

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CAMPUS SUDOESTE – SEDE QUIRINÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *Stricto Sensu* EM AMBIENTE e
SOCIEDADE

MARCIO SEBASTIÃO DE OLIVEIRA

**MORFOMETRIA E AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE HÍDRICA
OBTIDAS POR GEOPROCESSAMENTO E MONITORAMENTO
ESPAÇO - TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA NA MICROBACIA
RIBEIRÃO DAS PEDRAS – QUIRINÓPOLIS/GO**

Quirinópolis - GO

2024

MÁRCIO SEBASTIÃO DE OLIVEIRA

**MORFOMETRIA E AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE HÍDRICA OBTIDAS
POR GEOPROCESSAMENTO E MONITORAMENTO ESPAÇO - TEMPORAL
DA QUALIDADE DA ÁGUA NA MICROBACIA RIBEIRÃO DAS PEDRAS –
QUIRINÓPOLIS/GO**

Dissertação apresentada à Banca Avaliadora,
como requisito para a obtenção do título de
Mestre em Ambiente e Sociedade junto ao
Programa de Pós-Graduação em Ambiente e
Sociedade da Universidade Estadual de Goiás.

Área de Concentração: Ciências Ambientais

Linha de Pesquisa (2): Dinâmica
socioeconômica em ambientes urbanos e rurais.

Orientador: Dr. Pedro Rogerio Giongo

Quirinópolis – GO

2024

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DE TESES E DISSERTAÇÕES (BDTD/UEG)

Na qualidade de titular dos direitos de **autor/autora**, autorizo a Universidade Estadual de Goiás a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UEG), regulamentada pela Resolução, **CsA n.1087/2019** sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a **Lei nº 9610/98** e permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

Estando ciente que o conteúdo disponibilizado é de inteira responsabilidade do **autor/autora**.

1. IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO

Dados do autor (a)

Nome completo: Márcio Sebastião de Oliveira
E-mail: oliveiraconsultoriaeobjetos@gmail.com

Dados do trabalho

Título: MORFOMETRIA E AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE HIDRICA OBTIDAS POR GEOPROCESSAMENTO E MONITORAMENTO ESPAÇO - TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA NA MICROBACIA RIBEIRÃO DAS PEDRAS – QUIRINÓPOLIS/GO.

Nº de páginas: 124

Nome orientador(a): Dr. Pedro Rogerio Giongo

Tipo de produção

☐ Tese ☐ Dissertação e Produto Técnico Tecnológico (PTT)
☒ Dissertação ☐ Tese e Produto Técnico Tecnológico (PTT)

Curso / Programa

Mestrado Acadêmico em Ambiente e Sociedade

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ambiente e Sociedade

Câmpus / Unidade / Pólo: UEG - Campus Sudoeste - Sede Quirinópolis-Goiás

Data de defesa: 26/06/2024

PERMISSÃO DE PUBLICAÇÃO E ACESSO AO DOCUMENTO *

Concorda com a liberação total do documento

☒ SIM
☐ NÃO (Neste caso o documento não será publicado por até um ano a partir da data de defesa).

Assinalar justificativa para o caso de impedimento e não liberação do documento

☐ Solicitação de registro de patente;
☐ Submissão de artigo em revista científica;
☐ Publicação como capítulo de livro;
☐ Publicação da dissertação/tese em livro.

* Em caso de não autorização, o período de embargo será de **até um ano** a partir da data de defesa, prorrogável para mais um ano.

* Em caso de necessidade de dilatação deste prazo, deverá ser apresentado formulário de solicitação para extensão de prazo para publicação, devidamente justificado, junto à coordenação do curso.

* Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Ciente de que, mesmo em circunstância de embargo da produção para publicação em sua totalidade, à exceção dos metadados, a produção deve ser entregue em sua totalidade para que seja publicada conforme permissões assinaladas.

Documento assinado digitalmente
MÁRCIO SEBASTIÃO DE OLIVEIRA
Data: 15/10/2024 10:53:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Nome e Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais.

Quirinópolis, 26 de agosto de 2024.
Documento assinado digitalmente
PEDRO ROGERIO GIONGO
Data: 15/10/2024 10:47:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS (UEG)
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO (PRG)
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS REGIONAIS (SIBRE)**

Como Referenciar:

OLIVEIRA, Marcio Sebastião de. MORFOMETRIA E AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE HÍDRICA OBTIDAS POR GEOPROCESSAMENTO E MONITORAMENTO ESPAÇO - TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA NA MICROBACIA RIBEIRÃO DAS PEDRAS – QUIRINÓPOLIS/GO. Orientador: Pedro Rogério Giongo. 2024. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Sociedade) - Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus Sudoeste – Sede Quirinópolis, 2024.

All rights reserved.

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

O48m Oliveira, Marcio Sebastião de.
Morfometria e avaliação da vulnerabilidade hídrica obtidas por geoprocessamento e monitoramento espaço-temporal da qualidade da água na Microbacia Ribeirão das Pedras - Quirinópolis/GO / Marcio Sebastião de Oliveira – Quirinópolis, 2024.
124 f. : il. Color.

Orientador Prof^o Dr^o Pedro Rogério Giongo
Dissertação (Mestrado em Ambiente e Sociedade), Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus Sudoeste – Sede Quirinópolis, 2024.

1. Bacia Hidrográfica. 2. SIG. 3. Qualidade da água. 4. Uso do Solo. 5. Método AHP. I. Título. II. Giongo, Pedro Rogério. III. Universidade Estadual de Goiás (UEG).

CDU – 556.528

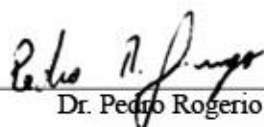
Catalogação na fonte: Bibliotecária Mariana Oliveira Soldera – CRB1/3100

Ficha de aprovação

Dissertação apresentada à Comissão Avaliadora, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ambiente e Sociedade junto ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade da Universidade Estadual de Goiás.

Título: Morfometria e avaliação da vulnerabilidade hídrica obtidas por geoprocessamento e monitoramento espaço - temporal da qualidade da água na microbacia Ribeirão das Pedras – Quirinópolis/GO.

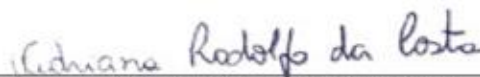
Mestrando: Marcio Sebastião De Oliveira
Quirinópolis, GO. 26 de junho de 2024.



Dr. Pedro Rogerio Giongo

UEG - Câmpus Sudoeste, Quirinópolis – GO.

Orientador e Presidente da Banca



Drª. Adriana Rodolfo da Costa

UEG - Câmpus Sudoeste, Quirinópolis – GO.

Membro interno



Documento assinado digitalmente
EDIMAR RODRIGUES SOARES
Data: 20/08/2024 20:14:19-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Dr. Edimar Rodrigues Soares

FAQUI - Quirinópolis – GO.

Membro externo

Dedico este trabalho, ao meu orientador, cuja orientação foi fundamental para o sucesso desta jornada. À minha família, pelo amor e apoio inabaláveis que me sustentaram em cada etapa do caminho. Aos amigos e colegas, que compartilharam comigo momentos de incentivo e aprendizado. A todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste mestrado, minha profunda gratidão e está dedicatória.

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação de mestrado só foi possível graças ao valioso apoio de várias pessoas. Em primeiro lugar, expresso minha sincera gratidão ao meu orientador, Professor Doutor Pedro Rogerio Giongo, por sua paciência, dedicação e constante motivação ao longo de todo este processo, assim como nos seminários do mestrado. Por fim, agradeço à minha família e amigos pelo apoio incondicional durante a elaboração deste trabalho.

"Nenhum homem é uma ilha"

John Donne (1624).

"Nós, seres humanos, não somos nada sozinhos; a verdadeira realização e compreensão vêm da conexão com os outros e com o universo". Por isso, dedico este trabalho à minha amada esposa, Ivone de Araújo Nunes Oliveira, que esteve sempre ao meu lado de forma incondicional. Sem o seu apoio, a conclusão deste mestrado não teria sido possível. Márcio Sebastião de Oliveira

Citação

"O meio ambiente é onde todos vivemos; e, apesar de parecer que o conhecemos bem, ele continua a nos surpreender e a nos oferecer lições valiosas a cada dia." - Sylvia Dolson.

RESUMO

A análise de vulnerabilidade ambiental permite avaliar ecossistemas sob pressões específicas. Esta informação é útil para o planejamento ambiental, pois ajuda a identificar áreas onde os danos ambientais causados, poderão ter maior impacto e a desenvolver programas para reduzir fontes de poluição. Neste sentido o presente estudo objetivou mapear e analisar as áreas com diferentes níveis de riscos ao processo de degradação ambiental da Microbacia Hidrográfica Ribeirão das Pedras, localizada no cerrado Goiano no município de Quirinópolis. Após uma revisão sistemática, é dividida em três capítulos conforme descrição a seguir: **No primeiro capítulo**, mapeou-se as características morfométricas da bacia, onde os resultados indicam uma área da bacia de 261,6964 km², com um perímetro de 88,9259 km, apresentando um formato alongado e uma densidade regular de 0,8206 km/km². A forma de padrão de drenagem é dendrítica, com forte controle estrutural no sentido noroeste-sudoeste. A densidade Hidrográfica é baixa, com 0,098 canais/km². Aspectos morfométricos indicam baixa tendência a enchentes, corroborados pelo índice de circularidade, coeficiente de compacidade e fator de forma. Destaca que os dados morfométricos, com informações do Sistema de Informação Geográfica (SIG), como localização, área e Modelo Digital de Elevação (MDE), são cruciais para a gestão dos recursos hídricos do Ribeirão das Pedras, em Quirinópolis – GO. Cerca de 85,82% da área da bacia possui declividade classificada entre Plano e Suavemente Ondulado, favorecendo um escoamento da água suave com velocidades amenas. Fatores como o índice de Gravélius e índice de razão de relevo contribuem para a manutenção e conservação da área. **No segundo capítulo**, o objetivo do estudo foi avaliar a qualidade e quantidade da água na microbacia Ribeirão das Pedras, em Quirinópolis, considerando a escala espacial durante um ciclo hidrológico e sua relação com os usos do solo em sub-bacias. Seis pontos de coleta foram avaliados para parâmetros como pH, oxigênio dissolvido, temperatura, turbidez, condutividade elétrica, cor e potencial de oxidação-redução, com coletas a cada dois meses no ano de 2023. Dados de solo, hipsometria, declividade, e uso e cobertura do solo foram obtidos e processados com o QGIS v3.22. Classes de uso do solo foram identificadas e quantificadas para cada sub-bacia, relacionadas aos pontos de coleta de água. A correlação entre uso do solo e parâmetros da qualidade da água foram analisadas usando o coeficiente de correlação de Pearson. Os pontos de coleta 5 e 6 apresentaram os maiores valores significativos de condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e pH, indicando provável influência de atividades antropogênicas, com 81,3% da área total da microbacia sendo utilizada predominantemente para agricultura. **No terceiro capítulo**, foi utilizada uma metodologia de análise multicritério com o apoio de geotecnologias, incluindo produtos do sensoriamento remoto, e técnicas de SIG, para avaliar o risco de degradação ambiental na microbacia. Foram considerados diversos critérios, como uso e ocupação do solo, classe de solo, declividade, moradias, e as ponderações foram realizadas por meio de técnicas do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP). O mapa de fragilidade ambiental é crucial para identificar áreas degradadas, os resultados indicam que 69,56% da Microbacia do Ribeirão das Pedras (17.946,04 hectares) apresentam alta acidez e baixa fertilidade, exigindo correção. O relevo da região favorece a erosão e a drenagem inadequada, enquanto a urbanização aumenta a poluição hídrica. A vulnerabilidade das áreas, associada a práticas agrícolas intensivas, destaca a necessidade urgente de implementar manejo sustentável para melhorar a resiliência ambiental.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica, SIG, qualidade da água, uso do solo, método AHP.

ABSTRACT

Environmental vulnerability analysis allows for the assessment of ecosystems under specific pressures. This information is useful for environmental planning as it helps identify areas where environmental damage may have a greater impact and to develop programs to reduce pollution sources. In this context, the present study aimed to map and analyze areas with different levels of risk to the environmental degradation process of the Ribeirão das Pedras Micro-Watershed, located in the municipality of Quirinópolis, in the Goiás. After a systematic review, it is divided into three chapters as described below: In the **first chapter**, the morphometric characteristics of the watershed were mapped, where the results indicate a watershed area of 261.6964 km², with a perimeter of 88.9259 km, presenting an elongated shape and a regular density of 0.8206 km/km². The drainage pattern is dendritic, with strong structural control in the northwest-southwest direction. The hydrographic density is low, with 0.098 channels/km². Morphometric aspects indicate a low tendency for flooding, corroborated by the circularity index, compactness coefficient, and form factor. It highlights that morphometric data, with Geographic Information System (GIS) information such as location, area, and Digital Elevation Model (DEM), are crucial for the management of water resources of Ribeirão das Pedras, in Quirinópolis – GO. About 85.82% of the watershed area has a slope classified between Flat and Gently Undulating, favoring a smooth water runoff with moderate speeds. Factors such as the Gravelius index and the relief ratio index contribute to the maintenance and conservation of the area. In the **second chapter**, the objective of the study was to evaluate the quality and quantity of water in the Ribeirão das Pedras micro-watershed in Quirinópolis, considering the spatial scale during a hydrological cycle and its relationship with land use in sub-watersheds. Six collection points were evaluated for parameters such as pH, dissolved oxygen, temperature, turbidity, electrical conductivity, color, and oxidation-reduction potential, with collections every two months in the year 2023. Soil data, hypsometry, slope, and land use and cover were obtained and processed with QGIS v3.22. Land use classes were identified and quantified for each sub-watershed, related to water collection points. The correlation between land use and water quality parameters was analyzed using Pearson's correlation coefficient. Collection points 5 and 6 showed the highest significant values of electrical conductivity, dissolved oxygen, and pH, indicating probable influence of anthropogenic activities, with 81.3% of the total area of the micro-watershed being predominantly used for agriculture. In the **third chapter**, a multi-criteria analysis methodology was used with the support of geotechnologies, including remote sensing products, and GIS techniques, to evaluate the risk of environmental degradation in the micro-watershed. Various criteria were considered, such as land use and occupation, soil class, slope, housing, and weightings were carried out using techniques from the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. The environmental fragility map is crucial for identifying degraded areas, and the results indicate that 69.56% of the Ribeirão das Pedras Micro-Watershed (17,946.04 hectares) show high acidity and low fertility, requiring correction. The region's relief favors erosion and inadequate drainage, while urbanization increases water pollution. The vulnerability of the areas, associated with intensive agricultural practices, highlights the urgent need to implement sustainable management to improve environmental resilience.

