorno da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal não possuem um século completo de existência. Essa ocupação se deu principalmente ao redor das principais rodovias. Ao longo dos anos, com o crescimento populacional, as áreas de ocupação residencial e de agricultura se expandiram de maneira agressiva ao meio ambiente. Esses dados podem ser observados na Tabela 5.

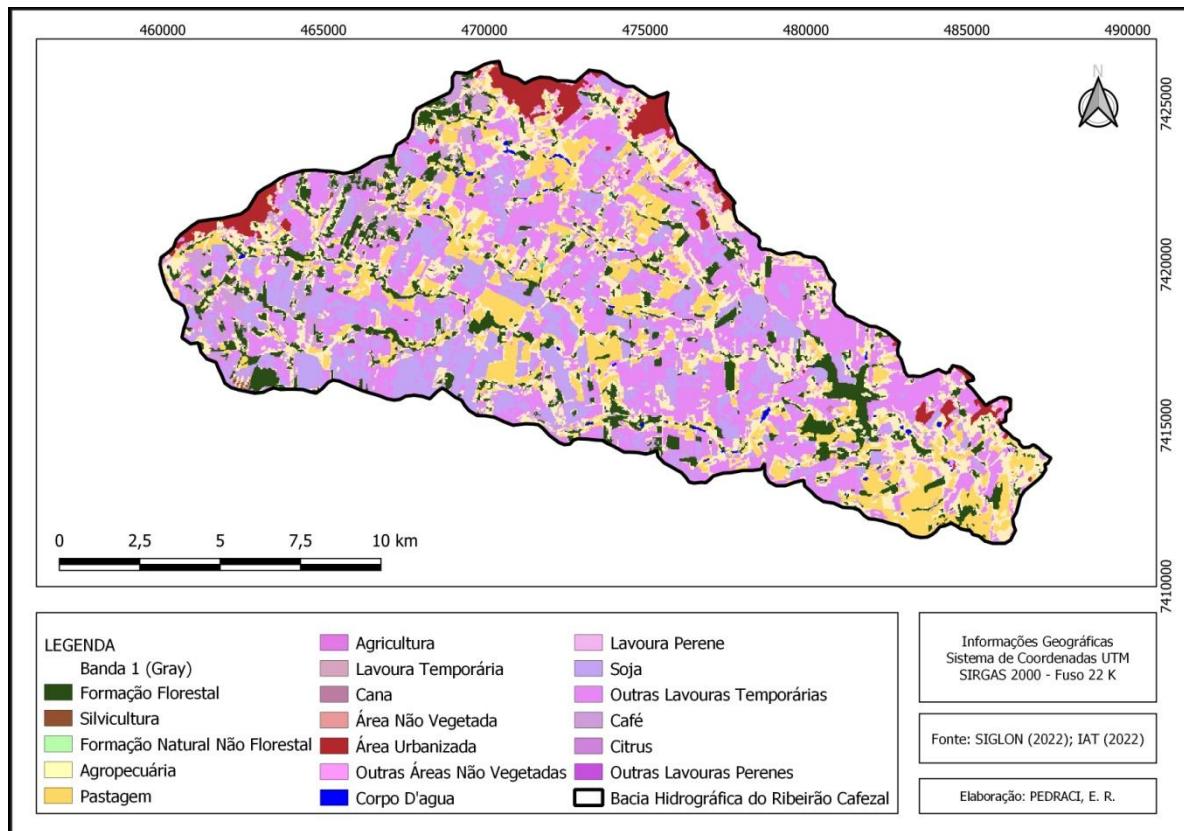
Tabela 5: Divisão por classes de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal – PR no período 1986-2020.

Ano	Área urbanizada (km ²)	Agricultura (km ²)	Floresta (km ²)	Corpos D'água (km ²)	Pastagem (Km ²)	Agropecuária (Km ²)
1986	7,212	101,678	20,845	0,581	26,253	45,296
1990	10,22	112,173	17,684	0,683	17,569	45,021
1995	13,544	119,47	17,375	0,1437	13,247	39,009
2000	20,875	119,534	17,163	0,664	11,645	33,401
2005	25,076	103,027	17,881	0,794	9,848	46,721
2010	29,055	104,89	18,839	0,687	9,169	40,711
2015	31,434	103,901	21,072	0,784	8,367	37,784
2020	34,602	101,021	25,556	0,799	6,705	34,645

Fonte: MAPBIOMAS (2022). Org. Da autora.

Na década de 1980, no município de Cambé, segundo IBGE, havia um total de 53.856 mil habitantes residentes. O Município de Londrina possuía na mesma década, uma população de 301.711 mil habitantes residentes. Rolândia, outro município onde a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal se localiza, possuía uma população residente na década de 1980 de 41.452 mil habitantes. Para o ano de 1986, a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal possuía área urbanizada totalizando 7,212 km², áreas destinadas à agricultura de 101,678 km², áreas de floresta representavam 20,845 km², corpos d'água representavam 0,581 km², áreas de pastagem representavam 26,253 km², e áreas destinadas à agropecuária representavam 45,296 km². Esses dados podem ser observados na Figura 20.

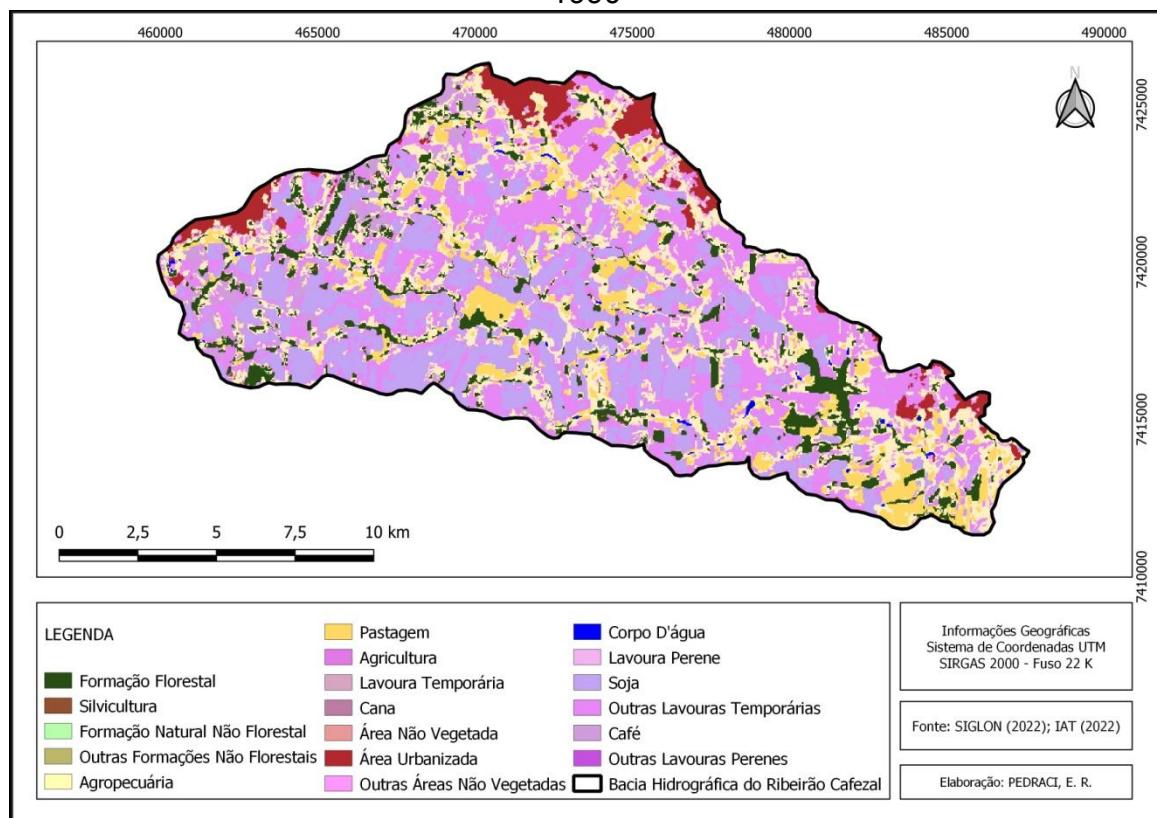
Figura 20: Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafetal, ano 1986.



Fonte: MAPBIOMAS (2022); SIGLON (2022) Org. da autora

Na década de 1990, segundo o IBGE, no município de Cambé havia uma população de 73.831 mil habitantes residentes. Já o município de Londrina, contava com uma população residente de 388.331 mil habitantes. O município de Rolândia possuía um total de 43.660 mil habitantes residentes. Para este ano, a agricultura representava 112,173 km², formação florestal representavam 17,684 km², área urbana 10,22 km², corpos d'água representavam 0,683 km², pastagem representam 17,569 km² e a agropecuária totalizava 45,021 km². Estes dados podem ser observados na Figura 21.

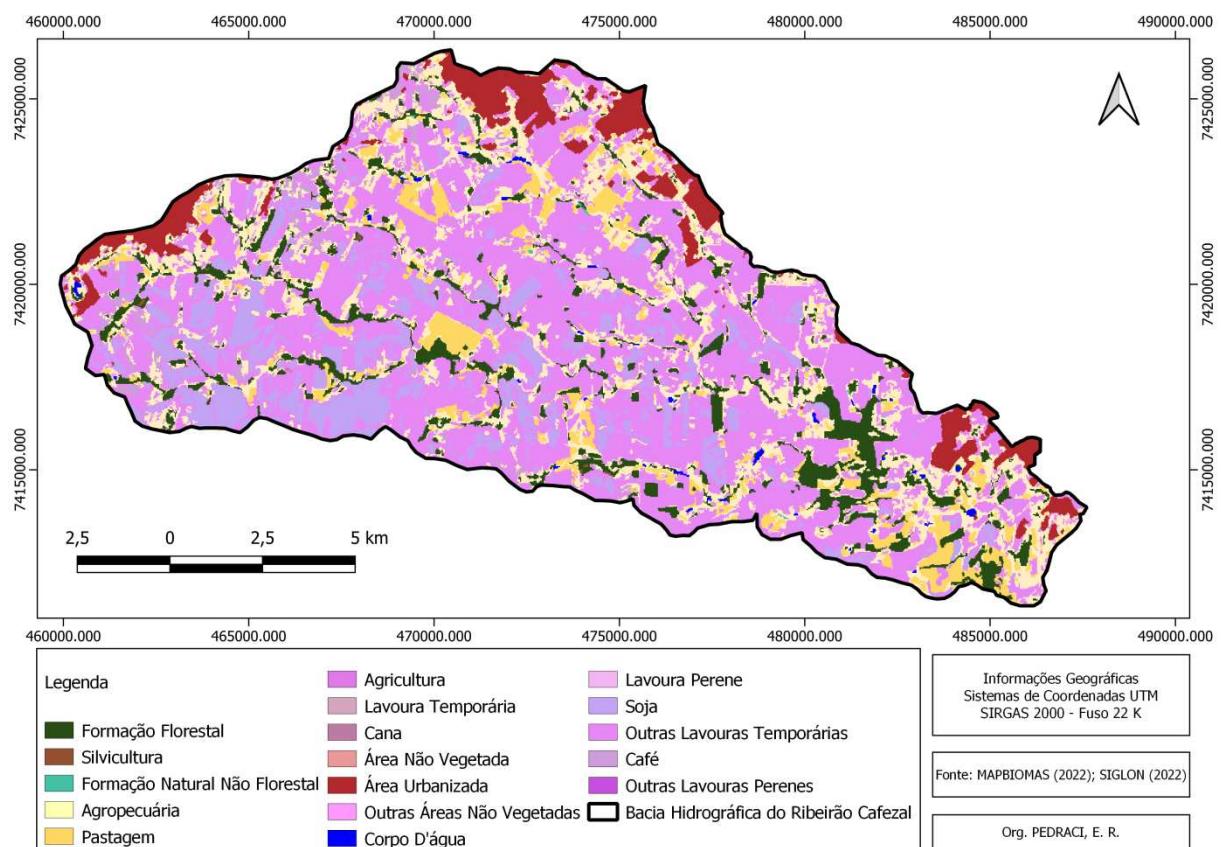
Figura 21: Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, ano 1990



Fonte: MAPBIOMAS (2022); SIGLON (2022) Org. da autora.

Para o ano de 1995, a agricultura representava 119,47 km², formação florestal possuía 17,375 km², área urbana representava 13,544 km², corpos d'água apresentaram 0,1437 km², pastagem representavam 13,247 km² e agropecuária representavam 39,009 km². Estes dados podem ser observados na Figura 22.

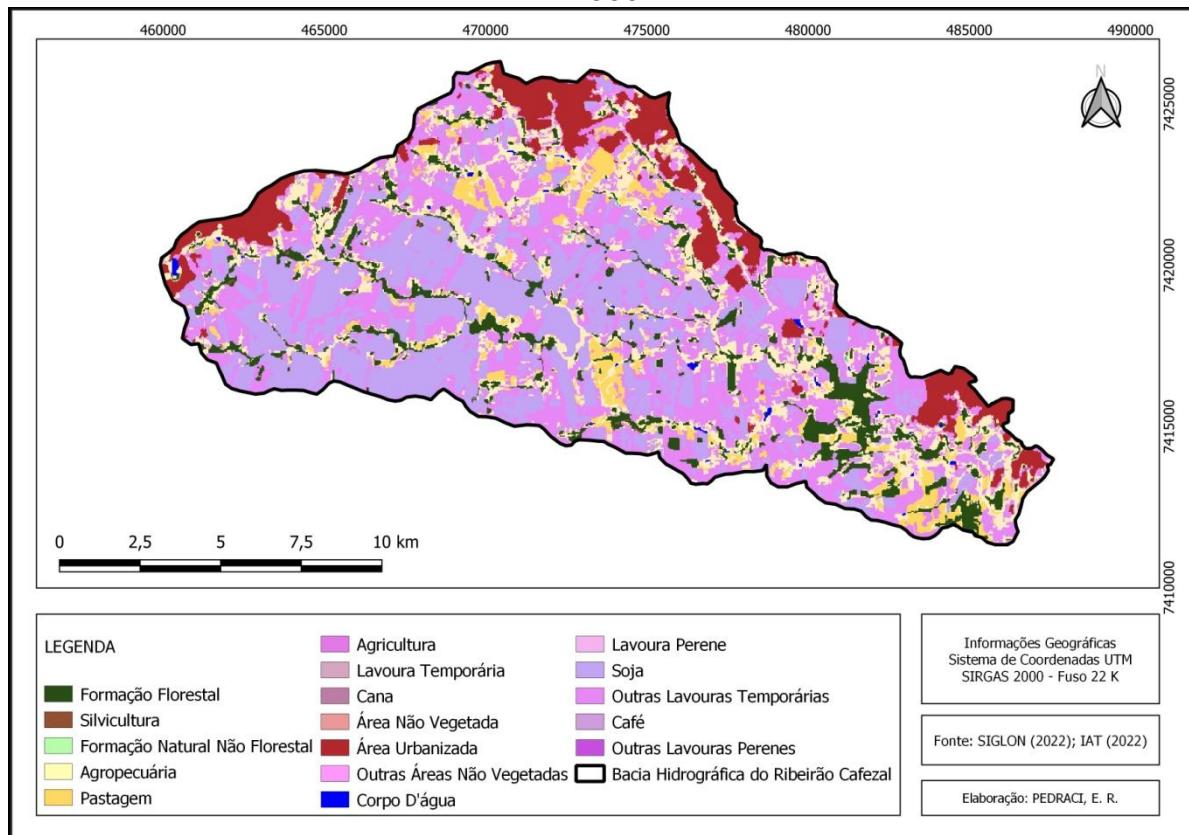
Figura 22: Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafetal, ano 1995.



Fonte: MAPBIOMAS (2022); SIGLON (2022) Org. da autora

O aumento populacional nos municípios foi bastante expressivo entre as décadas de 1990 e 2000. No Censo de 2000, Cambé possuía um total de 88.293 mil habitantes residentes. O município de Londrina, no entanto, passou a contar com uma população de 446.822 mil habitantes residentes. O município de Rolândia apresentou um total de 49.424 mil habitantes residentes. No ano de 2000, a agricultura representava 119,534 km², formação florestal representava 17,163 km², área urbana representava 20,875 km², corpos d'água totalizavam 0,664 km², pastagem representavam 11,645 km² e agropecuária representavam 33,401 km². Estes dados podem ser observados na Figura 23.

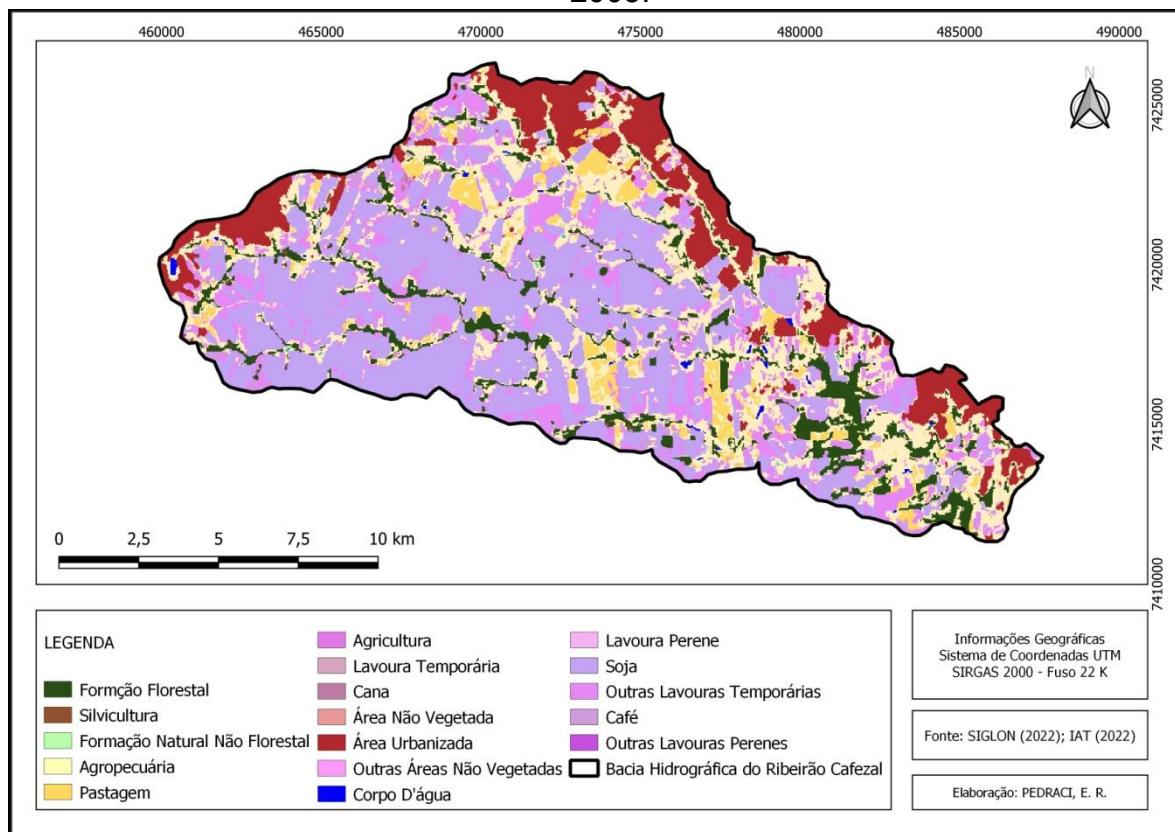
Figura 23: Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafetal, ano 2000.