Keywords: Watershed, GIS, water quality, land use, AHP method.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	14
LISTA DE SIGLAS	17
1 INTRODUÇÃO.....	18
2 OBJETIVO GERAL.....	21
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	23
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	24
4.1 Qualidade de água	24
4.1.1 Parâmetros químicos de qualidade da água	26
4.1.2 Temperatura da água.....	27
4.1.3 Turbidez	27
4.1.4 Cor (uH).....	27
4.1.5 Potencial hidrogeniônico da água - pH.....	28
4.1.6 Condutividade elétrica da água – CE.....	28
4.1.7 Oxigênio dissolvido – OD	29
4.1.8 Potencial Oxirredução Eh - ORP	29
4.2 Análise de Vulnerabilidade hídrica e ambiental	29
4.2.1 A importância e as ameaças à qualidade das águas	31
4.3 Geotecnologias	33
4.3.1 Sensoriamento remoto	34
4.3.2 Sistema de Informação Geográfica.....	34
4.4 Análise hierárquica multivariada	35
5.0 REFERÊNCIAS	41
CAPÍTULO 1 - GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA AVALIAÇÃO DA COBERTURA E CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA MICROBACIA DO RIBEIRÃO DAS PEDRAS*	48
RESUMO	48
1 INTRODUÇÃO	49
2 MATERIAL E MÉTODOS	50
2.1 Área de estudo	50
2.2 Características Morfométricas	52

	12
2.3 Perímetro da bacia(P) e Área de drenagem (A)	52
2.4 Diferença Altimétrica.....	52
2.5 Parâmetros morfométricos	53
2.6 Densidade de Drenagem	53
2.7 Fator de Forma.....	54
2.8 Índice de circularidade	54
2.9 Razão de relevo ou Declividade do ribeirão principal.....	55
2.10 Razão de elongação	55
2.11 Índice de rugosidade	56
2.12 Densidade Hidrográfica	56
2.13 Coeficiente de Compacidade Kc ou Índice de Gravélius	57
2.14 Extensão média do escoamento superficial	57
2.15 Índice de sinuosidade.....	58
2.16 Razão de textura.....	58
2.17 Uso e Cobertura do Solo	59
2.18 Classes de Solo	59
2.19 Hipsometria e declividade do terreno	59
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4 CONCLUSÕES.....	67
5 REFERÊNCIAS	68
CAPÍTULO 2 - RELAÇÃO DA OFERTA E QUALIDADE DA ÁGUA COM OS USOS DOS SOLO NO RIBEIRÃO DAS PEDRAS – QUIRINÓPOLIS -GO.....	72
RESUMO	72
ABSTRACT	73
1 INTRODUÇÃO	73
2 MATERIAL E MÉTODOS	75
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
4 CONCLUSÃO	101
5 REFERÊNCIAS	102
CAPÍTULO 3 - ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA MICROBACIA RIBEIRÃO DAS PEDRAS, QUIRINÓPOLIS - GO.....	105
RESUMO.....	109
ABSTRACT	105
1 INTRODUÇÃO	106

2 MATERIAL E METODOS	107
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	115
6 CONCLUSÕES.....	123
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
CONSIDERAÇÕES FINAIS	127

LISTAS DAS TABELAS

Figura 1	Mapa do Município de Quirinópolis com localização da Micro bacia Ribeirão das Pedras	22
Figura 2	Modelo simples de árvore Hierárquica	38
Figura 3	Etapas desenvolvidas no processo de hierarquia analítica AHP	41

CAPÍTULO 1

Figura 1	Localização geográfica da Microbacia do Ribeirão das Pedras – Município de Quirinópolis – GO.....	51
Figura 2	Mapa temático das classes de uso e cobertura do solo da Microbacia Ribeirão das Pedras - Município de Quirinópolis.....	63
Figura 3	Mapa temático das classes de solo da Ribeirão das Pedras.....	65
Figura 4	Mapa temático das classes de declividade da Ribeirão das Pedras.....	66

CAPÍTULO 2

Figura 1	Mapa de localização do Brasil (A), Goiás (B), município de Quirinópolis (C), Pontos de coletas de água (D) Classe de usos e cobertura do solo (E), Declividade do terreno (F), Hipsométrico (G) da microbacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras - Município de Quirinópolis – GO.	81
Figura 2	Mapeamento das sub-bacias hidrográficas Ribeirão das Pedras, Município de Quirinópolis – GO	82
Figuras 3	Gráfico dos parâmetros de qualidade de água pH, nas seis datas de coletas e datas das amostras.	86
Figuras 4	Gráfico de temperatura, dos parâmetros de qualidade de água, nas seis datas de coletas e datas das amostras.	87
Figuras 5	Gráfico de turbidez, dos parâmetros de qualidade de água, nas seis datas de coletas e datas das amostras.	88

Figuras 6	Gráfico de CE, dos parâmetros de qualidade de água, nas seis datas de coletas e datas das amostras.	89
Figuras 7	Gráfico de Cor, dos parâmetros de qualidade de água, nas seis datas de coletas e datas das amostras.	90
Figuras 8	Gráfico de Eh-ORP, dos parâmetros de qualidade de água, nas seis datas de coletas e datas das amostras.	91
Figura 9	Erosão identificada no leito do Ribeirão das Pedras, localizada no ponto 2 das amostragens.	92
Figuras 10	Gráfico de OD, dos parâmetros de qualidade de água, nas seis datas de coletas e datas das amostras.	94

CAPÍTULO 3

Figura 1	Microbacia hidrográfica Ribeirão das Pedras, Município de Quirinópolis – GO.	107
Figura 2	Classes de Uso do solo na microbacia Ribeirão das Pedras, Quirinópolis – GO.	114
Figura 3	Classes de fragilidade no uso do solo na Microbacia Ribeirão das Pedras, Quirinópolis – GO.	115
Figuras 4	Classes de solo na Microbacia Ribeirão das Pedras, Quirinópolis – GO.	116
Figuras 5	Classes de declividade na Microbacia Ribeirão das Pedras, Quirinópolis -GO.....	117
Figura 6	Mapa de influência de moradias com valores Normalizados.....	119
Figura 7	Mapa de vulnerabilidade ambiental Ribeirão das Pedras, Quirinópolis – GO.	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Padrão de potabilidade em (VMP ¹) para substâncias químicas inorgânicas que representam risco a saúde.	26
Tabela 2	Padrão de aceitação para consumo humano em (VMP ¹) para substâncias químicas inorgânicas.	26
Tabela 3	Escala fundamental de Saaty para comparação pareada AHP.	37

Tabela 4	Demonstração da quantidade de fatores ponderantes por critérios utilizados.	38
Tabela 5	Valores IR para matrizes quadradas de ordem.	40

CAPÍTULO 1

Tabela 1	Parâmetros de atributos utilizados no QGIS para o estudo.	53
Tabela 2	Resultados obtidos para a caracterização morfométrica da bacia Ribeirão das Pedras, município de Quirinópolis, GO.	60
Tabela 3	Classes de uso do solo e representação percentual na Microbacia Ribeirão das Pedras, 2022	64
Tabela 4	Classes de uso do solo da bacia Ribeirão das Pedras.	65
Tabela 5	Classes de declividade na Microbacia Ribeirão das Pedras.	67

CAPÍTULO 2

Tabela 1	Tipos de relevo e faixas de declividades metodologia Embrapa. .	76
Tabela 2	Coordenadas geográficas dos pontos de coleta de água dos parâmetros de qualidade e que definem as sub bacias.	77
Tabela 3	Descrição dos parâmetros de qualidade de água, e caracterização utilizada no estudo.	78
Tabela 4	Padrões potabilidade da água para consumo humano, definidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005 (BRASIL, 2005).	78
Tabela 5	Intervalos de valores para classificação do coeficiente de correlação Pearson	80
Tabela 6	Características das subáreas das (sub-bacias) Ribeirão das Pedras (BRP).	83
Tabela 7	Distribuição da área (ha) e % das classes de declividade nas sub-bacias Ribeirão das Pedras	83
Tabela 8	Distribuição da sub-bacias Ribeirão das Pedras dos cálculos das vazões.	84
Tabela 9	Quantitativos de classes de uso e cobertura do solo nas sub bacias da Microbacia Ribeirão das Pedras, no ano de 2022	95
Tabela 10	Correlograma das variáveis limnológicas da qualidade de água, para os parâmetros: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica (CE), Cor, Eh (ORP), OD, Turbidez, e as Classes de uso e	96

cobertura do solo das sub bacias, na Microbacia Ribeirão das Pedras, Quirinópolis – GO. 2023.....

CAPÍTULO 3

Tabela 1	Descrição dos produtos, fonte dos dados, escala e ano da informação, para aplicação Metodológica da vulnerabilidade ambiental.	108
Tabela 2	Tipos de relevo e faixas de declividades elaboradas pela EMBRAPA.	109
Tabela 3	Relação entre classes e as variáveis para obtenção de fragilidade ambiental na Microbacia Ribeirão das Pedras.	110
Tabela 4	Escala fundamental para comparação pareada AHP.	112
Tabela 5	Matriz de comparação de critérios segundo o método AHP.	112
Tabela 6	Matriz de normalização de critérios segundo o método AHP.	112
Tabela 7	Cálculo das prioridades obtidas a partir da matriz normalizada e da consistência dos valores obtidos.	113
Tabela 8	Resultados pelos critérios de ponderação, comparação entre os pares.	113
Tabela 9	Relação entre as classes e os pesos atribuídos em função do grau de fragilidade.	115
Tabela 10	Valores atribuídos às classes de solo Embrapa (1979).	116
Tabela 11	Valores atribuídos às classes de relevo na Microbacia Ribeirão das Pedras, Quirinópolis – GO.	118
Tabela 12	Classes de moradias na Microbacia Ribeirão das Pedras, Quirinópolis – GO.	119
Tabela 13	Classes de vulnerabilidade ambiental na Microbacia Ribeirão das Pedras, Quirinópolis – GO.	121

LISTA DE SIGLAS

A	Área
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANA	Agência Nacional das Águas
APP	Área de preservação permanente
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Dd	Densidade de drenagem
Dh	Densidade Hidrográfica
Eh	Potencial oxirredução
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GRASS	Geographic Resources Analysis Support System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de circularidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IQA	Índice de qualidade da água
IR	Índice Randômico
Ir	Índice de rugosidade
IS	Índice de sinuosidade
Kc	Coefficiente de compacidade
kf	Fator de forma
Lm	Extensão média do escoamento superficial
MDE	Modelo Digitas de elevação
OD	Oxigênio dissolvido
ORP	Potencial oxidação redução
P	Perímetro
pH	Potencial Hidrogeniônico
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica
QGIS	Quantum GIS
RC	Razão de consistência
Ir	Índice de consistência
Re	Razão de Elongação
Rr	Razão de relevo
SIEG	Sistema Estadual de Geoinformação do Estado de Goiás
SIG	Sistema de informação geográfica
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
T	Textura
uH	Hanzen
µS/cm	microsiemens por centímetro
VMP	Valor Máximo Permitido

1 INTRODUÇÃO

As bacias Hidrográficas desempenham um papel crucial no ciclo da água, na garantia de recursos hídricos e no suporte aos ecossistemas, tanto aquáticos quanto terrestres. A poluição da água ou qualquer alteração das características físicas, químicas ou biológicas que impactem negativamente na qualidade dos corpos hídricos causam graves prejuízos ao meio ambiente e a saúde da população, resultando em contaminação da água e exaustão de lençóis freáticos.

Tundisi (2008) ressalta a importância de uma abordagem abrangente para o gerenciamento dos recursos hídricos, destacando que essa abordagem deve incluir a valoração da pesquisa e do desenvolvimento. Isso significa que é crucial investir em estudos e tecnologias que nos ajudem a entender melhor os ecossistemas aquáticos, os serviços que eles fornecem e como prever e gerenciar adequadamente o uso da água. Além disso, Tundisi destaca a necessidade de sistemas de governança hídrica eficazes, que facilitem um desenvolvimento sustentável baseado na gestão responsável da água. Essas medidas são vitais para lidar com os desafios futuros relacionados à disponibilidade e demanda de água.

Nesse contexto, o mapeamento das unidades da paisagem é essencial para entender como o território funciona e muda ao longo do tempo. É o primeiro passo necessário para criar instrumentos de planejamento ambiental e ordenamento territorial. Esse processo envolve o uso de técnicas que combinam diferentes tipos de informações sobre o meio ambiente, permitindo que identifiquemos as restrições e potenciais do espaço geográfico. Em suma, é uma ferramenta crucial para tomar decisões informadas sobre como gerenciar e usar eficientemente a terra e seus recursos naturais.

A metodologia utilizada na Microbacia do Ribeirão das Pedras combinou sensoriamento remoto e o software QGIS para coletar dados e criar um mapa da paisagem. O principal objetivo foi obter um diagnóstico detalhado da qualidade ambiental e apoiar uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos.

Em relação ao software QGIS, conforme Tomazoni et al. (2022) relatam, trata-se de um Sistema de Informações Geográficas projetado para ser acessível por meio de uma interface gráfica intuitiva, enquanto oferece as funcionalidades essenciais comumente utilizadas pelos usuários de SIG, como a visualização de dados. Além disso, o QGIS possui

recursos abrangentes para manipulação, análise e importação de dados em diversos formatos, incluindo arquivos vetoriais, imagens multiespectrais, imagens raster e bases de dados.

Para facilitar o desenvolvimento de plugins, o QGIS disponibiliza uma variedade de bibliotecas e APIs, como as bibliotecas GRASS e a PyQT4 API. Assim, o uso de softwares de SIG permite realizar estudos e o mapeamento da bacia, o que pode contribuir significativamente tanto para o uso acadêmico quanto para a população em geral, fornecendo informações importantes para pesquisa científica, educação, planejamento ambiental, gestão de recursos naturais, prevenção de desastres naturais e engajamento comunitário. Ao entender melhor as características e dinâmicas das bacias hidrográficas, podemos tomar decisões mais informadas e implementar medidas eficazes para proteger e gerenciar nossos recursos hídricos de forma sustentável.

Medeiros et al. (2009), validando modelos digitais de elevação para bacias Hidrográficas, concluiu, com base nos resultados alcançados, que a adoção de um *software* de SIG para a geração automatizada de bacias Hidrográficas a partir dos dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) oferece uma relação custo-benefício excelente. Além de economizar tempo e recursos financeiros ao automatizar tarefas mecânicas, essa abordagem reduz a subjetividade na delimitação das bacias.

O Modelo Digital de Elevação (DEM) produzido pelo SRTM estabeleceu novos padrões para Dados Digitais de Elevação de Terreno. Esses dados têm sido utilizados para fins diversos, como modelagem hidrológica. De acordo com Valeriano et al. (2008), os Modelos Digitais de Elevação (MDE) são representações altimétricas georreferenciadas, onde cada pixel de uma imagem digital contém um valor de elevação. Estes modelos são gerados a partir de fontes como curvas de nível, que são digitalizadas e interpoladas para criar uma representação da topografia. Dados SRTM, com resolução de aproximadamente 90 m horizontal e 1 m vertical, são comumente utilizados. Apesar de essenciais para o estudo do relevo, a interpretação dos MDE vai além da mera elevação, sendo aplicável em áreas como hidrologia e climatologia. A geração de curvas de nível a partir dos MDE permite uma análise mais detalhada do terreno. No entanto, é crucial estar ciente das limitações, como a resolução espacial e o efeito dossel, especialmente em terrenos planos.

Ross (1994) afirma que, em sua análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, a elaboração de um zoneamento ambiental deve começar com metodologias que compreendam a dinâmica do ambiente natural e do contexto socioeconômico. Essa abordagem deve integrar disciplinas científicas específicas para obter um entendimento mais profundo da realidade estudada.