Fonte: MAPBIOMAS (2022); SIGLON (2022) Org. da autora

Para o ano de 2005, áreas destinadas a agricultura representavam 103,027 km², formação florestal representava 17,881 km², área urbana representava 25,076 km², corpos d'água totalizavam 0,794 km², pastagem representavam 9,848 km² e agropecuária representava 46,721 km². Estes dados podem ser observados na Figura 24.

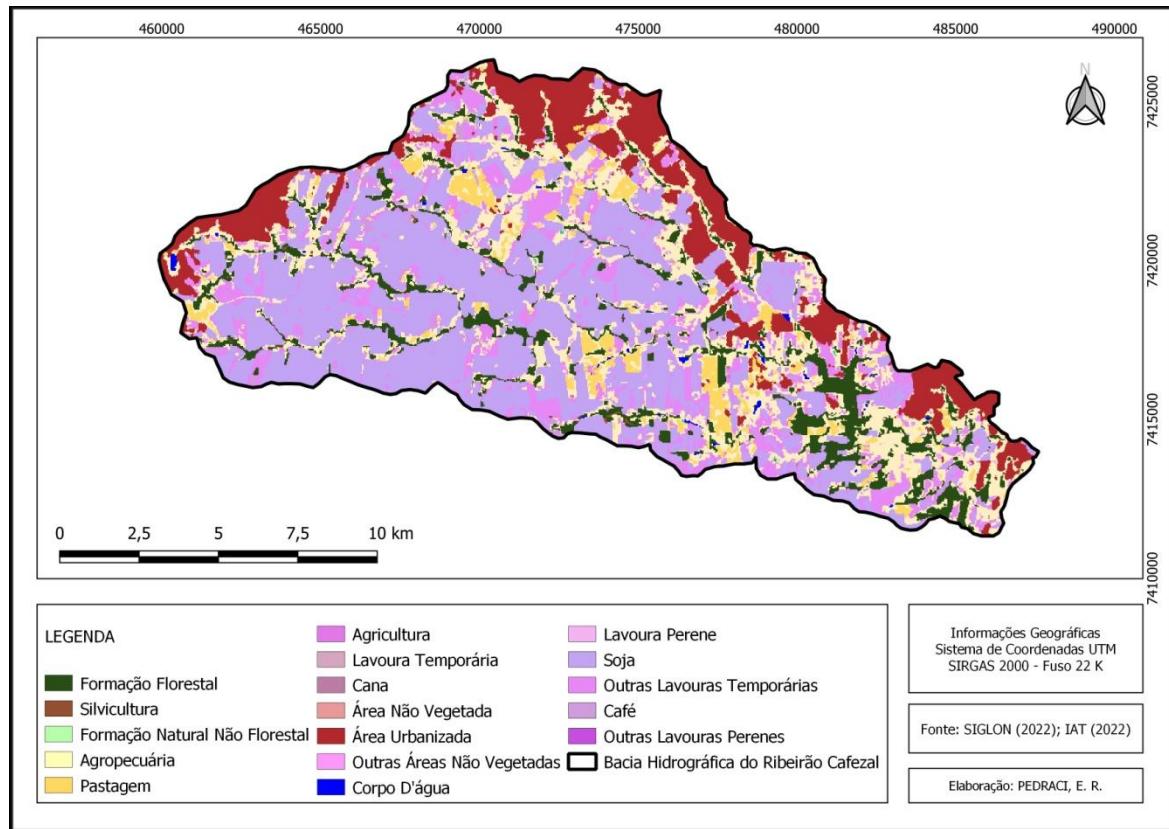
Figura 24: Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafetal, ano 2005.



Fonte: MAPBIOMAS (2022); SIGLON (2022) Org. da autora

Para a década de 2010, o município de Cambé possuía um total de 96.733 mil habitantes. Já o município de Londrina, apresentou um total de 506.701 mil habitantes. O município de Rolândia, para a mesma década, havia um total de 57.862 mil habitantes. Áreas destinadas à agricultura totalizavam em 2010 aproximadamente 104,89 km², formação florestal representava 18,839 km², áreas urbanas representavam 29,055 km², corpos d'água representavam 0,687 km², pastagem possuía aproximadamente 9,169 km² e agropecuária possuía aproximadamente 40,711 km². Esses dados podem ser visualizados na Figura 25.

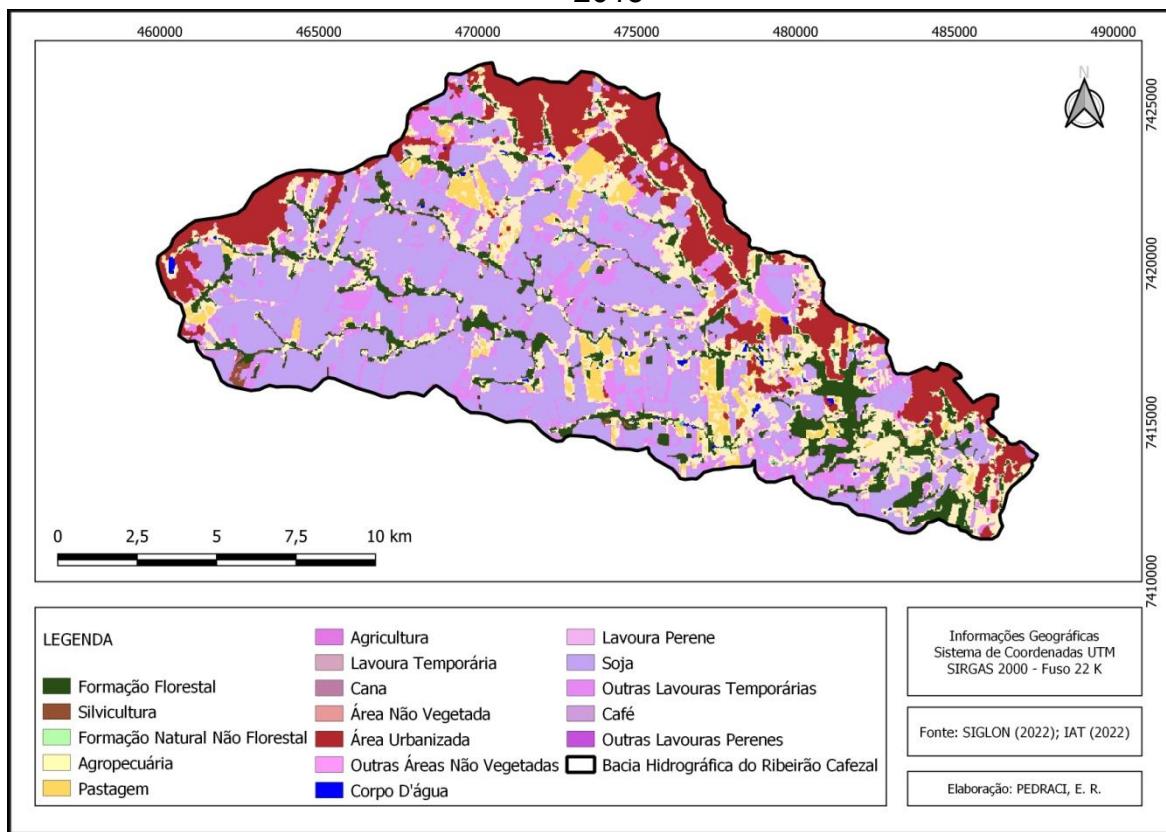
Figura 25: Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, ano 2010



Fonte: MAPBIOMAS (2022); SIGLON (2022) Org. da autora

Para o ano de 2015, áreas agrícolas representavam 103,901 km², formação florestal possuía aproximadamente 21,072 km², áreas urbanas representavam 31,434 km², corpos d'água representavam aproximadamente 0,784 km², pastagem representavam 8,367 km² e agropecuária representavam 37,784 km². Estes dados podem ser observados na Figura 26.

Figura 26: Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafetal, ano 2015

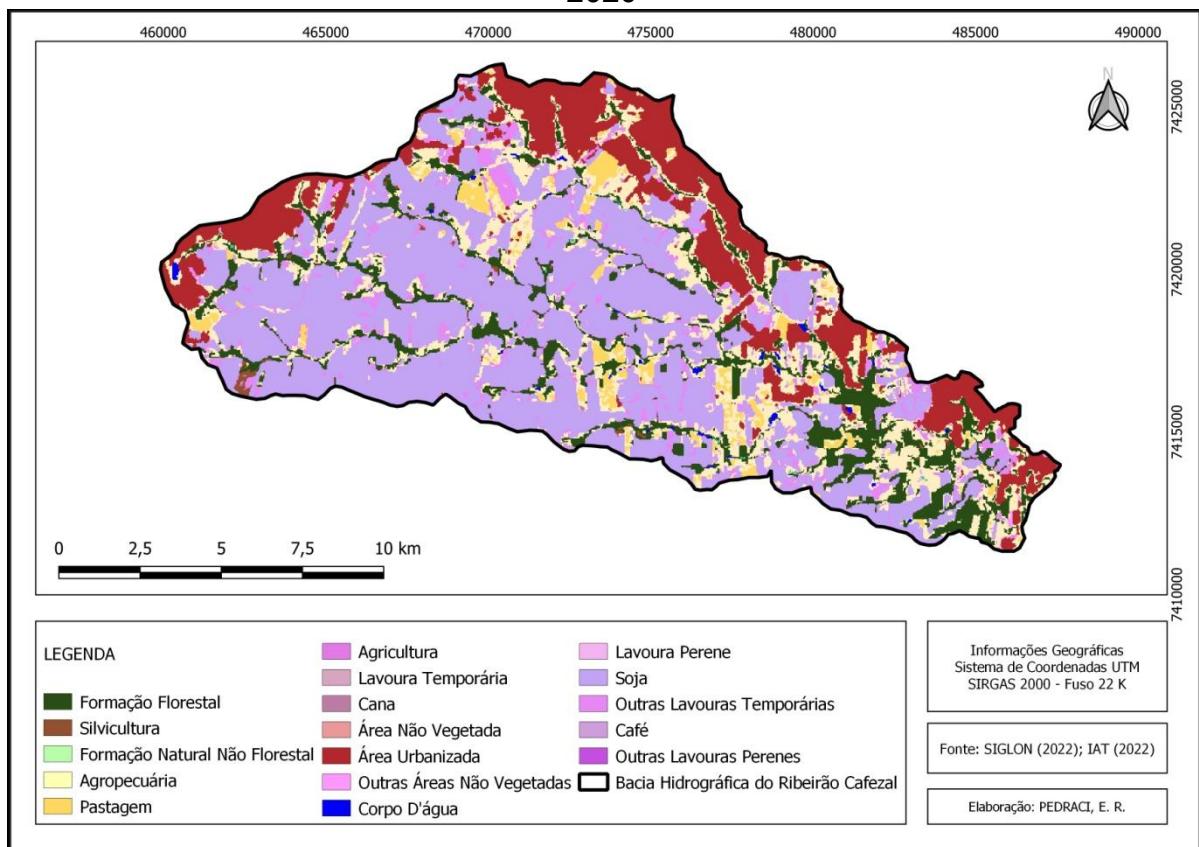


Fonte: MAPBIOMAS (2022); SIGLON (2022) Org. da autora

Com um aumento populacional importante, para o início da década de 2020, o município de Cambé possui uma população estimada em cerca de 108.126 mil habitantes. No município de Londrina, estima-se que possua aproximadamente 580.870 mil habitantes. O município de Rolândia possui uma população estimada para o início da década com 68.165 mil habitantes.

Para o ano de 2020, as áreas destinadas à agricultura representavam 101,021 km², formação florestal 25,556 km², áreas urbanas representavam 34,602 km², corpos d'água representam 0,799 km², pastagem representam 6,705 km² e agropecuária representava uma área de 34,645 km². Tais dados podem ser observados na Figura 27.

Figura 27: Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, ano 2020



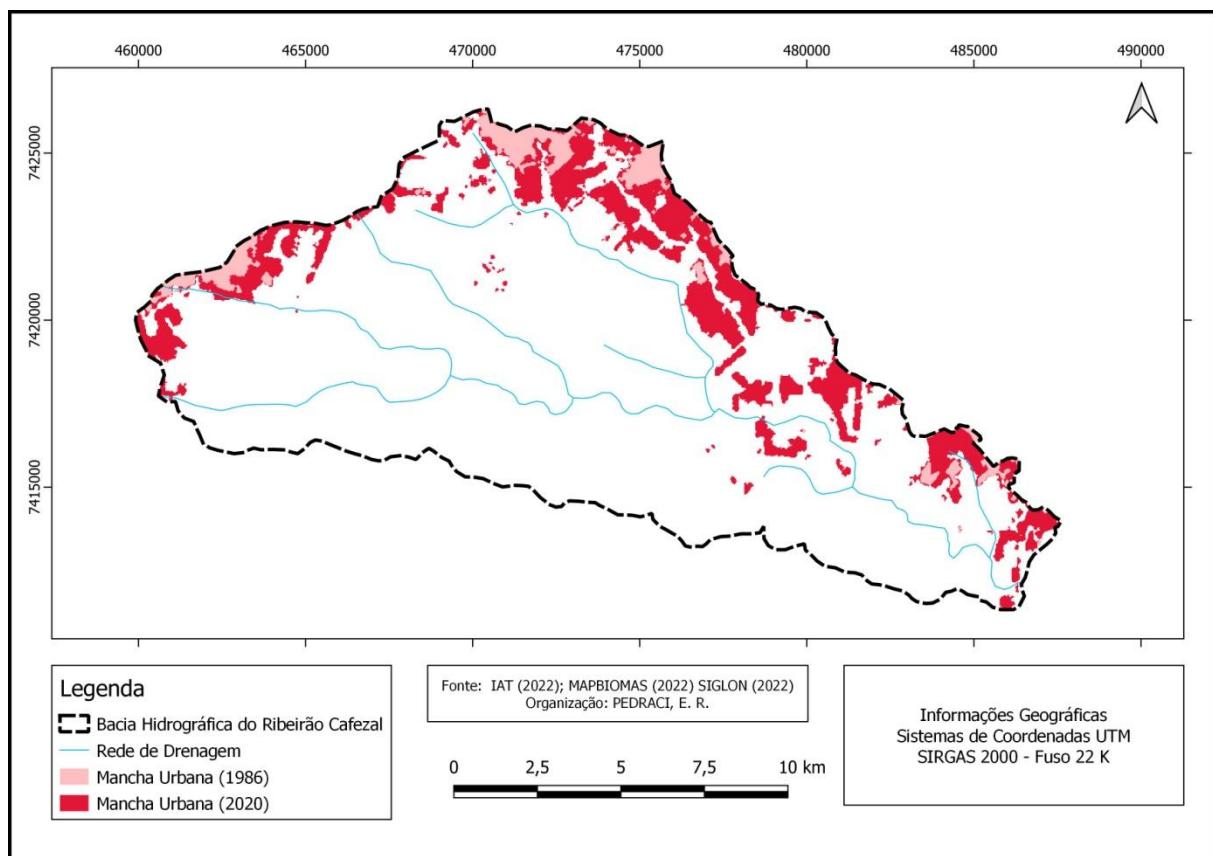
Fonte: MAPBIOMAS (2022); SIGLON (2022) Org. da autora

Pode-se observar por meio dos mapas, um crescimento populacional relevante ao longo dos anos no entorno da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal. O aumento da implantação de novos loteamentos, alguns deles de alto padrão, intensificaram o uso do solo na área da Bacia para fins residenciais, aumentando consequentemente, a especulação imobiliária e o interesse por aquele local.

4.4.1 A expansão urbana na região da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal no período 1985-2020

A expansão urbana que ocorreu na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal pode ser observada na Figura 28, em sobreposição entre os anos de 1986 e 2020. Em 1986, a área urbanizada apresentava um total de 3,55% da área da Bacia, com 7,212 km² de extensão. Para o ano de 2020, áreas urbanizadas representaram 26% da área total da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, com uma extensão de 34,602 km².