Essa abordagem se fundamenta em Tricart (1977), baseado no conceito de Unidades Ecodinâmicas, onde descreve as paisagens naturais como sistemas dinâmicos, onde

interações entre elementos naturais e atividades humanas moldam sua evolução ao longo do tempo. Essa abordagem destaca a importância de entender a interdependência dos processos naturais na análise e gestão ambiental.

Por isso, Ross (1994) argumenta que esse conhecimento deve ser desagregado e avaliado de forma integrada, com base no princípio de que a natureza exhibe interações internas entre seus componentes físicos e bióticos.

Como suporte de metodologia ao estudo foi utilizado o método de análise multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP) desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1970, que é uma ferramenta de apoio à decisão utilizado para auxiliar na tomada de decisões complexas, envolvendo múltiplos critérios e alternativas. O AHP permite que os decisores hierarquizem e ponderem os critérios relevantes de acordo com sua importância relativa, facilitando assim a escolha da melhor alternativa. Ele é frequentemente aplicado em áreas como planejamento estratégico, gestão de projetos, seleção de fornecedores, entre outras. Segundo Vargas (1990), o AHP é uma ferramenta que encontrou usos em uma ampla gama de áreas problemáticas, desde questões pessoais simples até decisões complexas e de capital intensivo.

Com base nos conceitos abordados, a pesquisa atual sobre a Modelagem da Vulnerabilidade Ambiental da Microbacia Ribeirão das Pedras, propõe a elaboração de uma carta síntese da vulnerabilidade ambiental. Isso envolve analisar mapas temáticos como Declividade, Solos e Uso e Cobertura da Terra, e quantificar seus atributos em relação à fragilidade natural e às atividades humanas. Esse processo é realizado por meio de modelagem, utilizando o algoritmo AHP e contando com o suporte de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

A natureza funciona em equilíbrio, mas as atividades humanas que impactam negativamente o meio ambiente, tornando-a cada vez mais vulnerável. Aquino et al. (2017), define vulnerabilidade ambiental como sistema natural, suscetível ou incapaz de lidar com as alterações externas. Ainda segundo o autor, ao analisar a vulnerabilidade ambiental, é indispensável elaborar um plano que leve em consideração os aspectos sociais e econômicos de uma região, bem como a análise da vulnerabilidade real ou sua contribuição para os riscos, utilizando indicadores adequados de resistência e exposição.

A Microbacia do Ribeirão das Pedras, localizada no município de Quirinópolis (Figura 1), encontra-se em processo de urbanização, com maior concentração na porção central do município, próximo ao perímetro urbano do Lago Municipal Sol Poente. No restante da área de estudo, o uso e ocupação predominante permanece com áreas

antropizadas, com uso da agricultura, pastagem e cana-de-açúcar. O Plano Diretor Municipal, define que o Rio das Pedras, como áreas de Preservação Permanente (APP), do qual deve considerar as faixas de 30,00 (trinta metros) de faixa lateral, em atendimento ao disposto no Código Florestal e na Lei Federal No. 7803/89; (PM Quirinópolis, 1991). O relevo encontra-se entre 400m a 850m aproximadamente de altitude nas escarpas da Serra, sendo a predominância de 500m a 600m.

Um aspecto importante a considerar neste estudo é o crescimento populacional, que, de acordo com o IBGE (2022), é de 48.447 habitantes. Vale ressaltar que o Ribeirão das Pedras é a fonte de captação de água para abastecer a população de Quirinópolis. Portanto, como justificativa principal, o mapeamento da Fragilidade Ambiental desta bacia Hidrográfica, faz-se necessário para avaliar o impacto da ocupação humana a disponibilidade e qualidade de água ao abastecimento público.

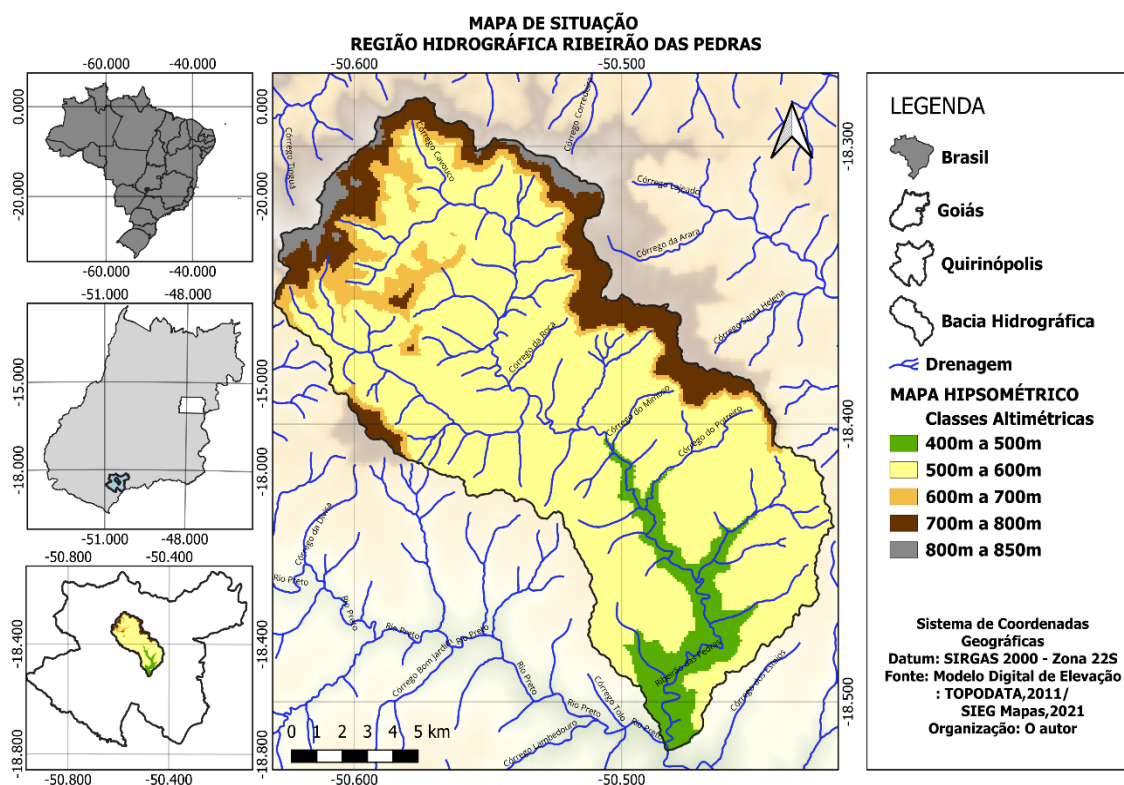


Figura 1: Mapa do Município de Quirinópolis com a localização da Microbacia Ribeirão das Pedras.

2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a real situação das características quali-quantitativas da água, mapas temáticos como Declividade, Solos e Uso e Cobertura da Terra, e quantificar seus atributos em relação à fragilidade natural e às atividades humanas.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho é composto por uma introdução (fundamentação teórica e revisão bibliográfica de todos os temas abordados, incluindo a identificação da problematização), uma caracterização geral da área de estudo e uma metodologia geral. São utilizadas para todo o trabalho 03 (Três) capítulos, conforme descrito abaixo:

Capítulo 1: CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA MICROBACIA DO RIBEIRÃO DAS PEDRAS E AVALIAÇÃO DOS USOS DO SOLO.

Objetivo do capítulo 1:

Os objetivos de identificação e delimitação das unidades morfológicas, análise da rede de drenagem, caracterização morfométrica da bacia, identificação de processos geomorfológicos, avaliação da suscetibilidade a riscos naturais, estudo da evolução geomorfológica e avaliação de impactos antrópicos. Esses objetivos visam compreender a forma, o relevo e os processos que moldam a paisagem da bacia, fornecendo informações essenciais para a gestão e conservação dos recursos naturais.

• Capítulo 2: RELAÇÃO DA OFERTA E QUALIDADE DA ÁGUA COM OS USOS DO SOLO NO RIBEIRÃO DAS PEDRAS – QUIRINÓPOLIS – GO.

Objetivo do capítulo 2:

De conhecer as interações entre o uso do solo, as propriedades físico-químicas da água e do solo, e os impactos ambientais na microbacia, fornecendo informações importantes para a gestão integrada e sustentável dessas áreas.

• Capítulo 3: ANALISAR A VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA MICROBACIA RIBEIRÃO DAS PEDRAS, QUIRINÓPOLIS – GO.

Objetivo do capítulo 3:

O propósito deste estudo é investigar a vulnerabilidade ambiental da Microbacia do Ribeirão das Pedras, situada em Quirinópolis -Go, com o principal enfoque em mapear a fragilidade da bacia Hidrográfica para uma análise mais minuciosa de sua vulnerabilidade. Ao concluir a pesquisa, o mapeamento proporcionou informações para desenvolver critérios ambientais, como uso do solo, tipo de solo, inclinação e distribuição de moradias, com o objetivo de identificar áreas de alta fragilidade ambiental.

3 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

A análise de vulnerabilidade ambiental permite avaliar ecossistemas sob pressões específicas. Esta informação é útil para o planejamento ambiental, pois ajuda a identificar áreas onde os danos ambientais causados, poderão ter maior impacto e a desenvolver programas para reduzir fontes de poluição.

A presente publicação aborda o tema "Morfometria e Avaliação da Vulnerabilidade Hídrica obtidas por Geoprocessamento e Monitoramento Espaço-Temporal do Curso de Água na Microbacia do Ribeirão das Pedras, em Quirinópolis - GO". Esta publicação é estruturada em três partes principais: Introdução, que engloba uma fundamentação teórica e uma revisão bibliográfica dos temas abordados, incluindo a identificação do problema; uma caracterização geral da área de estudo; e metodologia geral. Cada capítulo aborda aspectos relevantes associados ao tema, além de destacar a relação entre a temática abordada e a vulnerabilidade da bacia Hidrográfica.

No Capítulo 1, são abordadas as características morfométricas, que constituem o ponto inicial para compreender a dinâmica hidrológica e geomorfológica da bacia Hidrográfica. Essas características têm um impacto direto em processos como a erosão do solo, o escoamento superficial, a disponibilidade de água e a resposta da bacia a eventos extremos, como inundações e secas.

No Capítulo 2, são detalhadas as análises das propriedades físico-químicas da água na bacia, juntamente com o uso do solo, e suas implicações nos impactos ambientais da hidrografia. Este capítulo oferece um panorama da quantidade e qualidade da água, identificando áreas críticas e as principais possíveis fontes de poluição em cada ponto de amostragem do estudo.

O Capítulo 3, concentra-se no mapeamento da fragilidade da bacia Hidrográfica para uma análise mais detalhada de sua vulnerabilidade.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Por meio do referencial teórico desta pesquisa aborda a qualidade da água, parâmetros químicos de qualidade da água; temperatura, turbidez, cor (uh), Potencial Hidrogeniônico da água (pH), Condutividade elétrica (CE); Oxigênio dissolvido (OD), potencial de oxirredução (Eh -ORP) e a vulnerabilidade hídrica e ambiental.

Para os levantamentos georreferenciados: Geotecnologias; sensoriamento remoto; Sistema de informação geográfica - SIG, Análise hierárquica – multivariada; ponderação de critérios; normalização de critérios e combinação de critérios.

4.1 Qualidade de água

Carvalho et al. (2000), uma maneira de avaliar e monitorar o impacto das atividades humanas nas bacias Hidrográficas é através do uso de Índices de Qualidade da Água (IQA), os quais se baseiam principalmente em fatores limnológicos e físico-químicos.

Destaca-se a importância da qualidade da água, medida pelo IQA - Índice de Qualidade das Águas, para seus usos primários, principalmente o abastecimento de pessoas. No entanto, esse uso tem sido severamente limitado devido a danos naturais e causados pelo homem aos rios, resultando em alterações na qualidade e na quantidade de água disponível.

Segundo a ANA (Agência Nacional de Águas),

O IQA considera nove parâmetros de qualidade das águas: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e sólidos totais. Trata-se de um índice que avalia a condição de utilização da água para fins de abastecimento público, considerando um tratamento convencional.

Portanto, outros usos da água não são diretamente contemplados no IQA. Sendo assim, qualquer análise dos dados do IQA deve sempre considerar essa limitação.

Andrade et al. (2015), a relação entre o desenvolvimento das atividades humanas e o processo de ocupação está intrinsecamente ligada ao meio ambiente. Além disso, ressalta a Moratta et al. (2008) que a gravidade dos problemas causados pela má utilização dos recursos hídricos nas áreas urbanas. Esses problemas demandam medidas imediatas de redução de uso e também evidenciam a conexão entre a preservação dos ecossistemas aquáticos e o bem-estar da sociedade. Ainda, enfatiza a inadequação de uma abordagem que segregue as dimensões ambiental e urbana no planejamento e na gestão.

Menciona Queiroz et al. (2010) que, embora os recursos hídricos sejam importantes para o desenvolvimento regional, a qualidade e a quantidade de água dos rios têm sido

progressivamente afetadas devido à desorganização do sistema hídrico. O crescimento populacional, juntamente com o desenvolvimento social e econômico, contribui para um aumento na demanda por água, resultando em alterações físicas, químicas e biológicas nos ecossistemas aquáticos.

O monitoramento ambiental segundo os parâmetros físico-químicos, em bacias Hidrográficas, visa caracterizar aspectos importantes que podem ser usados para diagnosticar mudanças no uso e ocupação, permitindo avaliar o impacto das atividades humanas nos ecossistemas em bacias Hidrográficas.

Dessa forma, Medeiros Filho (2009), a atividade humana geralmente resulta na liberação de resíduos domésticos e industriais, mesmo em áreas predominantemente rurais, embora essas impurezas estejam muitas vezes mais dispersas. Nas regiões agrícolas, a qualidade natural da água pode ser afetada pela aplicação de pesticidas, que podem penetrar no solo e ser transportados pelo escoamento superficial, especialmente durante períodos chuvosos. Além disso, destaca a importância do tratamento da água, indicando os principais aspectos a serem considerados na avaliação química da água: pH, acidez, alcalinidade, concentração de cloretos, dureza, sólidos dissolvidos, condutividade elétrica, presença de elementos e compostos químicos específicos, e gases dissolvidos.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os padrões de potabilidade e de aceitação para consumo humano (aparência, sabor e cheiro) definidos pela Resolução Conama nº 357/2005 (BRASIL, 2005), para as principais substâncias químicas inorgânicas.

Tabela 1: Padrão de potabilidade (em VMP¹) para substâncias químicas inorgânicas que representam risco à saúde.

Parâmetro	Unidade (mg L⁻¹)
Antimônio	0,005
Arsênio	0,01
Bário	0,7
Cádmio	0,005
Cianeto	0,07
Chumbo	0,01
Cobre	2
Cromo	0,05
Fluoreto	1,5
Mercúrio	0,001
Nitrato (como N)	10
Nitrito (como N)	1
Selênio	0,01

¹ Valor máximo permitido. Fonte: Brasil (2005).

Tabela 2: Padrão de aceitação para consumo humano (em VMP¹) para substâncias químicas inorgânicas.