Figura 28: Comparativo da expansão urbana entre os anos de 1986 e 2020

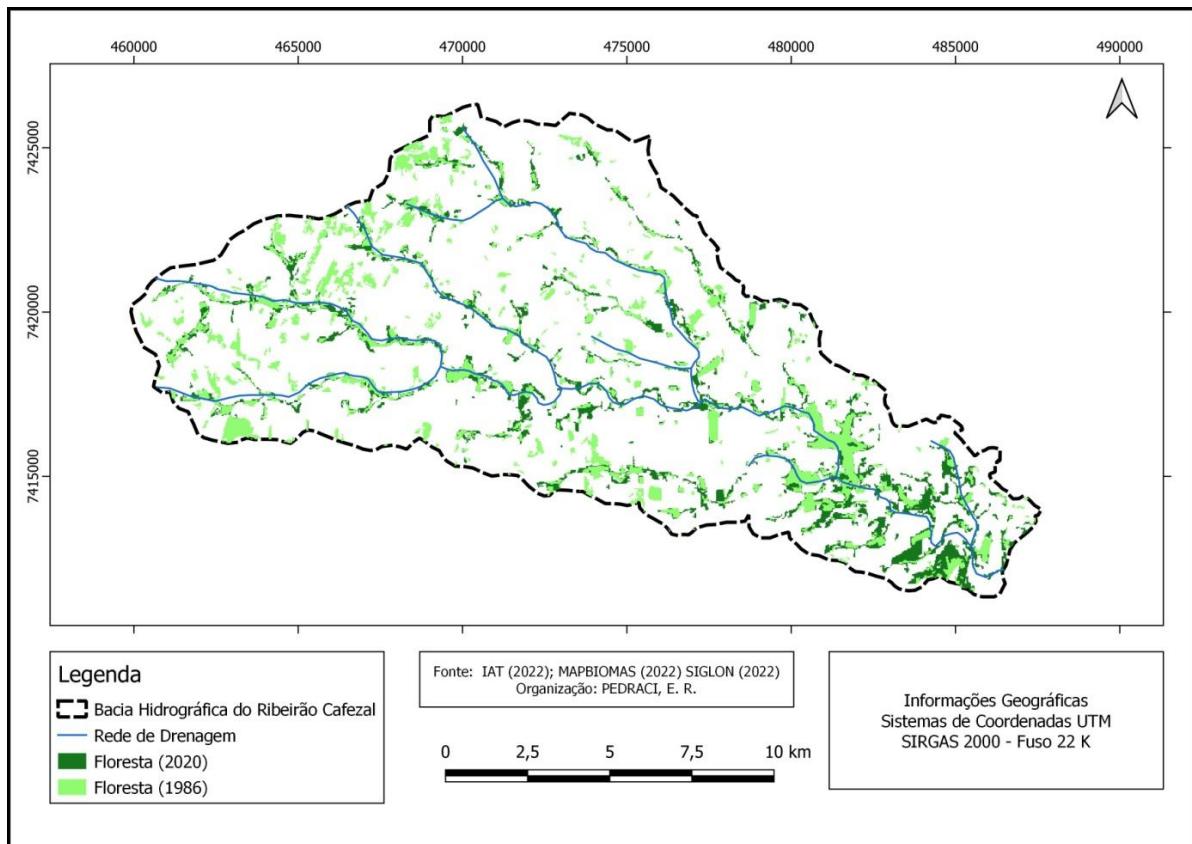


Fonte: MapBiomass (2022); IAT (2022) Org. Da autora.

Quanto à vegetação nativa, observa-se que a maior parte da área de vegetação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal já não existia desde a década de 1980. O que foi determinado como “floresta” pelas imagens de satélite apresentava um total de 20,845 km² em 1986.

Esta classe diminui em área a cada período até o ano de 2000, em que apresentava um valor de 17,163 km². No ano de 2005, começa a apresentar um aumento, chegando a 25,556 km² em 2020, representando 19% da área total da Bacia. Estes dados podem ser observados na Figura 29.

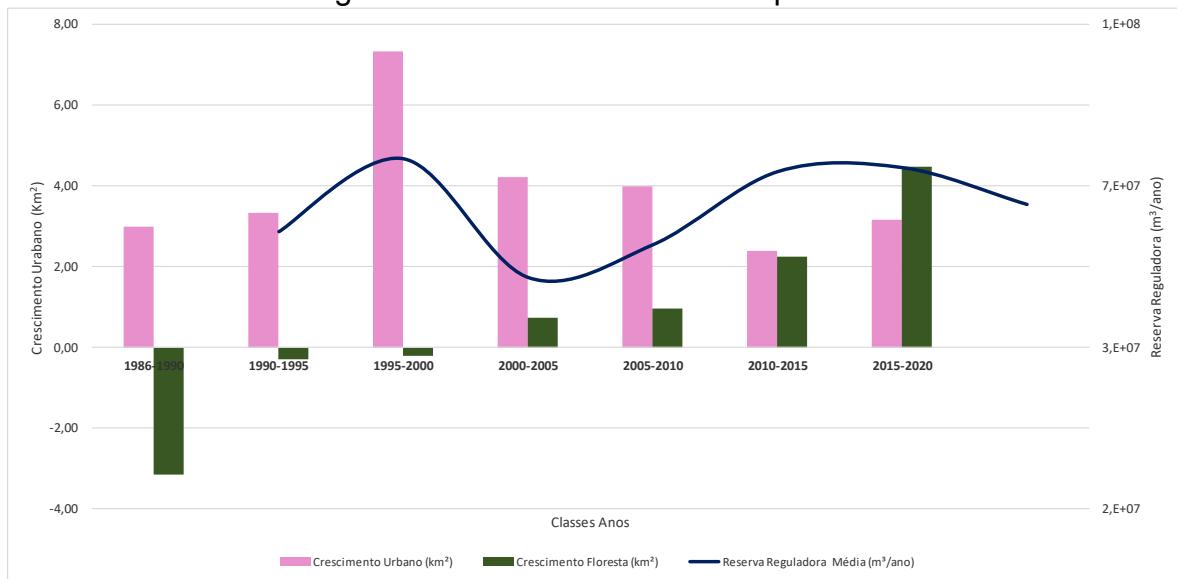
Figura 29: Evolução da mancha de floresta para o período 1986 - 2020



Fonte: MapBiomass (2022); IAT (2022) Org. Da autora

Na Figura 30, pode ser observado um comparativo entre as taxas de crescimento urbano e florestais comparadas à reserva reguladora para o período de 1986 a 2020. Para o período de 1986-1990 o crescimento urbano foi de $3,01 \text{ km}^2$, enquanto a classe florestal apresentou uma redução de $3,161 \text{ km}^2$. A precipitação média anual neste período foi de 1494,04 mm. Para o período entre 1990-1995, a taxa de crescimento urbano foi de $3,32 \text{ km}^2$, a classe de floresta apresentou uma redução de $0,31 \text{ km}^2$. A precipitação média anual neste período foi de 1325,26 mm. A reserva reguladora apresentou para este período um total de $35.575.119,54 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Figura 30: Relação entre reserva reguladora, crescimento urbano e florestal para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafetal no período 1986-2020



Fonte: MapBiomas (2022) Org. Da autora

Para o período de 1996-2000 a precipitação média anual foi de 1416,36 mm.

O crescimento urbano foi de 7,33 km², enquanto a floresta apresentou uma queda de 0,21 km². A reserva reguladora apresentou um resultado de 48640526,34 m³/ano. No período entre 2000-2005, a precipitação média foi de 1391,86 mm. O crescimento urbano anual foi de 4,20 km². A floresta pela primeira vez nas análises demonstra um crescimento, apresentando um valor de 0,72 km². A reserva reguladora média foi de 29223575,66 m³/ano. Para o período entre 2005-2010, o crescimento urbano anual foi de 3,98 km² enquanto para floresta, o crescimento anual foi de 0,96 km². A precipitação média anual foi de 1785,54 mm. A reserva reguladora apresentou para este período um total de 33.636.269,59 m³/ano.

Já para os últimos anos, no período entre 2010-2015 a precipitação média anual foi de 1785,54 mm. A taxa de crescimento urbano anual foi de 2,38 km² e a floresta apresentou um total de crescimento anual de 2,23 km². No mesmo período, a reserva reguladora apresentou um total de 46032465,90 m³/ano. Para o período de 2015-2020, a precipitação média anual foi de 1747,05 mm. A taxa de crescimento urbano foi de 3,17 km² e a floresta foi de 4,48 km². Para este período a reserva reguladora apresentou um total de 46.832.241,21 m³/ano.

4.4.2 Cálculo das diferentes variáveis para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal

Através dos cálculos, obtiveram-se as seguintes relações: Temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) Excedente Hídrico (mm), Restituição – h (mm) e Restituição Relativa. Estes dados podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6: Estatística descritiva de correlação linear entre as variáveis climáticas e hidrogeológicas.

Temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$)			Excedente Hídrico (mm)		
Variável	Fator Pearson (r)	Coeficiente de Determinação (r^2)	Variável	Fator Pearson (r)	Coeficiente de Determinação (r^2)
Precipitação (mm)	-0,16	0,03	Precipitação (mm)	0,95	0,9
Anos (série histórica)	0,65	0,42	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	-0,19	0,04
Reserva Reguladora (m^3/ano)	0,05	0,00	Reserva Reguladora (m^3/ano)	0,02	0
Restituição - h (mm)			Restituição Relativa - hm (%)		
Variável	Fator Pearson (r)	Coeficiente de Determinação (r^2)	Variável	Fator Pearson (r)	Coeficiente de Determinação (r^2)
Precipitação (mm)	0,33	0,11	Precipitação (mm)	-0,36	0,03
Excedente Hídrico (mm)	0,02	0	Excedente Hídrico (mm)	-0,63	0,4
Reserva Reguladora (m^3/ano)	1	1	Reserva Reguladora (m^3/ano)	0,74	0,55

Fonte: INPE (2022) Org.Da autora.

Através da Figura 31, é possível perceber a relação entre a variável de temperatura média do ar e precipitação, apresentando um valor de 0,03, onde pelo coeficiente de correlação de Pearson apresenta interpretação ínfima fraca. A relação entre a temperatura média do ar e os anos da série histórica resultou em um valor de 0,42 no coeficiente de determinação (r^2) sendo considerada moderada. A relação entre temperatura e reserva reguladora foi de 0,00 no coeficiente de determinação (r^2) sendo interpretada como nula.

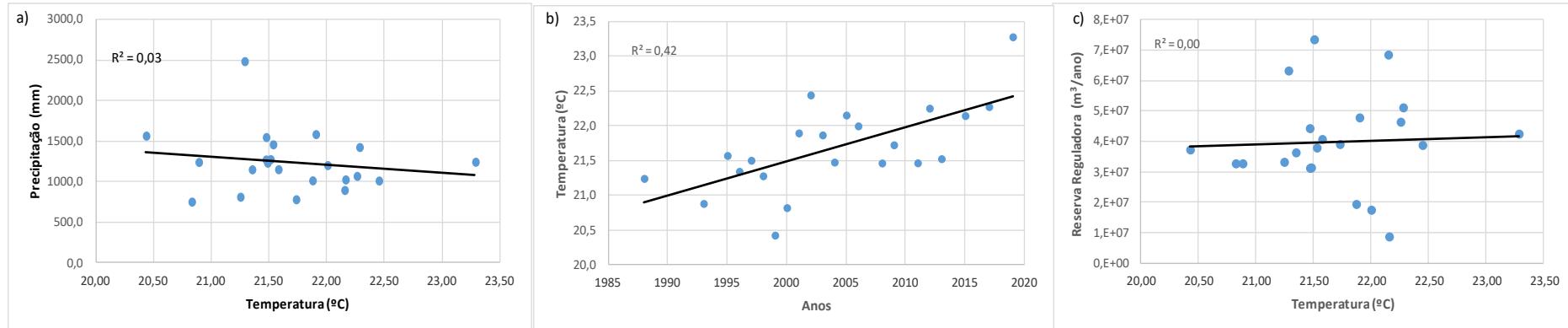
Na Figura 32 é possível perceber a relação entre o coeficiente de determinação da restituição relativa e precipitação (mm), excedente hídrico (mm) e reserva reguladora (m^3/ano). A relação entre a precipitação e a restituição relativa

apresentou um total de 0,13, sendo considerado como ínfima fraca. A relação entre o excedente hídrico apresentou um total de 0,40, sendo considerado como fraca. A reserva reguladora apresentou um total de 0,55 para o coeficiente de determinação, sendo interpretada como moderada.

A Figura 33 demonstra o coeficiente de determinação entre as variáveis de restituição e a precipitação, apresentando um valor de 0,11 mm no coeficiente de determinação (r^2) sendo considerada como ínfima fraca. Para a relação entre restituição e excedente hídrico, o valor foi de 0,00 no coeficiente de determinação, sendo considerada nula. A reserva reguladora apresentou um valor de total de 1 no coeficiente de correlação de Pearson, sendo interpretada como perfeita.

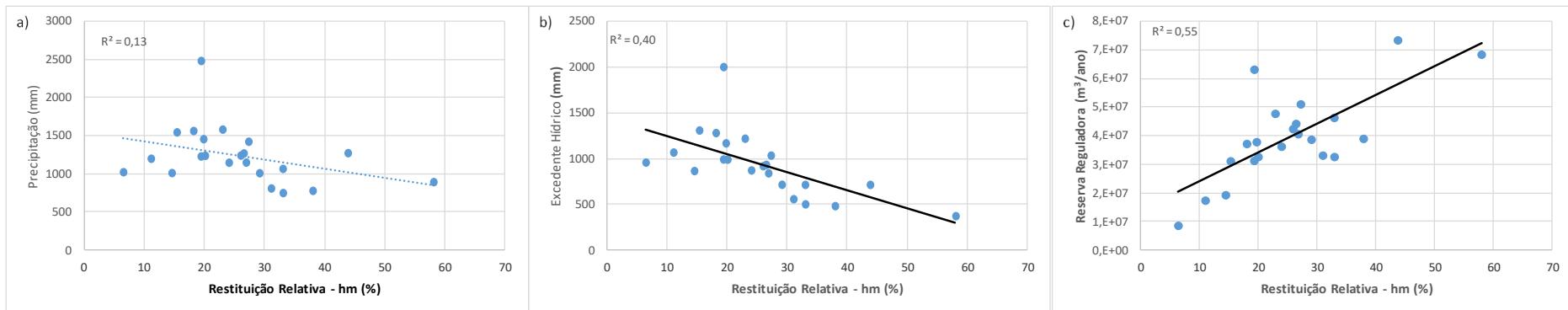
A Figura 34 demonstra a relação entre a precipitação e excedente hídrico, onde o coeficiente de correlação de Pearson apresentou um valor de 0,90 sendo considerada ínfima forte. A relação entre o excedente hídrico e a temperatura apresentou um valor de 0,04 sendo considerada ínfima fraca. A relação entre reserva reguladora e excedente hídrico apresentou um valor de 0,00, sendo considerada nula.

Figura 31 - Coeficiente de Determinação (r^2) entre temperatura e varáveis precipitação (a), classes de anos (b) e reserva reguladora (c), entre os anos de 1988 e 2019



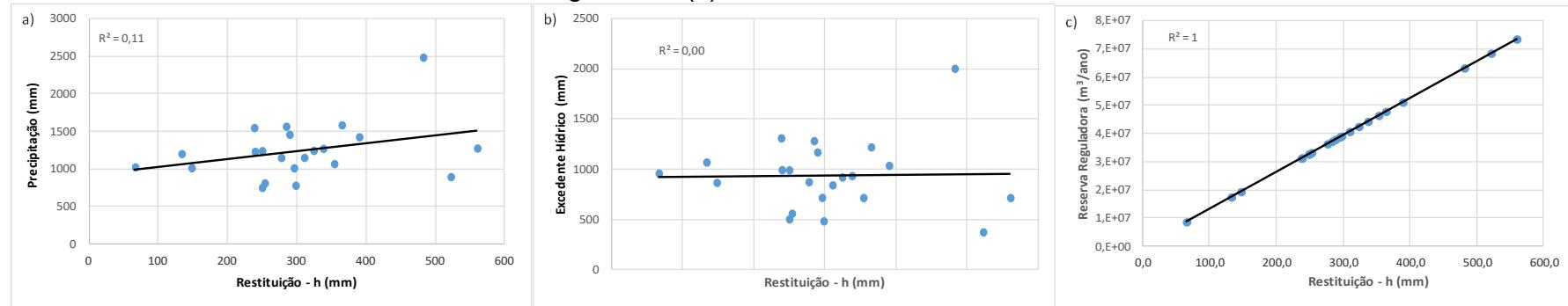
Fonte: IAT (2022); Org. da Autora

Figura 32 - Coeficiente de Determinação (r^2) entre Restituição relativa e varáveis precipitação (a), Excedente Hídrico (b) e reserva reguladora (c), entre os anos de 1988 e 2019.



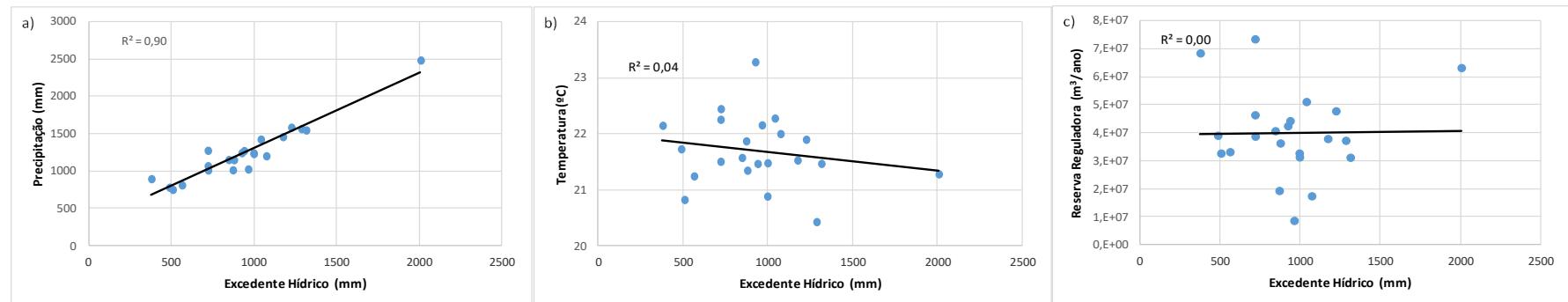
Fonte: IAT (2022); Org. da Autora

Figura 33: Coeficiente de determinação (r^2) entre restituição e as variáveis de precipitação (a) excedente hídrico (b) e reserva reguladora (c) entre os anos 1988-2019.



Fonte: IAT (2022); Org. da Autora

Figura 34: Coeficiente de determinação (r^2) entre excedente hídrico e precipitação (a) temperatura (b) e reserva reguladora (c) entre os anos 1988-2019.



Fonte: IAT (2022); Org. da Autora

Os gráficos se mostraram ferramentas eficientes para observação dos dados de diferentes variáveis, sendo elas coeficiente de determinação, precipitação, temperatura, excedente hídrico, restituição e reserva reguladora. Foi possível perceber através destas informações, que as temperaturas apresentam aumento nas médias anuais durante o período estudado. A reserva reguladora se mantém sem quedas em todas as análises das variáveis. Foi possível analisar que a reserva reguladora se mantém estável, onde o uso da terra ainda não apresenta um fator de impacto para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal. A restituição relativa apresentou um padrão considerado perfeito na interpretação do coeficiente de correlação de Pearson.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região na qual a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal está inserida sofreu um acelerado processo de urbanização a partir da segunda metade do século XX. A saída de grande parte da população rural, buscando na cidade uma melhor oportunidade de vida, fez com que a cidade se expandisse sem planejamento em alguns locais. Para o ano de 1985 até 2020, a expansão urbana foi de 12,856 km² para um total de 34,602 km².

Com o avanço das áreas urbanas e das atividades agrícolas, a floresta foi perdendo lugar para esses outros usos da terra. Foi possível perceber que a maior parte da área de vegetação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal já não existia desde a década de 1980. O que foi determinado como “floresta” pelas imagens de satélite apresentava um total de 25,631 km² em 1985. As áreas de floresta diminuem a cada período até o ano de 2000, em que apresentava um valor de 17,163 km². No ano de 2005, começa a apresentar um aumento, chegando a 25,556 km².