Parâmetro	Unidade
Alumínio	0,2 mg L ⁻¹
Amônia (NH ₃)	1,5 mg L ⁻¹
Cloreto	250 mg L ⁻¹
Cor aparente	15 uH
Dureza	500 mg L ⁻¹
Ferro	0,3 mg L ⁻¹
Manganês	0,1 mg L ⁻¹
pH	6,5-9,5
Sódio	200 mg L ⁻¹
Sólidos dissolvidos totais	1.000 mg L ⁻¹
Sulfato	250 mg L ⁻¹
Sulfeto de hidrogênio	0,05 mg L ⁻¹
Turbidez	5 UT
Zinco	5 mg L ⁻¹

¹ Valor máximo permitido. Fonte: Brasil (2005).

De acordo com Filizola (2006), um rio ou ambiente aquático é caracterizado por constante movimento da água. Este fluxo turbulento geralmente produz distribuição heterogênea de parâmetros físicos, químicos e biológicos no ambiente. Outra característica notável de um rio é o seu volume variável temporário. Portanto, ao planejar a amostragem, é necessário considerar dois fatores: a amostragem em diferentes seções transversais e longitudinais e amostrado em diferentes épocas do ano para observação das mudanças temporais no fluxo do rio em estudo. Assim, os fatores turbulência e vazão do rio tem muita influência sobre os parâmetros físico químicos e biológicos da água.

4.1.1 Parâmetros químicos de qualidade da água

O Índice de Qualidade da Água foi criado em 1970 pela Fundação Nacional de Saneamento dos Estados Unidos. Desde 1975 é utilizado pela CETESB (Empresa Estadual do Meio Ambiente de São Paulo). Nas décadas seguintes, outros estados brasileiros adotaram o IQA, que é hoje o mais importante índice de qualidade da água do país. A avaliação da qualidade da água obtida pelo IQA apresenta limitações, já que este índice não analisa vários parâmetros importantes para o abastecimento público, tais como substâncias

tóxicas (ex: metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos), protozoários patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água.

4.1.2 Temperatura da água

Silva et al. (2010) afirmam que a temperatura da água desempenha um papel importante no manejo das espécies aquáticas e pode ser considerada uma das características mais importantes do ambiente aquático. Seu valor pode variar entre 0 °C e 30 °C. Ainda, sobre a temperatura da água, conforme Percebon et al. (2005, p. 8).

[...] o aquecimento das águas dos rios pode ter origem em processos naturais, como os geotérmicos, variações sazonais da temperatura ambiente e da insolação, e da redução de vazão. Também advém de processos antrópicos diretos, como a descarga de efluentes com temperatura diferente do corpo receptor, pelo calor liberado na oxidação de carga poluente lançada; ou indiretamente, pelo represamento das águas e desmatamentos na área de drenagem.

Portanto, a temperatura influencia na tensão superficial e na viscosidade dos parâmetros físicos da água.

4.1.3 Turbidez

A transparência da água pode ser demonstrada pela sua turbidez, que é diretamente proporcional à concentração de partículas coloidais ou suspensas. Medir a turbidez é um modo bastante genérico e relativamente simples de avaliar a qualidade da água, sendo extremamente útil em avaliações rápidas. É possível detectar mudanças abruptas na turbidez da água de forma visível, sem a necessidade de técnicas laboratoriais.

A Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde estabelece que o Valor Máximo Permitido é de 1,0 uT para água subterrânea desinfetada e água filtrada após tratamento completo ou filtração direta, e 5,0 uH como padrão de aceitação para consumo humano. Para água resultante de filtração lenta o Valor Máximo Permitido é 2,0 uts.

4.1.4 Cor (uH)

De acordo com Kowata et al. (2020) a cor da água é influenciada pela presença de substâncias dissolvidas nela. Essa coloração pode ser atribuída a diversos fatores, como a presença de ferro ou manganês, decomposição da matéria orgânica, como vegetais, presença

de algas ou ainda pela introdução de esgotos industriais e domésticos. A Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde estabelece para cor aparente o valor máximo Permitido de 15 (quinze) uH como padrão de aceitação para consumo humano.

4.1.5 Potencial hidrogeniônico da água - pH

A Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005, estabelece que para a proteção da vida aquática o pH deve estar entre 6 e 9. Alterações nos valores de pH também podem aumentar o efeito de substâncias químicas que são tóxicas para os organismos aquáticos, tais como os metais pesados. A Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde recomenda que o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 no sistema de distribuição.

4.1.6 Condutividade elétrica da água – CE

No entendimento de Parron et al. (2011), a condutividade refere-se à capacidade de uma solução aquosa de conduzir corrente elétrica. Essa habilidade depende basicamente da presença de íons, concentração total, mobilidade, valência, concentração relativa e medição de temperatura. As soluções da maioria dos ácidos, bases e sais inorgânicos são bons condutores. Moléculas de compostos orgânicos que não se dissociam em solução aquosa geralmente conduzem pouca corrente elétrica. A condutividade é medida com um medidor de condutividade em $\mu\text{S cm}^{-1}$ ou mS cm^{-1} .

4.1.7 Oxigênio dissolvido – OD

Valente (1997) considera o oxigênio dissolvido elemento mais importante no metabolismo de microrganismos aeróbicos que vivem em águas naturais ou em reatores biológicos de tratamento de efluentes. Em águas naturais, o oxigênio também é necessário para outros seres vivos, especialmente peixes, onde a maioria das espécies não tolera uma concentração de oxigênio dissolvido na água abaixo de 4,0 mg/l. Portanto, é um parâmetro muito importante para a classificação dos corpos d'água naturais e para a composição dos índices de qualidade da água (IQA).

4.1.8 Potencial Oxirredução Eh - ORP

O Potencial Redox (ORP), apresentando diferentes perspectivas, para Lelis et al. (2015), o ORP é o potencial de redução das soluções e está relacionado com a perda e ganho de elétrons. O valor do ORP é indicado em milivolts (mV), e em um sistema de água purificada, espera-se encontrar um valor entre 200 e 300 mV. O conhecimento do ORP pode ajudar a determinar a concentração das diferentes formas de metais em um corpo d'água.

Por outro lado, Jardim (2014) destaca a necessidade de cautela na interpretação das medições do potencial redox, já que nem sempre as condições cinéticas permitem que o equilíbrio termodinâmico seja alcançado em ambientes complexos e em constante mudança, como os ecossistemas aquáticos naturais.

Por sua vez, Vieira (2015) discute como os microrganismos respondem ao potencial redox. Microrganismos aeróbios, como a maioria dos bolores, leveduras e bactérias, tendem a se reproduzir em ambientes com potenciais redox positivos. Já microrganismos anaeróbios, incluindo bactérias patogênicas e deteriorantes, que afetam as propriedades sensoriais, como cor, odor, sabor e textura, requerem potenciais redox negativos. O crescimento bacteriano geralmente leva a uma diminuição do potencial redox. Os microrganismos apresentam diferentes graus de sensibilidade ao potencial redox e podem ser agrupados de acordo com o potencial necessário para o seu crescimento. Os valores típicos de potencial redox favoráveis ao crescimento de diferentes microrganismos são os seguintes: aeróbios +350 a +500mV, anaeróbios -30 a -250mV, preferencialmente em torno de -150mV e anaeróbios facultativos (que podem crescer tanto em presença quanto em ausência de oxigênio, preferindo potenciais redox entre +100 a +350mV).

4.2 Análise de Vulnerabilidade hídrica e ambiental

Nos últimos anos, a pesquisa sobre vulnerabilidade hídrica e ambiental tem se intensificado, refletindo uma diversidade de métodos e enfoques, incluindo análises comparativas, estudos de caso em bacias específicas, técnicas de sensoriamento remoto e métodos quantitativos como o AHP.

Cristiane Spörl et al. (2004) conduziram uma análise comparativa ambiental utilizando três modelos distintos para avaliar a vulnerabilidade, sugerindo um estudo robusto que emprega múltiplas metodologias. Cristiane Spörl (2001) aprofundou a análise da fragilidade ambiental em bacias específicas como o Rio Jaguari-Mirim, o Ribeirão do

Quartel e o Ribeirão da Prata, também utilizando três modelos alternativos. Júnior Pinese et al. (2012) investigaram a fragilidade ambiental associada ao relevo e solo, aplicando métodos similares nas mesmas bacias estudadas por Spörl. Amaral, R. do et al. (2009) utilizaram o Método de Análise Hierárquica (AHP) para determinar a fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Piedade em Minas Gerais. Ross, Jurandyr Luciano Sanches (1994) estudou as unidades Ecodinâmicas na análise da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo em Teodoro Sampaio/SP. Crepani, Edison et al. (2001) aplicaram técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento no zoneamento ecológico-econômico e no ordenamento territorial.

O desrespeito ao uso e proteção dos recursos hídricos e dos ecossistemas que o suportam torna-se cada vez mais objetos de avaliação, gestão dos riscos e danos ambientais aplicado aos mananciais. A necessidade de estudos bem como a aplicabilidade de soluções na minimização dos impactos e associados a legislação tornam-se cada vez mais urgentes diante das diversas fontes e níveis de risco ambiental a água.

A lei 12.651/2012 que trata do Código Florestal, art.12 (BRASIL), estabelece que todo imóvel rural deve manter área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal, sem prejuízo da aplicação das normas sobre as Áreas de Preservação Permanente, e que esse percentual que corresponde a 20% de área do imóvel. As porcentagens das áreas de reserva legal estão definidas no artigo 12 do novo Código Florestal:

“I – Localizado na Amazônia Legal:

- a) 80% (oitenta por cento), no imóvel situado em área de florestas;
- b) 35% (trinta e cinco por cento), no imóvel situado em área de cerrado;
- c) 20% (vinte por cento), no imóvel situado em área de campos gerais;

II – Localizado nas demais regiões do País: 20%” (vinte por cento).

A utilização de modelos de análise ambiental, conforme abordado por Spörl et al. (2007), visa identificar e os diferentes níveis de sensibilidade dos ambientes. Esses estudos têm como objetivo proporcionar uma melhor definição das diretrizes e ações a serem adotadas no espaço, oferecendo orientações para a gestão do território.

Kawakubo et al. (2005) enfatiza que o mapeamento da fragilidade ambiental permite avaliar tanto as potencialidades das características naturais do meio ambiente quanto suas restrições, de maneira integrada. De acordo com Tucci et al. (2017), a vulnerabilidade hídrica é caracterizada por um evento crítico que leva as condições pré-existentes ao evento (seja relacionado à população ou ao ambiente). Essa vulnerabilidade também pode ser compreendida como a incapacidade de satisfazer a demanda hídrica ou de proteger a

população contra inundações, ou ainda como a probabilidade de que o evento crítico ocorra novamente.

Além disso, Rocha (2014), em seu estudo sobre a Análise de vulnerabilidade hídrica na bacia Hidrográfica de Pedras/Ituaçu, descreve que a vulnerabilidade reflete e pode resultar em perdas ou desastres diante de uma ameaça. Essa ameaça é variável ao longo do tempo e depende de fatores como localização geográfica, aspectos sociais, econômicos, infraestruturas e ambientais de cada região.

4.2.1 A importância e as ameaças à qualidade das águas

Meister (2017), com o contínuo crescimento da rede urbana e o aumento do desmatamento para a abertura de terras destinadas a atividades agrícolas, os corpos d'água são impactados de diversas maneiras. Entre esses impactos, destaca-se a descaracterização das nascentes devido às alterações no ambiente e ao uso inadequado do solo, o que resulta na perda de sua função ou até mesmo no seu desaparecimento.

Outro fator é que, o fornecimento não acompanha a demanda, Carvalho et al. (2011), a urbanização altera também o ciclo hidrológico. Essa modificação é reflexo do aumento do número de pessoas em um mesmo lugar, além disso pela quantidade de construções e da cobertura asfáltica, que tornam o solo impermeável. Há aumento do volume de águas residuárias, com a consequente deterioração dos rios a jusante das áreas urbanas, das águas de escoamento pluvial e a qualidade da água dos rios e represas urbanas, receptores de efluentes.

O crescimento demográfico causa impactos ambientais com os surgimentos de cidades e o aquecimento com coberturas e pavimentos, surgem as ilhas de calor. Gartland (2011), “áreas urbanas e suburbanas que possuem ilhas de calor, "oásis inverso", onde o ar e as temperaturas da superfície são mais quentes do que as áreas rurais circundantes”.

Ainda segundo Gartland (2011), em relação as ilhas de calor e repercussão, porque seus impactos negativos afetam muitas pessoas de várias maneiras. Ilhas de calor não causam apenas pequenos desconfortos adicionais, suas temperaturas mais elevadas, a falta de sombra e seu papel no aumento da poluição do ar têm sérios efeitos sobre a mortalidade e saúde da população. Elas desperdiçam dinheiro ao aumentar a demanda de energia, ao despender maiores esforços para construção e manutenção de infraestruturas, para gerenciar enchentes e para disposição de resíduos.

É cada vez mais frequente a preocupação quanto à disponibilidade de água, sobretudo em grandes centros urbanos, pois conforme estimativas da Agenda 2030 Organizações das Nações Unida (2019), deram um alarme dramático em seu relatório sobre a crise global da água. De acordo com um relatório a crise global da água está se agravando. A indústria, incluindo a geração de energia, e as residências são grandes consumidores de água, com 19% e 12% do consumo total, respectivamente. A previsão é que a demanda por água potável aumente significativamente até 2050. Se a degradação ambiental e as pressões insustentáveis continuarem, a escassez de água poderá afetar quase metade do PIB global e uma parte substancial dos recursos hídricos, colocando em risco a produção de grãos e a segurança alimentar.

De acordo com o relatório MapBiomas Água (2022), a superfície de água no Brasil variou significativamente ao longo dos anos. Em 2022, a extensão máxima da superfície de água foi de 18.863.244 hectares, a média foi de 17.951.881 hectares, e a mínima, registrada em 2016, foi de 16.940.936 hectares. O estudo evidencia que a disponibilidade de superfície de água no Brasil sofreu uma redução alarmante entre 1985 e 2022, embora tenha havido uma recuperação significativa em 2022 em relação a 2021. Em 2022, a superfície de água foi 3,53% maior do que em 1985 e houve uma recuperação de aproximadamente 10% em relação a 2021, quando a superfície de água foi a menor na série histórica. Isso indica uma preocupante tendência de perda dos recursos hídricos superficiais no país ao longo das últimas décadas, apesar das variações anuais. <https://plataforma.agua.mapbiomas.org>.

Tucci et al. (2017), considera que a segurança hídrica está relacionada com a escassez da água para diferentes usos, a qualidade da água e aos excessos das inundações. Dentro destes aspectos a segurança está relacionada com a gestão do risco da falta do recurso para atendimento das necessidades ou o excesso que poderá gerar graves impactos sociais e econômicos.

Na dissertação de Paula (2011), que aborda a Análise da água e das condições ambientais da Microbacia Hidrográfica Ribeirão das Pedras, destaca-se que esse ribeirão é a principal fonte de abastecimento de água para a área urbana. Desde a década de 70 do século XX, ele tem sido afetado por alterações em seu habitat natural devido à atividade pecuária e agrícola, e atualmente pela introdução de plantações de cana-de-açúcar, o que possivelmente tem impactado na qualidade da água.