Após a observação dos dados, e a utilização do coeficiente de determinação e do fator de Pearson, foi possível perceber que as estimativas de reservas reguladoras, assim como os valores de restituição e precipitação, não sofreram interferências devido à expansão urbana na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal, não podendo assim, correlacionar o uso da terra e o tipo de ocupação com alterações na dinâmica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal. No entanto, é possível observar o aumento médio da temperatura do ar, que apesar de não interferir na reserva do aquífero, tem influência no excedente hídrico. A reserva

reguladora se mantém sem quedas em todas as análises das variáveis. Foi possível analisar que a reserva reguladora se mantém estável, onde o uso da terra ainda não apresenta um fator de impacto para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafetal. A restituição relativa apresentou um padrão considerado perfeito na interpretação do coeficiente de correlação de Pearson.

5 REFERÊNCIAS

- ANA. HidroWeb – Rede Hidrometeorológica Nacional. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>> Acesso em março de 2022.
- ANA. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos:** avaliações e diretrizes para adaptação/ Agência Nacional de Águas. – Brasília: ANA, GGES, 2016. Disponível em:<<https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2016/MudancasClimaticaseRecursosHidricos.pdf>> Acesso em setembro de 2022.
- ALVES, L. B., MEDEIROS, R. B., SILVA, C. A., BEREZUK, A. G. (2018). **A relação entre leptospirose, precipitação e ação pública no estado do Mato Grosso do Sul.** Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros (Seção Três Lagoas-MS), 1 (28), 133-150.
- AIZEBEOKHAI, A. Phillips. Global warming and climate change: Realities, uncertainties and measures. **International journal of physical sciences**, v. 4, n. 13, p. 868-879, 2009.
- ARCHELA, E.; FRANÇA, V.; CELLIGOI, A. Geologia, geomorfologia e disponibilidade hídrica subterrânea na bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga. **Geografia (Londrina)**, v. 12, n. 2, jul./dez. 2003, Londrina. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6675>. Acesso em 10 de setembro de 2021.
- BARBOSA J, A. A. **A Política Nacional de Recursos Hídricos e a isenção da cobrança pelo uso da água na Bacia do Rio Paraíba do Sul** – Taubaté: UNITAU, 2006. 183f
- BARCELLOS, D. R., WOLF, M. A., SANCHES, S. R., QUADRO, M. F. L., Analysis of Precipitation Temporal Variability in the Florianópolis/SC City. **Ciência e Natura**, v. 42, p. 9, 2020.
- BECKER, F.D., ALEMIDA, J., GÓMEZ, W.H., MULEER, G., PHILOMENA, A.L., RAMPAZZO, S. E., REIGOTA, M. VARGAS, P.R., **Desenvolvimento Sustentável, Necessidade e/ou Possibilidade?** UNISC, 3º ed, Santa Cruz do Sul, 2001
- BORDALO, C. A. L. A “crise” mundial da água vista numa perspectiva da geografia política. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 16, n. 1, p. 66-78, 2012.
- BRASIL. **El Niño.** Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/tabc_elnino.shtml> Acesso em dezembro de 2021.
- BRASIL. IBGE – Cidades – **Cambé.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/cambe/panorama>> Acesso em outubro de 2022
- BRASIL. IBGE – Cidades – **Londrina.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/londrina/panorama>> Acesso em outubro de 2022

BRASIL. IBGE – Cidades – **Rolândia**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/rolandia/panorama>> Acesso em outubro de 2022

BRASIL. **Censo Demográfico 1991**. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv22894.pdf>> Acesso em outubro de 2022

BRASIL. **Sinopse Preliminar do Censo Demográfico 2000**, Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/308/cd_2000_v7.pdf> Acesso em outubro de 2022

BRASIL. **La Niña**. Disponível em: <http://enos cptec.inpe.br/tab_elnino.shtml> Acesso em dezembro de 2021.

BRASIL. **Lei Federal 7.803/89**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7803.htm#:~:text=A%20explora%C3%A7%C3%A3o%20de%20florestas%20e,florestal%20e%20manejo%20compat%C3%ADveis%20com> Acesso em março de 2021.

BRASIL. **LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm> Acesso em março de 2021

BRASIL. **Lei Federal 12.651/2012**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7803.htm#:~:text=A%20explora%C3%A7%C3%A3o%20de%20florestas%20e,florestal%20e%20manejo%20compat%C3%ADveis%20com> Acesso em março de 2021.

CALDANA, N. F. da S.; MARTELÓCIO, A. C.; RUDKE, A. P.; NITSCHE, P. R. Eventos extremos e variabilidade pluviométrica em Londrina – PR: estudo de caso das chuvas de 11 de janeiro de 2016. **Geografia em Questão**, [S. I.], v. 12, n. 2, 2019. Disponível em: <<https://saber.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/21980>>. Acesso em dezembro de 2021.

CÂMARA MUNICIPAL DE LONDRINA - LEI Nº 12.236, DE 29 DE JANEIRO DE 2015. Disponível em: <<https://www1.cml.pr.gov.br/leis/2015/web/LE122362015consol.html>> Acesso em março de 2022.

CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 36, p. 26-43, 2014.

CELLIGOI, A.; DUARTE, U. Determinação da reserva reguladora do aquífero Caiuá no estado do Paraná utilizando as curvas de recessão do rio das Antas. **Águas Subterrâneas**, v. 23, n. 1, p. 13–20, 9 fev. 2009.

CHAVES, H. M. L; SANTOS, L. B. S. Ocupação do solo, fragmentação da paisagem e qualidade da água em uma pequena bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13 (Suplemento), p.92-930, 2009.

CHIES, C; YOKOO, S. Colonização do Norte Paranaense: avanço da cafeicultura e problemas decorrentes deste processo. **Revista GEOMAE**, v. 3, n. 1, p. 27-44, 2012.

CORNELLI, R.; SCHNEIDER, V. E.; BORTOLIN, T. A.; CEMIN, G.; SANTOS, G. M. dos; Análise da influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água de duas sub-bacias hidrográficas do município de Caxias do Sul. **Scientia cum Industria,[S. I.]**, v. 4, n. 1, p. 1-14, 2016.

CUNHA, F. C. A. da. **A metrópole de papel: a Representação “Londrina Metrópole” na institucionalização da região metropolitana de Londrina.** Tese (Doutorado) – Unesp, Presidente Prudente, 2005.

CUNICO, A. M. **Efeitos da urbanização sobre a estrutura das assembleias de peixes em córregos urbanos Neotropicais.** 2010. 78 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

DUARTE, C. C., **Análise dos impactos das mudanças climáticas no escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Tapacurá-PE, a partir da utilização de um modelo de balanço hídrico mensal semidistribuído.** 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

EMBRAPA – Latossolos Vermelhos. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos/latossolos-vermelhos>> Acesso em janeiro de 2023.

EMBRAPA – Nitossolos Vermelhos. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/nitossolos/nitossolos-vermelhos>> Acesso em janeiro de 2023

Fórum Nacional de Entidades Metropolitanas. **Região Metropolitana de Londrina.** Disponível em <<https://fnembrasil.org/regiao-metropolitana-de-londrina-pr/>> Acesso em março de 2022.

FRESCA, Tania M. **Mudanças recentes na expansão físico-territorial de Londrina.** Geografia, Londrina, v. 11, n. 2, p. 241-264, jul/dez. 2002.

G1. Prefeitura de Londrina decreta situação de emergência após chuvas. Disponível em <<https://g1.globo.com/pr/norte-noroeste/noticia/2016/01/prefeitura-de-londrina-decreta-situacao-de-emergencia-apos-chuvas.html>> Acesso em setembro de 2022.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** São Paulo – 6^a ed. Atlas. 2008

GOMES, D. J. C.; PEREIRA, F. M.; DA SILVA, D. F.; DIAS, G. F. de M. Padrões Hidroclimatológicos Associados À Dinâmica Do Uso Da Terra, Município De Rio Branco-Ac. **Geoambiente On-line**, Goiânia, n. 43, 2022. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/71582>> Acesso em setembro de 2022

GOUDIE, A. S. The Human Impact on the natural environment: past, present and future. 7. ed. Oxford: **Wiley-Blackwell**, 1990.

HACHEM, B. P.: **Análise do Comportamento da Precipitação e da Vazão em Bacias Hidrográficas Amazônicas**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará - PA. 2016, 99p.

HARTMANN, L. A.. A história natural do Grupo Serra Geral desde o Cretáceo até o Recente. **Ciência e natura**, Santa Maria, v. 36 ed. especial, 2014, p. 173-182. INPE-CPETEC. Condições atuais do ENOS. Disponível em <<http://enos.cptec.inpe.br/>> Acesso em dezembro de 2021

IAT. **Monitoramento da Qualidade da Água**. Disponível em <<https://geo.iat.pr.gov.br/portal/apps/opsdashboard/index.html#/3543e8d8d6284e8fb1d62abdfb0f1895>> Acesso em março de 2021.

IPCC. **Global Warming of 1.5°C. An: IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty**. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 2018. 616 p.

KAUFFMANN, M. O.; SILVA, L. P. da. Taxa de impermeabilização do solo: um recurso para a implementação da bacia hidrográfica como unidade de planejamento urbano integrado à gestão dos recursos hídricos. **XI Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional**, v. 11, 2005.

KOBIYAMA, M.; MINELLA, J. P. G.; FABRIS, R. Áreas degradadas e sua recuperação. **Informe agropecuário, belo horizonte**, v. 22, n. 210, p. 10-17, 2001.

KATAOKA, F. E. **Ferramenta SWAT para modelagem hidrológica na área da bacia do Ribeirão Cafetal em Londrina - PR**. Monografia (Graduação) – Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2017, 64p.

LIMBERGER, L. **Variabilidade da vazão de regiões homogêneas da bacia hidrográfica brasileira: teleconexões com a temperatura da superfície do mar (TSM) de 1976-2010**. 2015 486f. Tese (Doutorado) – Geografia Física – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

LONDRINA. Prefeitura Municipal de Londrina. **Perfil da Região Metropolitana de Londrina 2014**. Disponível em: <<http://repositorio.londrina.pr.gov.br/index.php/menu-planejamento/gpi/perfil-regiao-metropolitana/1069-perfil-rml-2014/file>> Acesso em março de 2022.

LONDRINA. SIGLON -Downloads. Disponível em <<https://www.londrina.pr.gov.br/downloads-siglon>> Acesso em fevereiro de 2021.

LOPES, L. F. D. **Métodos Quantitativos**. 1^a edição. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

MAACK, R. 1981. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro. 2º Edição. P. 73-97, 1981.

MANGILI, Fabiana Bezerra. **Variabilidade Climática e seus Impactos Na Produção De Milho Safrinha Em Londrina** – Pr. 2014. 102 f. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina. 2014.

MAPBIOMAS. Mapas e Dados. Disponível em <<https://mapbiomas.org/download>> Acesso em setembro de 2022.

MARCATTO, C. Educação Ambiental: Conceitos e princípios. Belo Horizonte: Feam, 2002.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1990.

MARENGO, J. A. Entendendo a Mudança de clima e a atribuição de causas segundo o IPCC AR4. In **Mudança Climática – Rumo a um novo acordo mundial. III Conferência Regional Sobre Mudanças Climáticas Globais: América do Sul**. Instituto de Estudos Avançados, USP, 2008

MENDES, E. A. A; NAKANDAKARE, K. C; SOUZA, A. M; FERNANDES, A. M. P; SILVEIRA, E. L; FELTRIN, J; GUARDA, M. J. Mananciais subterrâneos no estado do Paraná. Águas Subterrâneas, Suplemento: **XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, São Paulo, 20 p. 1–20, 2002.

MENDONÇA, F. Diagnóstico e análise ambiental de microbacia hidrográfica: proposição metodológica na perspectiva do zoneamento, planejamento e gestão ambiental. In: **IV Encuentro de Geógrafos de América Latina**: (1993), Curitiba UFPR p. 67-89, abr. 1999.

NETO, M. C. **Impacto ambiental, degradação ambiental, poluição, contaminação e dano ambiental: comparação entre conceitos legal e técnico**. Rio Claro, 2008.

OLIVEIRA, A. M. S. Relação homem/natureza no modo de produção capitalista. **PEGADA-A Revista da Geografia do Trabalho**, v. 3, 2002.

ONU - WORLD COMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. Our Common Future. Oxford, UK: **Oxford University Press**, 1987.

PARANÁ – Instituto Agronômico do Paraná, Atlas climático do Estado do Paraná. Disponível em: <<https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>> Acesso em outubro de 2022

PEREIRA, L. R. **Observações sobre o uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Ribeirão Quati**. Trabalho de conclusão de curso de Geografia,

apresentado à Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Geografia. 2011.

PEREZ FILHO, A.; QUARESMA, C. C. Ação antrópica sobre as escalas temporais dos fenômenos geomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, 2012.

PETERLINI, G.; PINESE, J. P. P.; CELLIGOI, A. Utilização do método de curvas de recessão na avaliação de reservas reguladoras de aquíferos: uma ferramenta de planejamento urbano ambiental. **Geoatos**, v. 1, n. 9, p. 57–70, 2019.

PIMENTA, Maria Júlia Gripho **Tipos climáticos anuais no estado do Paraná:** uma aplicação da classificação de Köppen para o período de 1980 a 2015. 2019. Relatório de Iniciação Científica – Universidade Estadual de Londrina, 2019.

POLIDORO, Maurício. **Londrina e Maringá:** complexidade e multiescalaridade. Tese. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

POPPE, M. K.; SANTOS, M. M. Impactos, vulnerabilidade e adaptação. In *Mudança Climática – Rumo a um novo acordo mundial. III Conferência Regional Sobre Mudanças Climáticas Globais: América do Sul.* Instituto de Estudos Avançados, USP, 2008

PORTO, M. F. A., PORTO R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas.** Estudos Avançados, 22 (63), 2008

QUEIROZ, M. M. F.; IOST, C.; GOMES, S. D.; VILAS BOAS, M. A. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde de Agroecologia e desenvolvimento sustentável.** Vol.5, n. 4, p. 200 – 210, 2010.

RODRIGUES, C. **A Teoria Geossistêmica e suas contribuições aos estudos geográficos e ambientais.** In: Revista do Departamento de Geografia. São Paulo - SP. 2001, p. 69-77.

ROMANELLI, C.; ABIKO, A. K. Processo de Metropolização no Brasil. **Texto Técnico da Escola Politécnica da USP.** Departamento de Engenharia de Construção Civil (TT/PCC/028). São Paulo, Escola Politécnica, 2011.

ROMEIRA E SILVA, P. A. (org). **Água: Quem vive sem?** 2. Ed. São Paulo: FCTH/CT Hidro, 2003.

ROSS, J. L. S. **Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados.** Lab. De Geomorfologia – Depto de Geografia. FFLCH/USP, 1993. p.63-74.

RUBIRA, F. G. Definição e diferenciação dos conceitos de áreas verdes/espaços livres e degradação ambiental/impacto ambiental. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 45, p. 134-150, 2016.

SANTOS, C. F.; HIRATA, R. Marcellini, S. S.; BARBATTI, D. Surface and groundwater relationship in an anthropically modified area. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, 2021.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 7, n. 2, p. 3-12, 2006.

SANTOS, M. Sociedade e espaço: formação espacial como teoria e como método. **São Paulo: Boletim Paulista de Geografia**, n. 54, 1978.

SANTOS, M. M.; SARTOR, M. J.; MELO, Â. C. A. Evolução temporal da atuação ENOS sobre elementos climáticos no Norte do estado do Paraná e a influência sobre evento extremo na Bacia do Ribeirão Cafetal em janeiro de 2016. **Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano** – 2.ed. São Paulo, 2020.

SAUER, C. O. Geografia cultural. **Espaço e cultura**, n. 3, p. 1-7, 1997.

SCHIERMEIER, Q. Increased flood risk linked to global warming. **Nature**, 470(7334), (2011)

SERVIÇO GEOLÓGICO DO PARANÁ – MINEROPAR, 2001. Atlas comentado da geologia e dos recursos minerais do estado do Paraná. Curitiba: MINEROPAR. 116 p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO PARANÁ - MINEROPAR- Minerais do Paraná. **Atlas Geomorfológico do Estado Do Paraná** - Escala base 1: 500.000; Curitiba, 2006.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2000.

SIGLON – Bacias Hidrográficas. Disponível em: <<https://geo.londrina.pr.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=5360a454d15146a3bcf4ebdbe8e49e03>> Acesso em fevereiro de 2021.

SILVA, J. R. C. ARAÚJO, C. S., SOUZA, I. G., & FONTES, M. S.. Estudo dos impactos ambientais em microbacia ocasionado pelas obras de construção do Conjunto João Paulo II na Zona Norte de Manaus–AM. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 01, p. 150-159, 2017.

SOUZA, J. R.; MORAES, M. E. B.; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso Rio Almada, sul da Bahia, Brasil. REDE -Revista Eletrônica do Prodema, v. 8, n. 1, p. 26-45, 2014. SQUIZZATO, R. **Análise do uso e ocupação do solo da Bacia do Ribeirão Cambé (Londrina-Pr) e sua relação com a estrutura da assembleia de peixes**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

TERASSI, P. M. de.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F.; GÓIS, G.; GALVANI, E.; Variabilidade do índice de precipitação padronizada na região norte do estado do Paraná associada aos eventos de El Niño-Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 11-25, 2018.

TROPPMAIR, H. Perfil Fitoecológico do Estado do Paraná. **Boletim de Geografia**, v. 8, n. 1, p. 67-67, 1990.

TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4)

TUCCI, C. E. M. Impactos da Variabilidade Climática e do Uso do Solo nos Recursos Hídricos, 150 p. **Câmara Temática de Recursos Hídricos, Agência Nacional de Águas (ANA)**, Brasil, 2002.

VERCEZI, J.T. **Aglomerações produtivas e o perfil da indústria de transformação na região metropolitana de Londrina**. Geomae, Campo Mourão, v.9, n.2, p.13-34, 2018.

VIANA, T. R.; CELLIGOI, A. **Análise das reservas de águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral em Londrina: Recarga e Consumo**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. **Anais...**2002.

WANG, D.; CAI, X. Recession slope curve analysis under human interferences. **Advances in Water Resources**, v. 33, n. 9, p. 1053-1061, 2010.

Wunderling, N., Donges, J. F., Kurths, J., and Winkelmann, R.: Interacting tipping elements increase risk of climate domino effects under global warming, **Earth Syst. Dynam.** V12, 2021. 601–619.