As consequências negativas do crescimento urbano desordenado e sem planejamento adequado, conforme mencionado por Lima (2013) e Botelho (2020). Lima destaca que nas cidades, uma variedade de resíduos é devolvida à natureza, incluindo dejetos domésticos e

industriais, resultando na poluição do ar, água e solo, e na marginalização da vegetação e áreas verdes na paisagem urbana. Corroborando, Botelho ressalta que o crescimento caótico das cidades tem levado à degradação e poluição das áreas dos aquíferos, tornando muitas regiões impróprias para o consumo humano. Esses problemas são decorrentes da falta de planejamento adequado e do desordenamento urbano.

Paralelamente a esse avanço da destruição, como abordado por Durigan et al. (2011) há um crescente reconhecimento global sobre a importância da conservação dos recursos naturais. Ribeiro (2008), em seu trabalho "Geografia Política das Águas", destaca a necessidade de uma governança mais equitativa, que considere a recuperação, qualidade e quantidade da água. A crise resultante do uso desordenado está aumentando a pressão sobre o planejamento e a gestão eficaz da água, levando a uma maior vulnerabilidade e degradação das áreas próximas às Microbacias Hidrográficas ao longo da história da exploração humana.

O Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), fruto da colaboração do Ministério Desenvolvimento Regional (MDR) e Agência Nacional de Águas (ANA) foi publicado em abril de 2019 e identificou que a Segurança Hídrica é fundamental para um desenvolvimento sustentável e ela existe quando há água disponível em quantidade e qualidade suficientes para atender às necessidades humanas e econômicas, e à conservação dos ecossistemas aquáticos, com um nível aceitável de risco relacionado a secas e cheias.

Neste sentido, destaca-se a importância do planejamento e gerenciamento dos recursos naturais, reconhecendo que, apesar das limitações desses processos, eles são essenciais. A natureza é descrita como dinâmica e em constante mudança, o que torna o planejamento ainda mais crucial. No entanto, para que esses esforços sejam eficazes e garantam resultados positivos, é necessária a participação ativa tanto da população quanto dos órgãos governamentais.

4.3 Geotecnologias

A definição de geotecnologias, também conhecidas como "geoprocessamento", para Rosa (2005), englobam um conjunto de tecnologias dedicadas à coleta, processamento, análise e disponibilização de informações com referência geográfica. Elas consistem em soluções que integram hardware, software e pericia humana, formando ferramentas para a tomada de decisões. Entre as principais geotecnologias, destacam-se os sistemas de informação geográfica, a cartografia digital, o sensoriamento remoto, o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e a topografia.

Câmara et al. (2004) descreve o Geoprocessamento como a disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. A partir dos dados de cada componente da paisagem, são gerados os planos de informação. A Integração com Sistema de Informação Geográfica (SIG), possibilita os números de variáveis, geram informações intermediárias e finais que permitem a inclusão de novas variáveis.

4.3.1 Sensoriamento remoto

Com base nas definições de Meneses et al. (2012) e Mendonça et al. (2013), conclui-se que o Sensoriamento Remoto é uma disciplina científica e uma tecnologia essenciais para obter informações sobre a superfície terrestre. Meneses destaca o papel do Sensoriamento Remoto no desenvolvimento de técnicas para capturar imagens, detectando e medindo as interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. Já Mendonça ressalta sua capacidade de analisar propriedades de objetos sem a necessidade de contato direto, utilizando sensores orbitais que registram a radiação eletromagnética refletida ou emitida. Isso permite a geração de imagens de áreas específicas da Terra a partir de grandes distâncias. Essas definições evidenciam a importância do Sensoriamento Remoto como uma ferramenta fundamental para diversas aplicações, incluindo monitoramento ambiental, agricultura, planejamento urbano, entre outros.

4.3.2 Sistema de Informação Geográfica

Para Mirandola (2004), os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são softwares projetados para integrar uma variedade de dados temáticos de uma determinada área de estudo, com o objetivo de melhorar os processos decisórios relacionados ao espaço, fornecendo informações atualizadas e confiáveis.

Segundo Câmara et al. (2004), o foco da análise espacial está na medição de propriedades e relações com consideração explícita da localização espacial do fenômeno em estudo. A ideia é incluir espaço na análise que se deseja realizar.

Os autores consideram as seguintes taxonomias para os tipos de análise espacial:

- Eventos ou padrões Pontuais - Pontos localizados no espaço (processos pontuais). Exemplos: localização de crimes, ocorrências de doenças, e localização de espécies vegetais.

- Superfícies Contínuas - Através de um conjunto de amostras de campo. São exemplos de trabalhos de levantamento de recursos naturais, que incluem mapa geológicos, topográficos, ecológico, fitogeográfico e pedológicos.
- Áreas com contagens e Taxas Agregadas - Dados associados a levantamentos populacionais. São exemplos: censos e estatísticas de saúde.

Os autores concluem que os desafios da análise espacial estão relacionados ao tratamento de dados ambientais e socioeconômicos. Eles destacam que esse tipo de modelagem envolve uma fase exploratória, que inclui a visualização dos dados por meio de gráficos e mapas, com o objetivo de identificar padrões de dependência espacial na área de estudo.

4.4 Análise hierárquica multivariada

A tomada de decisão é crucial para encontrar a melhor solução, devendo buscar o melhor desempenho e as melhores alternativas ao avaliar a definição dos critérios. As decisões tomadas terão consequências que impactarão diretamente no sucesso da análise. Rivas et al. (2016) enfatizam que a gestão de riscos é um processo decisório complexo que requer a identificação e a tomada de decisões sobre como lidar com os riscos identificados. Destacam também a dificuldade em priorizar os riscos a serem abordados, especialmente devido a limitações orçamentárias. Por outro lado, Angeloni (2003) destaca o papel crucial da informação e do conhecimento na comunicação e na tomada de decisão nas organizações, observando que os significados desses conceitos são complexos de discernir.

As perspectivas dos autores destacam a inter-relação entre gestão de riscos, informação e tomada de decisão, ressaltando os desafios envolvidos nesses processos e a necessidade de uma abordagem cuidadosa e estratégica para lidar com eles. Rivas et al. (2016) enfatizam a análise multicritério como uma ferramenta crucial que identifica decisões e avalia os riscos que têm maior impacto na organização, facilitando a análise e discussão dos resultados.

Guimarães et al (2004) salienta que a tomada de decisão é caracterizada por um processo sistematizado de gestão, que inclui a coleta de dados, estudos para produção de informações, proposição de soluções, implementação da decisão e análise dos resultados. Por outro lado, Tedesco et al. (2021) destacam a importância dos critérios para orientar o decisor, permitindo a comparação entre as alternativas e representando o objeto de decisão.

A definição dos critérios de avaliação é considerada crucial para estabelecer a preferência de uma alternativa sobre outra.

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) como uma ferramenta importante para os tomadores de decisão, conforme destacado por Raspini et al. (2017). O AHP é um modelo de abordagem que auxilia na busca da melhor alternativa para um problema específico, utilizando o julgamento e a experiência do tomador de decisão. Além disso, é mencionado que a ponderação de critérios é um procedimento importante, no qual são atribuídos pesos a cada fator relevante. Essa ponderação visa orientar o tomador de decisão ao considerar a importância relativa de cada critério na avaliação das alternativas disponíveis.

Meng (2011) empregou a análise de decisão multicritério para mapear padrões de acessibilidade em áreas de desenvolvimento habitacional em Canmore, Alberta, Canadá. Os métodos de decisão multicritério, como o Processo de Hierarquia Analítica e a Média Ponderada Ordenada, foram aplicados em um ambiente SIG. Além disso, a incorporação do conceito de quantificador linguístico foi utilizada para determinar os pesos dos critérios. O objetivo dessa abordagem foi facilitar o processo de tomada de decisão pelas autoridades, permitindo a avaliação e a priorização dos locais potenciais de desenvolvimento habitacional com base nos níveis de acessibilidade.

Silva et al. (2009), o modelo hierárquico de Saaty (1980) é um método de decisão que utiliza a lógica de comparação par a par. Nele, diferentes fatores que influenciam uma decisão são organizados em uma hierarquia e comparados entre si. Um valor de importância relativa, ou peso, é então atribuído a cada relação entre esses fatores. Isso é feito utilizando uma escala pré-definida que expressa a intensidade com que um fator é considerado mais importante que outro na tomada de decisão.

Pinese Júnior et al. (2012), no método AHP, o processo começa com a identificação de um problema de decisão, que é então decomposto em uma hierarquia de subproblemas menores e mais simples. Cada subproblema pode ser analisado independentemente, sem perder de vista o problema de decisão geral. Os critérios são ponderados de acordo com sua relevância relativa. As alternativas são avaliadas com base nessa relevância relativa, através de comparações de pares, utilizando a escala de Saaty, na qual são atribuídos valores numéricos tanto quantitativos quanto qualitativos aos julgamentos. Tabela 3.

Tabela 3: Escala fundamental de Saaty para comparação pareada – AHP.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Fraca importância	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Forte importância	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Muito forte importância	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Para a construção de um mapa de vulnerabilidade ambiental por exemplo, pode utilizar, como exemplo 4 critérios com seus respectivos Fatores Ponderantes. Estes fatores ponderantes devem ser classificados com o Peso Arbitrário do executor e, após serem processados, obtém-se o Peso Processado pelo método AHP de cada fator ponderante conforme exemplo da Figura 2.

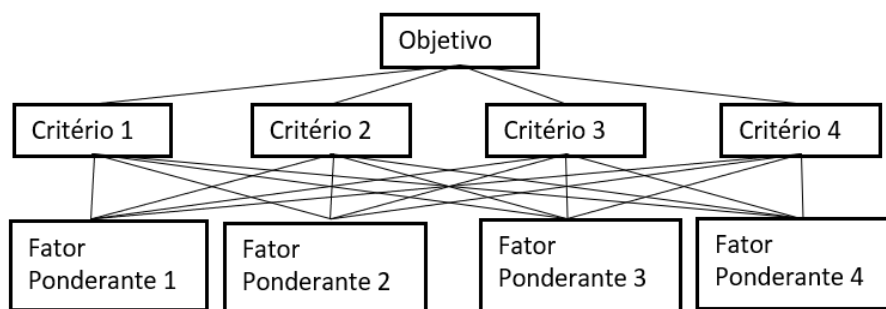


Figura 2 Modelo Simples da árvore Hierárquica.

Fonte: Saaty (1990), adaptado pelo autor.

Para elaborar o Mapa de Vulnerabilidade Ambiental, são utilizados 4 Critérios (C) com seus respectivos Fatores Ponderados (F). Esses fatores ponderados devem ser avaliados com o Peso Arbitrário determinado pelo executor (W) e, após o processamento, são obtidos os Pesos Processados de cada fator ponderado por meio do método AHP (P), conforme indicado na Tabela 4.

Tabela 4: Demonstração da quantidade de fatores ponderantes por critérios utilizados.

Objetivo	Critério	Fator Ponderante
Vulnerabilidade hídrica	Ocupação do solo	$C_1 \quad F_{11} \quad F_{12} \quad F_{13} \quad F_{14} \quad F_{15}$
	Tipo de solo	$C_2 \quad F_{21} \quad F_{22} \quad F_{23} \quad F_{24}$
	Declividade	$C_3 \quad F_{31} \quad F_{32} \quad F_{33} \quad F_{34}$
	Moradias	$C_4 \quad F_{41} \quad F_{42} \quad F_{43} \quad F_{44}$

Fonte: Saaty (1990), adaptado pelo autor.

Após a obtenção dos fatores ponderantes, cria-se a matriz recíproca para obtenção da fórmula, conforme exemplo a seguir, Fórmula 1.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} \\ 1/a_{12} & a_{22} & \dots & a_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{ij} & 1/a_{2j} & \dots & a_{ij} \end{bmatrix}$$

Fórmula 1

Fonte: Saaty (1990).

Matriz Recíproca positiva com os fatores ponderantes dos pesos as variáveis de entrada.

A matriz acima obedece à seguinte regra: $a_{ji} = 1/a_{ij}$, onde a_{ij} são valores reais positivos, i é o índice que representa a linha e j a coluna. A regra é denominada como recíproca positiva, onde a diagonal da matriz é toda unitária, sendo para cada atributo comparado a ele próprio é igual à unidade. Fornecidos os pesos W pelo julgador é construída a matriz abaixo (Fórmula 2).

	F1	F2	F3	F4
F1	$\frac{w1}{w1}$	$\frac{w1}{w2}$	...	$\frac{w1}{w4}$
F2	$\frac{1w2}{w1}$	$\frac{w2}{w2}$	...	$\frac{w2}{w4}$
F3	...	...	...	...
F4	$\frac{1}{wm/w1}$	$\frac{1}{wm/w2}$	...	$\frac{1}{wm/w4}$

Fórmula 2

Fonte: Saaty (1990), adaptado pelo autor.

Onde:

W_m = Peso referente à linha;

W_n = Peso referente à coluna

Seguindo a metodologia de Saaty (1990), os valores de a_{ij} são obtidos pela divisão de W_m/W_n pela soma da coluna em questão (conforme a Fórmula 3):

$$A_w = \begin{array}{cccc} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{1}{w_2/w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{w_m/w_1} & \frac{1}{w_m/w_2} & \dots & \frac{w_m}{w_n} \\ \hline \Sigma \frac{w_m}{w_1} & \Sigma \frac{w_m}{w_2} & & \Sigma \frac{w_m}{w_n} \end{array}$$

$$a_{11} = \frac{w_1/w_1}{\Sigma w_m/w_1}; a_{12} = \frac{w_1/w_2}{\Sigma w_m/w_2} \dots a_{1n} = \frac{w_1/w_n}{\Sigma w_m/w_n}$$

Fórmula 3:

Com base nos resultados, procede-se à normalização desses valores, dividindo a soma de cada linha da matriz encontrada (A_w) pela ordem da matriz n . Assim, calcula-se o valor do Peso Processado P para cada ator ponderante (conforme a Fórmula 4). A soma desses resultados deve ser igual a 1,0.

$$\Sigma a_{1n}/n = P_1$$

$$\Sigma a_{2n}/n = P_2$$

...

$$\Sigma a_{nn}/n = P_n$$

Fórmula 4

Somatória das linhas da matriz para obtenção do Peso Processado – P . O cálculo do $\lambda_{\max}$ indica o valor máximo do autovalor λ , e é obtido por (Fórmula 5)

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]}{w_i}$$

Fórmula 5

Onde:

"[Aw]" representa a matriz resultante do produto das comparações em pares pela matriz dos pesos a serem processados (w_i). Uma estimativa precisa dos coeficientes da matriz resulta em um λ_{max} mais próximo de n . A inconsistência dessa medida é avaliada pelo Índice de Consistência (IC), calculado pela (Fórmula 6):

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - 1)}{(n - 1)} \quad \text{Fórmula 6}$$

Onde:

IC = Cálculo do índice de Consistência

Depois de calcular os pesos de cada fator, é crucial avaliar sua aceitabilidade através da Razão de Consistência (RC), conforme estabelecido por Saaty (1980), que deve ser inferior a 0,10, ou seja, o resultado dessa razão deve ser menor que 10%. A Razão de Consistência (RC) é calculada utilizando a Fórmula 7.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{Fórmula 7}$$

Onde:

RC = Cálculo da razão de Consistência -.

O Índice Randômico (IR) é obtido a partir de uma amostra de 500 matrizes recíprocas geradas aleatoriamente. Utilizando uma escala de 9 pontos, o IR é determinado a partir da tabela de valores para matrizes quadradas de ordem n , conforme definido pelo *Oak Ridge National Laboratory*, EUA, seguindo as orientações de Saaty (1980) (conforme mostrado na Tabela 5).

Tabela 5: Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n .

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Dentro deste cenário, a análise da vulnerabilidade ambiental da Microbacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras, no município de Quirinópolis – Go, foi conduzida de acordo com o modelo de árvore de hierarquização apresentado a seguir (Figura 3).

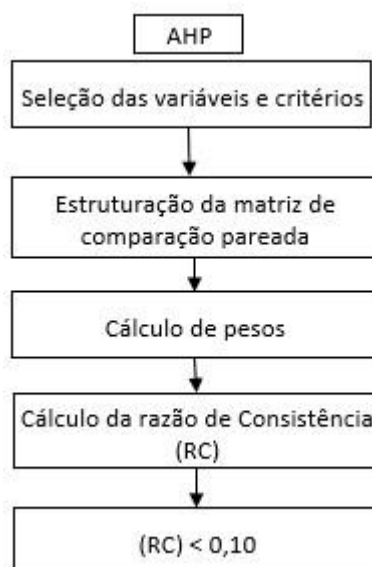


Figura 3: Etapas desenvolvidas no processo de hierarquia analítica AHP

Fonte: Os autores

5.0 REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. M. N. de.; & Junior, W. C. V. Mapeamento de unidades geoambientais do município de Cametá (Pará, Brasil). **Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible**. v. 1988, p. 5245, 2015.

ANGELONI, M. T. Elementos intervenientes na tomada de decisão. **Ciência da Informação [online]**. v. 32, n. 1, pp. 17-22, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-19652003000100002>>. Epub 01 Out 2003. ISSN 1518-8353. <<https://doi.org/10.1590/S0100-19652003000100002>>. Acesso em: 18 outubro 2022.

AQUINO, A. R.de; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. de. Vulnerabilidade ambiental. **Editora Edgard Blücher**, 2017.

BOTELHO, A. E. Emprego de geoprocessamento para identificação de mananciais com disponibilidade hídrica estudo de caso: abastecimento urbano da cidade de Itabira-MG. 2020. 110 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação

de Recursos Hídricos – PROFÁGUA), **Instituto de Ciências Puras e Aplicadas**, Universidade Federal de Itajubá, Campus de Itabira, Minas Gerais, 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (Brasil) **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil**: 2012.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (2005).

Resolução nº 357 - 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 12 de março 2023.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 12 de março 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria MS n.º 518/2004 / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental – Brasília: **Editora do Ministério da Saúde**, p.28, 2005. (Série E. Legislação em Saúde). CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M., DRUCK, S.; CARVALHO, M.S. “Análise Espacial e Geoprocessamento.” In: Análise Espacial de Dados Geográficos. **Editores Técnicos Suzana Druck - ... [et al.]**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2004.

CARVALHO, A.R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**, v. 23, p. 618-622, 2000.

FILIZOLA, H. F. Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2006.

GARTLAND, L. Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. **Oficina de textos**, 2011.

GUIMARÃES, E. M.P.; ÉVORA, Y. D. M. Sistema de informação: instrumento para tomada de decisão no exercício da gerência. **Ciência da Informação [online]**. v. 33, n. 1, p. 72-80, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-19652004000100009>>. Acesso em: 16 de novembro 2022. ISSN 1518-8353.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2022. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 de novembro de 2023.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Imagem de satélite LANDSAT 8 e SRTM. Disponível em: <<http://www.inpe.br/>>. Acesso em: 16 novembro de 2022.

JARDIM WF. Medição e interpretação de valores do potencial redox (E H) em matrizes ambientais. **Quím Nova [Internet]**. 37(7):1233, 2014 –5. Disponível em: <<https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140207>> Acesso em: 16 de novembro 2022.

JÚNIOR, J. F. P., & RODRIGUES, S. C. (2012). O método de análise hierárquica–AHP– como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia Hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia**, n 23, 4-26.

KOWATA, E. A.; RIBEIRO, J. T.; TELLES, D. D. Estudo da influência da turbidez e cor declinantes sobre a coagulação de água de abastecimento no mecanismo de adsorção neutralização de cargas. **2º Simpósio de Iniciação Científica e Tecnologia e IX Expo-Edif**, São Paulo, 2000.

LELIS, L. R. M., PINTO, A. L., SILVA, P. V. da., PIROLI, E. L., MEDEIROS, R. B., & GOMES, W. M. Qualidade das águas superficiais da bacia Hidrográfica do rio Formoso, Bonito-MS. **Formação (Online)**, 2(22). 2015.

LIMA, V. Saneamento ambiental como indicador de análise da qualidade ambiental urbana. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 2, n. 35, p. 65-84, 2013. ISSN: 2176-5774

MEDEIROS, L. C.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, n. 2, p. 137-151, 2009.

MEDEIROS FILHO, C. F. de. Abastecimento de água. **Universidade Federal de Campina Grande–UFCG**. Campina Grande, PB, 2009.

MEISTER, S. G. A degradação de nascentes e a Crise Hídrica do Cerrado. Brasília: **Uniceub**, 2017.

MENDONÇA, J. C. et al. Coeficiente de cultivo (KC) da cana-de-açúcar em Região Subúmida do Brasil, pela aplicação do algoritmo SEBAL e produtos MODIS. In: SILVA, B. B. Aplicações Ambientais Brasileiras com Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Campina Grande: **EDUFCG**, p.217, 2013.

MAROTTA, H.; SANTOS R. dos.; ENRICH-PRAST, A. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais. **Ambient soc [Internet]**. 2008Jan;11(1):67–79. Available from: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2008000100006>.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Universidade de Brasília**, Brasília, 2012.

MENG, Y. et al. A GIS-based multicriteria decision analysis approach for mapping accessibility patterns of housing development sites: a case study in Canmore, Alberta. **Journal of Geographic Information System**, v. 3, n. 01, p. 50, 2011.

MIRANDOLA, P. H. A trajetória da tecnologia de sistemas de informação geográfica (SIG) na pesquisa geográfica. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Seção Três Lagoas, p. 21-37, 2004.

PARRON, L. M.; MUNIZ, H. F.; PEREIRA, C. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. **Infoteca Cnptia Embrapa**, 2011. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/doc219.pdf>> Acesso em: 16 de novembro 2022.

PAULA, M. M. de et al. Análise da água e das condições ambientais da bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras, Quirinópolis/GO. 2011.
<http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/350>

PERCEBON, C. M.; BITTENCOURT, A. V.L; DA ROSA FILHO, E.F. Diagnóstico da temperatura das águas dos principais rios de Blumenau, SC. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 56, 2005.

QUEIROZ, M. M. F. et al. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia Hidrográfica rural. **Revista Verde de Agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 5, n. 4, p. 32 de 2010.

RASPINI, J. P. et al. Proposta de metodologia de estudo da vulnerabilidade ambiental aos desastres naturais-caso rodovia BR-280, Florianópolis, SC, 2017.
<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/176162>.

RIBEIRO, W.C. Geografia política da água. **Annablume Editora**, 2008.

RIVAS, R.E. G. Uso do método multicritério para tomada de decisão operacional tendo em conta riscos operacionais, à segurança, ambientais e à qualidade. Salvador: **UFBA**, 2016.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do departamento de geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. 1993. **Revista do Departamento de Geografia (on-line)**. Disponível em< <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327>>. Acesso em 23 de novembro 2022.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation. New York: **Mcgraw-hill**, 287. P, 1980.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, p. 9-26, 1990.

SANTOS, R. M. dos et al. Análise da Fragilidade ambiental no município de Tamboara – PR: aplicação e estudo comparativo de duas metodologias. **Geoambiente on-line-line**, n. 14, p. 01-28, 2010.

SILVA, C. H. e C. da. Identificação de fragilidades ambientais na Bacia do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa-MG utilizando análise multicritério. 2010.

SILVA, A. E. P. et al. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta amazônica**, v. 38, p. 733-742, 2008.

SPÖRL, C., & Ross, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP-Espaço e Tempo**, 15, p.39-49, 2004.

TEDESCO, A. M.; OLIVEIRA, G. A.; TROJAN, F. Avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por meio dos métodos AHP e TOPSIS. **Engenharia Sanitária e Ambiental [online]**. v. 26, n. 3, p. 401-407, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-415220190322>>. Acesso em 23 de novembro 2022. ISSN 1809-4457.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. **Introdução ao QGIS: OSGeo4W-3.22**. 7. Oficina de Textos, 2022.

TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, **SUPREN**, p.91. ii, 1977.

TUCCI, C.; CHAGAS, M. de F. Segurança hídrica: conceitos e estratégia para Minas Gerais. **REGA**, Porto Alegre, v. 14, n. e12, p. 1-16, 2017.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos avançados**, v. 22, p. 7-16, 2008.

TUNDISI, J.G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, n. 70, p. 24-35, 2006.

VALERIANO, Márcio. M. Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. **Inpe**, v. 73, 2008.

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no Ribeirão Lavapés/Botucatu-SP. **Eclética Química**, v. 22, p. 49-66, 1997.

VERGARA, Sylvia Constant. Sobre a intuição na tomada de decisão. **bibliotecadigital.fgv.br**, 1993.

VIEIRA, A. D. Influência da variação do potencial redox e relação com a estabilidade dos sistemas de conservação em dispersões aquosas. **Universidade Nova de Lisboa**, 2015. disponível < <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467553604007>>. Acesso: 11 de fevereiro de 2024.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. **Editora UFMG**, 1996.

Capítulo 1 - GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA AVALIAÇÃO DA COBERTURA E CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA MICROBACIA DO RIBEIRÃO DAS PEDRAS*

Pedro Rogerio Giongo¹, Marcio Sebastião de Oliveira²

¹Docente do Instituto Acadêmico de Ciências Agrárias e Sustentabilidade da Universidade Estadual de Goiás, e do PPG Ambiente e Sociedade, Quirinópolis, GO;

² Engenheiro Agrônomo, mestrando no PPG Ambiente e Sociedade da Universidade Estadual de Goiás, Quirinópolis, GO.

autor para correspondência: pedro.giongo@ueg.br

* Submetido para publicação como capítulo de livro

RESUMO

As características morfométricas de uma bacia Hidrográfica são medidas e propriedades físicas que descrevem sua forma e estrutura. Elas são essenciais para entender como a bacia se comporta hidrológicamente e como responde a influências naturais e humanas. Neste sentido, este estudo tem por objetivo realizar a caracterização morfométrica da microbacia Ribeirão das Pedras, localizada no município de Quirinópolis – GO, e obter os dados de uso e cobertura do solo, classes de solo, além da hipsometria e declividade da área. Por meio de dados geoespaciais e técnicas de geoprocessamento, foram obtidas os parâmetros geométrico, de relevo da paisagem, Altitude mínima, Altitude máxima, Altitude Intervalo, e parâmetros relativos a delimitação da bacia, como: Perímetro (P); Área (A); Rede de drenagem Eixo Principal do Rio; Rio Principal; Número total de canais; Total de canais de drenagem; Coeficiente de compacidade ou índice de Gravélius (Kc); Fator de forma (Kf); Índice de circularidade (Ic); Razão de alongação (Re); Densidade de drenagem (Dd); Razão de relevo (Rr); Índice de rugosidade (Ir); Densidade Hidrográfica (Dh); Extensão média do escoamento superficial (Lm); Índice de sinuosidade (Is) e Razão de textura (T), e mapa das alterações do uso e cobertura do solo. Os índices morfométricos foram derivados de modelos digitais de terreno (30m de resolução) usando ambiente de Sistema de Informações Geográficas SIG, com o *software* QGIS 3.22. Como resultado obtido verificou-se que a Microbacia Ribeirão das Pedras, apresenta drenagem de 261,6964km², e o perímetro de 88,9259Km, caracterizada como bacia de drenagem regular, por apresentar formato alongado. Os índices encontrados indicam que as características topográficas e hídricas do

Ribeirão das Pedras apresentam baixa probabilidade de alagamentos em condições de chuvas anuais dentro dos níveis habituais. Os usos do solo com destaque são as pastagens com 42,83%, formação savânica e florestal com 13%, e outros 32% com lavouras temporárias (cana e soja preferencialmente) junto com mosaicos de agricultura e pastagem. Destaca que a classe de solo Latossolo vermelho distrófico representa 79,31% da bacia, e que as classes de declive entre 0 a 8% representam mais de 68% da área da bacia.

Palavras-chave: Recursos hídricos drenagem, vazão, declividade, vulnerabilidade.

1 INTRODUÇÃO

As características físicas e biológicas de uma bacia, segundo Tonello (2005), desempenham um papel crucial nos processos do ciclo hidrológico, influenciando a infiltração, a qualidade da água, a evapotranspiração e os fluxos de água na superfície e subsuperfície. No entanto, esses processos podem ser afetados por atividades humanas, que interferem nos processos naturais do ciclo hidrológico e os quais podem ser avaliados em diversas aplicações como a susceptibilidade erosiva do solo que foi avaliada por Assis et al. (2017), Silva et al (2019a).

A fragilidade ambiental e hídrica apresenta desafios nas análises e abordagens, com possíveis interações entre fatores como crescimento urbano e desenvolvimento rural, resultando em situações de vulnerabilidade ambiental. Costa (2015) sugere que a caracterização morfométrica e a avaliação da vulnerabilidade ambiental podem servir como indicadores da qualidade do uso do solo, auxiliando na gestão dos recursos hídricos e no manejo das atividades humanas nas vertentes. Isso contribui para reduzir o impacto das diversas características presentes na área de abrangência da bacia Hidrográfica, destacando o uso de Sistemas de Informações Geográficas – SIG, na aplicação ambiental como nos trabalhos de Giongo et al (2022); Silva et al. (2019b); Silva et al. (2019a).

Tanto pesquisadores quanto gestores têm buscado compreender e utilizar instrumentos práticos para minimizar ou prevenir impactos, integrando ações com o meio ambiente natural. Assim, compreender as características morfométricas de uma bacia é essencial para compreender seu comportamento físico e geológico, oferecendo diagnósticos sobre situações de conflito e orientando o uso e a ocupação do solo na região, assim como a avaliação temporal de usos e ocupação do solo, bem como de características hídricas em uma bacia, descritas por Silva et al. (2023).

Menezes et al. (2014), avaliaram a influência de atributos morfométricos e da mudança do uso do solo na microbacia urbana no município de Lavras, MG. Para o estudo, os autores utilizaram a análise morfométrica e a permanência das classes do uso do solo no período de 2003 a 2013, relacionando-as com alterações da vazão máxima em seu exutório. Neste contexto, observou-se que na microbacia há predominância de declive ondulado, caracterizando o relevo e drenagem deficientes. Porqueras (1985) agrupou as variáveis morfométricas em quatro grupos ou tópicos, levando em consideração a característica que quantifica, ou seja: tamanho, simetria, alongamentos e forma do contorno. Dessa forma identifica que características do relevo e da cobertura do solo, fazem-se indispensáveis para avaliar e caracterizar uma bacia hidrográfica, assim como nos trabalhos de Silva et al. (2023); Peixoto et al. (2022); Giongo et al. (2022);

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar os parâmetros morfométricos da Microbacia Ribeirão das Pedras no município de Quirinópolis - GO, por meio de parâmetros morfométricos, características geométricas, do relevo e de drenagem, e dos usos e cobertura do solo, com base em técnicas de geoprocessamento.

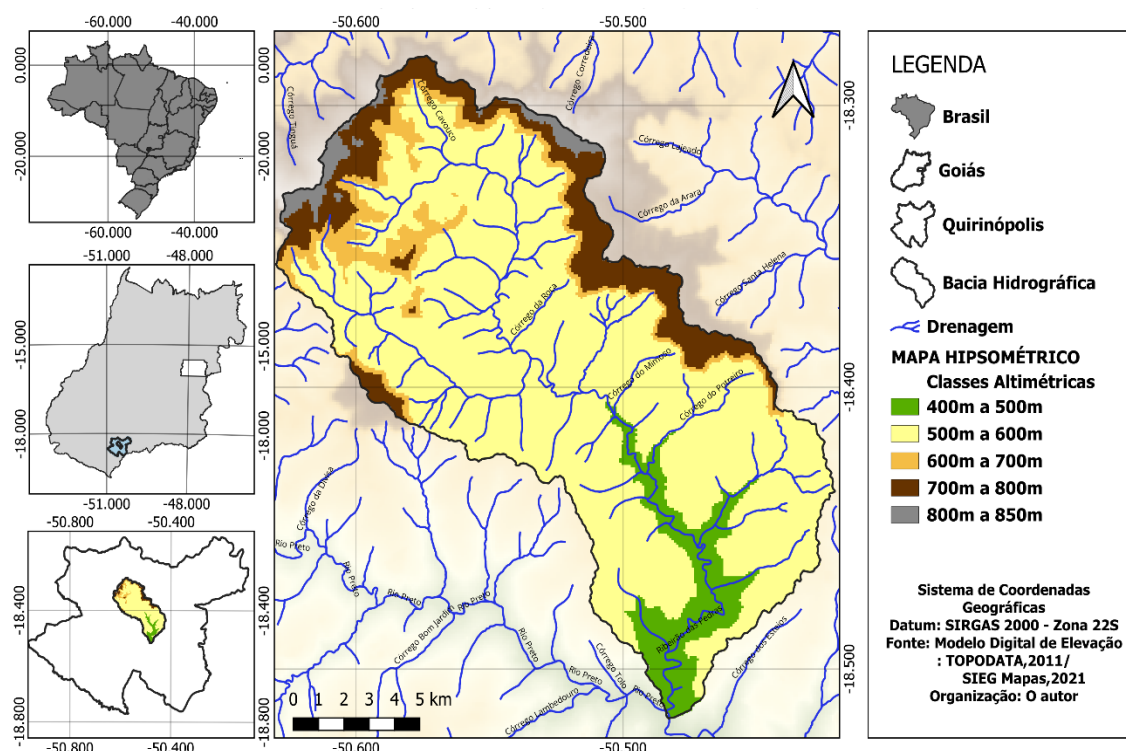
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área da microbacia Ribeirão das Pedras está localizada na parte central do município de Quirinópolis. O mesmo faz parte do planalto norte da bacia do Paraná, especificamente no planalto inferior, e sua geomorfologia é caracterizada por superfícies onduladas tabulares e lisas. O planalto Norte da bacia do Paraná é caracterizado pela topografia relacionada ao passado tectônico, bem como pela erodibilidade das camadas sedimentares.

A Microbacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras, segundo Rodrigues (2014), com a ocupação do município de Quirinópolis em 1950, era constituída por espécies nativas do cerrado, formações florestais e áreas de pastagens. Com a intensificação da agricultura houve a ocupação desordenada surgindo desmatamento. As áreas de preservação permanente, de elevada declividade e de várzeas com a eliminação da vegetação e perda de solos agricultáveis, ocasionam a erosão nas vertentes dos leitos fluviais, o que reduz a disponibilidade de água e o abastecimento público.

Figura 1 – Localização geográfica da Microbacia do Ribeirão das Pedras - Município de Quirinópolis – GO.



A Figura 1 é representada pela localização da área de estudo, que compreende a Microbacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras. A base cartográfica utilizada neste trabalho foi a carta topográfica municipal, obtido do Sistema Estadual de Geoinformação do Estado de Goiás (SIEG, 2023), em forma de arquivos shapefile (*Shp*). O Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 30 metros obtido através do TOPODATA, para determinar as classes de declividade. Segundo Valeriano (2008), os dados do TOPODATA são gerados por meio de processamentos digitais do Modelo Digital de Elevação (MDE) da Missão de Topografia de Radar de Ônibus Espacial (SRTM). Esses dados passaram por correções, incluindo preenchimento de informações em pontos ou áreas anteriormente sem dados. Um processo computacional refinou o tamanho da célula (pixel) para aproximadamente 30 metros. Esse refinamento foi realizado por meio da interpolação de todo o conjunto de dados usando o método de *krigagem*, uma técnica baseada na análise geoestatística da variabilidade dos dados. Esse método define coeficientes que melhor se ajustam ao modelo de superfície real. Além dos dados de entrada, o processo requer informações geoestatística (coeficientes) para controlar a distribuição dos pesos utilizados no cálculo dos valores interpolados.

Para que se confeccionasse o MDE da Microbacia Ribeirão das Pedras, foi utilizado a TOPODATA de índices 18S51-SN, para o município de Quirinópolis – GO. Os processamentos para a elaboração dos mapas foram realizados no ambiente SIG, com o *software* QGIS 3.22 e GRASS.

2.2 Características Morfométricas

Na obtenção dos planos de informação da rede de drenagem e cálculos dos parâmetros morfométricos, foram utilizados a tabela de atributos da camada da Microbacia Hidrográfica (Ribeirão das Pedras) e considerado os seguintes campos com seus respectivos valores e símbolos nas fórmulas, as quais foram utilizadas para obtenção dos parâmetros morfométricos encontradas em Antoneli e Thomaz (2007), Christofolletti (1980), Villela e Mattos (1975), Tonello (2005) e Cardoso (2006) e estão apresentadas a seguir.

2.3 Perímetro da bacia(P) e Área de drenagem (A)

Para a obtenção dos limites da bacia e extração da rede de drenagem foi utilizada a ferramenta *r. watershed* e para a delimitação da bacia com a coordenada do exutório a ferramenta *r. water outlet*, ambos no *software* GRASS GIS, tendo como entrada o Modelo Digital de Elevação (MDE). Em seguida procedeu-se, com a conversão do raster (MDE) resultante para vetor, por meio da ferramenta *r.to. vect* e calculados os índices morfométricos da área de estudo.

2.4 Diferença Altimétrica

De posse dos dados na tabela de atributos de altitude (MDE), foi gerado automaticamente, através de estatísticas zonais, os parâmetros de cálculos para altitude média (m), altitude máxima (m), altitude mínima (m) e intervalo da camada (m).

2.5 Parâmetros morfométricos

Com base nos resultados derivados das informações das cartas topográficas, foram identificadas diversas características físicas da microbacia Hidrográfica em análise, incluindo: Parâmetros geométrico, de relevo da paisagem, Altitude mínima, Altitude máxima, Altitude intervalo, e Parâmetros relativos a delimitação da bacia, como: Perímetro (P); Área (A); Rede de drenagem Eixo Principal do Rio; Rio Principal; Número total de canais; Total de canais de drenagem; Coeficiente de compacidade ou índice de Gravélius (Kc); Fator de forma (Kf); Índice de circularidade (Ic); Razão de alongação (Re); Densidade de drenagem (Dd); Razão de relevo (Rr); Índice de rugosidade (Ir); Densidade Hidrográfica (Dh); Extensão média do escoamento superficial (Lm); Índice de sinuosidade (Is) e Razão de textura (T), e mapa das alterações do uso e cobertura do solo.

Para calcular os parâmetros morfométricos foi utilizada a tabela de atributos do QGIS 3.22, da camada da Microbacia Ribeirão das Pedras, e considerados os seguintes campos e símbolos e fórmulas, gerando a tabela de atributos os campos: Tabela 1.

Tabela 01: Descrição das variáveis e símbolos de atributos obtidos por meio do software QGIS 3.22 para o estudo.

Variáveis	Símbolos	Nome do campo
Área (Km ²)	A	<i>Area_Km²</i>
Perímetro (P)	P	<i>Perim_km</i>
Diferença altimétrica (m)	ΔH	<i>Alt_range</i>
Comprimento do eixo axial (Km)	L'	<i>L1-eixo_Km</i>
Comprimento do canal principal (Km)	L	<i>l-cp_Km</i>
Comprimento total de drenagem (Km)	L _{tot}	<i>Ltot_Km</i>
Número de segmentos de rios	<u>Nt</u>	<u>NT</u>

2.6 Densidade de Drenagem

De acordo com Christofletti (1980), o sistema de drenagem consiste no comprimento total dos cursos d'água dentro de uma bacia e sua área. A análise da densidade oferece informações sobre a velocidade de escoamento da água na bacia Hidrográfica. O cálculo da densidade foi realizado utilizando a seguinte equação (1):

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

Dd = densidade de drenagem (km km⁻²),

L_t = comprimento total dos cursos d'água (km) e
 A = área de drenagem (km²).

No *software* QGIS, foi utilizada a calculadora de campo, e a expressão " L_{tot_Km} "/" $Area_km^2$ ", para obtenção dos resultados.

2.7 Fator de Forma

O fator de forma (Kf), de acordo com Santos et al. (2012), representa a relação entre a largura média da bacia e seu comprimento axial, que vai da foz ao ponto mais distante do divisor de águas. Essa medida pode ser influenciada pelas características da bacia, especialmente pela geologia. O fator de forma pode ser expresso pela equação (2).

$$Kf = A/L \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

Kf = fator de forma (adimensional),

A = área de drenagem (L²) e

L = comprimento axial da bacia (L).

No QGIS, foi utilizada a calculadora de campo, e a expressão " $Area_km^2$ " / (" $L1-eixo_Km$ " ^ 2, para os resultados.

2.8 Índice de circularidade

O índice de circularidade (IC), de acordo com Cardoso et al. (2006), compara a área da bacia com a área de um círculo que possui o mesmo perímetro que a bacia. Ele também é conhecido como coeficiente de compacidade, onde valores próximos a 1 indicam uma geometria mais circular, enquanto valores menores que 1 indicam uma geometria mais estreita e alongada. A fórmula para o índice de circularidade é apresentada na equação 3.

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

Onde:

IC = índice de circularidade,

A = área de drenagem (L²) e

P = perímetro (L).

No QGIS, foi utilizada a calculadora de campo, e a expressão “12.57*(“Area_km2”/(“Perim_km” ^ 2)), para os resultados.

2.9 Razão de relevo ou Declividade do ribeirão principal

A relação de relevo (Rr), segundo Christofolletti (1980), é uma medida que expressa a proporção entre a variação altimétrica de uma bacia Hidrográfica e o comprimento de seu curso principal. Em outras palavras, é uma forma de quantificar o quanto o terreno da bacia varia em relação à distância percorrida pelo curso d’água principal. Essa medida pode fornecer informações importantes sobre a inclinação e a forma do relevo da bacia, o que é relevante para estudos hidrológicos e de gestão de recursos hídricos. Essa relação é expressa por meio da equação 4.

$$Rr = \Delta H/L' \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

Rr= declividade equivalente (m m-1),

ΔH = distância em cada trecho considerado (m) e

L' = declividade em cada trecho considerado (m m-1).

No QGIS, foi utilizadaa a calculadora de campo, e a expressão “(“Alt_range”/1000)/“L1-eixo_Km”para os resultados.

2.10 Razão de alongação

Segundo Mosca (2003), a razão de alongação expressa a relação entre o diâmetro de um círculo com área equivalente à área da bacia e o comprimento do eixo da própria bacia. Essa relação é definida pela equação (5).

$$Re = 1,128 * A/L' \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

Re= é a razão de alongação, adimensional,

A= Área e

L' = Comprimento do eixo axial (Km).

Compreender a razão de alongação significa entender a relação entre o diâmetro de um círculo que possui a mesma área que a bacia Hidrográfica e o comprimento do eixo dessa bacia. Essa medida é utilizada para avaliar a forma da bacia, indicando se ela é mais alongada ou mais compacta. Quanto maior a razão de alongação, mais alongada é a forma da bacia.

No QGIS, foi utilizada a calculadora de campo, e a expressão $1.128 * ((\sqrt{"Area_km2"}) / "L1-eixo_Km")$, para os resultados.

2.11 Índice de rugosidade

O índice de rugosidade, conforme descrito por Rocha (2001), é um parâmetro que leva em consideração a declividade, o comprimento da encosta e a densidade de inclinação de uma área. Ele é representado por um número adimensional, calculado multiplicando a faixa de variação de altura (a diferença de nível da bacia) pela densidade de drenagem, conforme expresso na equação (6). Este índice fornece informações sobre a complexidade do terreno e sua capacidade de retenção de água.

O índice de rugosidade é dado por:

$$RN = Dd \times H \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

RN é o índice de rugosidade (adimensional),

Dd é a densidade de drenagem da microbacia e

H é a declividade média da microbacia.

No QGIS, foi utilizada a calculadora de campo, e a expressão $("Alt_range"/1000) * "Dd"$, para os resultados.

2.12 Densidade Hidrográfica

Conforme explicado por Villela & Mattos (1975), significa entender que essa medida representa a relação entre a quantidade de rios ou cursos d'água e a área total da bacia Hidrográfica. É uma forma de avaliar a concentração de recursos hídricos em uma determinada área, fornecendo informações sobre a disponibilidade de água na região. A

densidade Hidrográfica é a proporção entre o número de rios ou cursos d'água e a área da bacia Hidrográfica, conforme expresso pela equação (7).

$$Dh = N/A \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

Dh= Densidade Hidrográfica,

N= Número de Rios ou cursos d'água e

A= Área de drenagem.

No QGIS, foi utilizada a calculadora de campo, e a expressão " Nt " / " $Area_km2$ ", para os resultados.

2.13 Coeficiente de Compacidade Kc ou Índice de Gravélius

Conforme Villela & Mattos (1975), o índice de compacidade (Kc) pode ser compreendido como a relação entre o perímetro da bacia (P) e a circunferência de área igual à da bacia. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade, como expresso pela equação (8).

$$Kc = 0,28 P/A \quad \text{Equação (8)}$$

Onde:

Kc = Coeficiente de compacidade (adimensional),

P = Perímetro da bacia em km, e

A = Área da bacia em km².

No QGIS, foi utilizada a calculadora de campo, e a expressão $0,28 * ("Perim_Km / (sqrt ("Area_Km2")))$, para os resultados.

2.14 Extensão média do escoamento superficial

Conforme explicado por Villela & Mattos (1975), a extensão média do escoamento superficial refere-se à distância que a água da chuva teria que percorrer sobre os terrenos de uma bacia, caso o escoamento ocorresse em linha reta desde o ponto onde a chuva caiu até o ponto mais próximo no leito de um curso d'água da bacia. Essa medida é expressa pela equação (9).

$$Em = A/4 * L_{Tot}$$

Equação (9)

Onde:

Em= Extensão média do escoamento superficial

A= Área da bacia em km²

L_{Tot} =Comprimento total de drenagem (Km)

No QGIS, foi utilizada a calculadora de campo, e a expressão “Area_km2” / (4 * “Ltot_Km”, para os resultados.

2.15 Índice de sinuosidade

O índice de sinuosidade, conforme explicado por Nardini et al. (2013), significa reconhecer que ele representa a relação entre o comprimento real do canal, considerando sua sinuosidade, e a distância em linha reta entre os extremos desse canal. Quanto maior o índice de sinuosidade, maior é a sinuosidade do canal, indicando curvas e meandros ao longo do curso d'água. Essa medida é útil para caracterizar a forma e o padrão de curvatura dos rios e cursos d'água em uma bacia Hidrográfica. Conforme equação (10).

$$Is = L/L_v$$

Equação (10)

Onde:

Is= índice de sinuosidade;

L= comprimento do canal principal e;

L_v= distância vetorial do canal principal

No QGIS, foi utilizada a calculadora de campo, e a expressão “L-CP_km” / “L1-eixo_km” para os resultados.

2.16 Razão de textura

A razão de textura, conforme descrito por Nardini et al. (2015), significa entender que ela representa a relação entre o número total de rios e o perímetro da bacia. Essa medida é usada para caracterizar a textura do relevo, indicando a transição entre relevos suaves e ondulados. Segundo França (1968), a razão de textura é classificada como grosseira, média ou fina, dependendo de seus valores. O cálculo desse parâmetro é realizado pela equação (11).

$$T=Nt/P$$

Equação (11)

Onde:

T = Textura

Nt = número total de rios

P = perímetro da bacia

No QGIS, foi utilizada a calculadora de campo, e a expressão "*Nt*" / "*Perim_km*" para os resultados.

2.17 Uso e Cobertura do Solo

Os dados de uso e cobertura do solo da região de estudo, para o ano de 2022, foram obtidos por meio da base geográfica disponibilizada na plataforma do MAPBIOMAS v.7.1 (2023) disponível em: (<https://brasil.mapbiomas.org/mapbiomas-cobertura-10m/>). Foram selecionados a região e o produto de uso do solo, em seguida realizado o *download*. Os dados estão disponíveis no formato de *raster* (10x10m), provenientes do processamento das imagens do Sentinel 2, trata-se de uma versão BETA, em seguida os dados foram recortados para a área de interesse, convertidos para vetores (polígonos), para extração dos quantitativos de área e representação percentual para cada classe de uso.

2.18 Classes de Solo

Para realizar o mapeamento de solos, seguimos as diretrizes estabelecidas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2018), obtendo os dados no site <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia.html>. Os dados foram baixados no formato vetorial (shapefile - shp) com uma escala compatível de 1:250.000 e resolução de 30 metros.

2.19 Hipsometria e declividade do terreno

Para análise da condição topográfica da região, foram obtidos os dados de altimetria no formato matricial (*raster*) e a altimetria do terreno obtidos por meio do banco de dados geográficos no TOPODATA (INPE, 2023). Os dados estão estruturados em quadrículas

compatíveis com a articulação 1:250.000, portanto, em folhas de 1° de latitude por 1,5° de longitude. Através dos dados de altimetria, e foram processadas as imagens para obtenção do mapa de declividade do terreno e mapa de hipsometria, correspondente a bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras, os dados foram processados por meio do software QGIS 3.22. Os dados de declividade (%) do terreno foram reclassificados por classes segundo a metodologia da Embrapa (2009): classe 1: 0 a 3%; classe 2: 3 a 8%, classe 3: 8 a 20%, classe 4: 20 a 45%, classe 5: >45%. Após a reclassificação foram produzidos os mapas temáticos assim como quantificadas as áreas de cada classe.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados processados permitiram a obtenção das características morfométricas da Microbacia Ribeirão das Pedras, resumidas na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados da caracterização morfométricas da Microbacia Ribeirão das Pedras, município de Quirinópolis GO.

Parâmetros	Unidade Medida	Resultados
Características Geométricas		
Área de Drenagem	Km ²	261,6964
Perímetro	Km	88,9259
Fator de Forma (Kf)	---	0,2130
Coeficiente de Compacidade ou Índice de Gravélius (Kc)	---	1,5392
Índice de Circularidade (Ic)	---	0,4160
Densidade de Drenagem (Dd)	Km/Km ²	0,8206
Características de relevo		
Altitude Média	m	576,8707
Altitude Mínima	m	429
Altitude Máxima	m	845
Altitude Intervalo	m	416
Razão de Textura (T)	---	0,2875
Índice de Rugosidade (Ir)	---	0,3414
Razão de Elongação (Re)	---	0,5207
Características da drenagem		
Eixo do Rio Principal	Km	35,044
Rio Principal	Km	41,8
Total de canais	Km	214,744
Total de canais drenagem da bacia	Km	25,57
Razão de Relevô (Rr)		0,011
Características da Drenagem		
Densidade Hidrográfica (Dh)	---	0,098
Extensão Média do Escoamento Superficial (Lm)	---	0,3047
Índice de Sinuosidade (Is)	---	1,193

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dois padrões de rede de drenagem são identificados na Microbacia: dendrítico e alongada, conforme descrito por Jesus (2021), o padrão dendrítico é caracterizado pela presença de canais de drenagem sem uma orientação específica ou controle estrutural evidente. Nesse padrão, os canais não seguem a direção das camadas rochosas subjacentes. A drenagem dendrítica tende a se desenvolver em áreas onde as rochas oferecem resistência uniforme em direção horizontal. Isso pode ocorrer em rochas sedimentares com resistência uniforme ou em rochas que passaram por um intenso processo de metamorfismo, onde as diferenças originais na dureza da rocha foram suavizadas pela ação metamórfica. Para as bacias com tendência mais alongadas, é indicado por Alves e Castro (2003) como uma condição que propicia o escoamento, ou seja, menos sujeitas a inundações.

A Microbacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras abrange uma área de 261,696 km², representando a região onde as águas pluviais são coletadas e drenadas pelos seus divisores topográficos, projetada em um plano horizontal. O perímetro do eixo principal, que segue ao longo do divisor de águas, estende-se por 35,044 km, conforme definido por Strahler (1957), indicando uma hierarquia fluvial de 4ª ordem. A distância média percorrida pela água superficial é de 0,3047 km, com um canal principal que se estende por 41,8 km.

A amplitude altimétrica Guariz (2008) se refere à diferença entre a altitude mais alta e a mais baixa em uma determinada área geográfica, como uma microbacia. Neste caso específico, a altitude máxima encontrada montante (em direção à nascente) da microbacia é de 845 metros, enquanto a altitude mínima a jusante (em direção à foz) é de 429 metros. A altitude média da microbacia, considerando todas as elevações dentro dela, é de 576,87 metros.

O fator de forma e o coeficiente de compacidade são os parâmetros morfométricos mais utilizados para verificar se a sub-bacia é suscetível à inundação, por influenciar no tempo de concentração da bacia. O fator de forma demonstra uma relação da bacia com um retângulo e também indica a maior ou menor probabilidade de enchentes (Villela e Mattos, 1975). Na sub-bacia estudada o fator de forma encontrado foi de 0,213 é considerado baixo, indicando que está corresponde ao formato alongado, portanto, com menor concentração do deflúvio.

No caso específico estudado, o Coeficiente de Compacidade (Kc) foi calculado como 1,5392, indicando uma forma alongada da bacia, conforme observado por Villela e Mattos (1975). O índice de circularidade apresentou um valor de 0,416, corroborando essa conclusão ao demonstrar a forma da bacia como alongada, conforme mencionado por

Christofolletti (1980). Além disso, a Razão de Elongação (Re) também confirmou essa observação ao fornecer um valor de 0,5207, indicando uma forma menos circular e mais alongada, conforme explicado por Christofolletti (1980). Essas análises eliminaram a subjetividade na descrição da forma da bacia, fornecendo uma comparação objetiva entre os diferentes parâmetros morfométricos. Em conjunto, esses resultados sugerem que a bacia em questão tem menor propensão a impactos hidrológicos, fluxo de água, distribuição de chuvas e a vulnerabilidade a eventos climáticos extremos, como enchentes.

O índice de razão de relevo, conforme definido por Carvalho (1981), permite a comparação das elevações em uma região. Valores mais altos indicam um relevo geralmente mais acidentado, além de refletir a relação entre infiltração e escoamento superficial, o que indica a densidade de drenagem. De acordo com Nardini et al. (2005), valores mais elevados do índice de razão de relevo indicam um terreno mais acidentado e um maior escoamento superficial direto das águas pluviais, resultando em uma menor taxa de infiltração e um aumento da erosão. No estudo em questão, o valor do índice de relevo obtido foi de 0,011. Segundo Piedade (1980), uma razão de relevo entre 0,11 e 0,30 é classificada como média.

Como destacado por Christofolletti (1981) a densidade de drenagem (Dd) de uma bacia Hidrográfica indica a quantidade de canais disponíveis para o escoamento, influenciando a velocidade com que a água das chuvas atinge a saída da bacia. Sua magnitude é afetada por fatores como precipitação, inclinação do terreno, tipo de solo, geologia e cobertura vegetal, sendo uma resposta ao equilíbrio entre esses fatores. Além disso, a densidade de drenagem influencia o fluxo de água e o transporte de sedimentos dentro da bacia. França (1968) classifica a (Dd) como muito baixa para valores menores <1,5, média entre 1,5 e 2,5 e altas entre 2,5 e 3,00 e muito alta para valores acima de 3,00. Portanto a bacia em estudo seguindo a metodologia do autor é do tipo baixo escoamento superficial e maior infiltração.

O índice de rugosidade, cujo valor é de 0,3414 mostrou-se pouco expressivo e foi classificado como baixo. Essa constatação sugere uma reduzida chance de degradação da bacia, já que aponta para uma variação limitada no terreno, com poucas diferenças de elevação entre a cabeceira e a seção de referência, além de uma rede de drenagem densa. Consequentemente, essa baixa rugosidade indica que a bacia em análise apresenta um menor risco de enchentes.

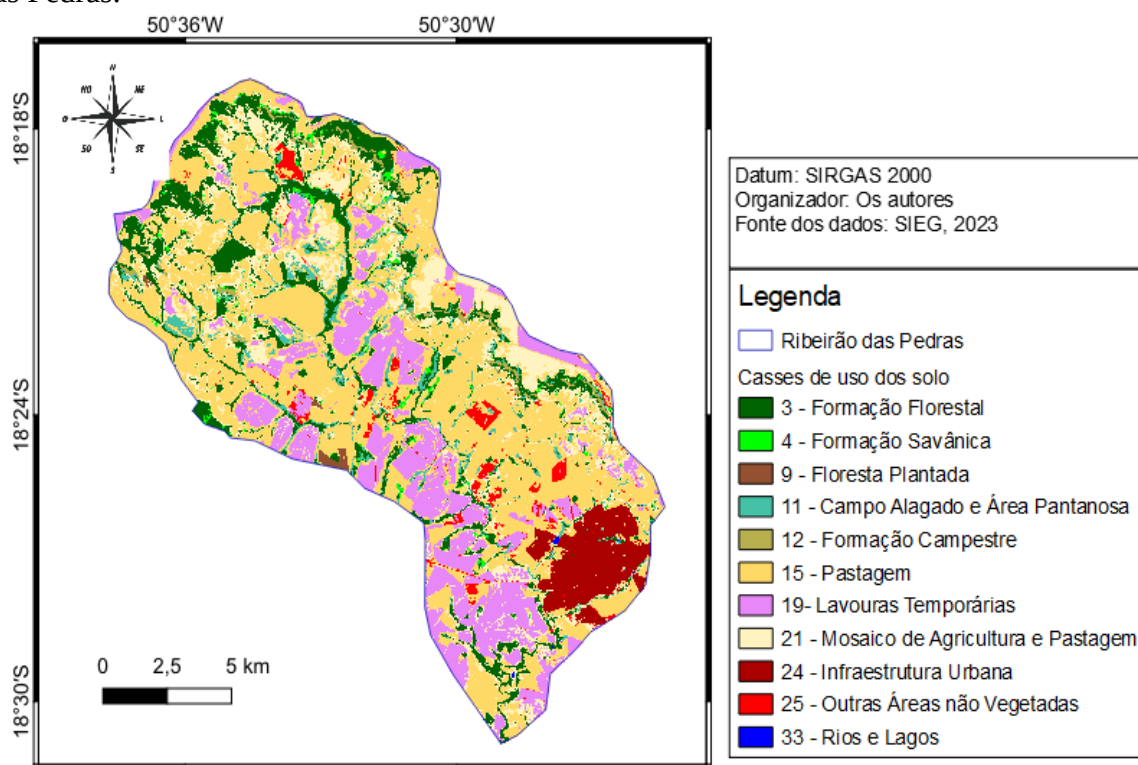
O índice de sinuosidade (Is) conforme definido por Batista et al. (2017) é uma métrica que descreve a velocidade de fluxo dentro do canal de um curso d'água. Quanto menor a sinuosidade, menor é a resistência encontrada pelo curso d'água para atingir sua saída,

enquanto uma sinuosidade elevada indica maior dificuldade. Este índice varia de 1 a 2, onde valores próximos ou abaixo de 1 sugerem canais de água retos, enquanto valores próximos de 2 indicam cursos d'água sinuosos. Valores intermediários indicam formas transacionais, regulares ou irregulares. Com um valor de (Is) de 1,193 km, a bacia em questão é classificada como tendo cursos d'água retos, o que favorece sua conservação e preservação.

Segundo França (1968), a razão de textura, onde para valores menores que 2,5 é classificada como grosseira, entre 2,5 e 6,2 médias e acima de 6,2 como fina. A razão de textura corresponde a transição de terreno, onde ela passa de ondulado a suave ondulado, ou vice-versa. A área de estudo obteve o resultado de 0,2875, ou seja, a razão de textura indica a classificação como grosseira.

Observa por meio da Figura 2, as diferentes classes de uso e cobertura do solo na bacia do Ribeirão das Pedras, para o ano de 2022, segundo o dado mais recente disponibilizado na plataforma do Mapbiomas.

Figura 2 – Mapa temático das classes de uso e cobertura do solo da Microbacia Ribeirão das Pedras.



Fonte: Adaptado pelos autores. Mapbiomas, 2022.

O mapa temático da Figura 2, juntamente com a Tabela 3 dos quantitativos de área e percentual de classes, representam espacialmente a localização dessas classes e seus usos,

bem como é possível identificar as classes com maior peso em representatividade a área total da bacia.

A classe 15 de uso pastagem é a que representa maior cobertura da bacia com 42,83%, e estão localizadas em maioria em áreas que margeiam a serra, ou seja, em locais ainda com maior declividade, ou classes de solo com menor potencial produtivo às classes agrícolas. Destaca ainda que as classes de pastagem, tem inúmeros fragmentos de formação florestal, indicando que ainda que em baixo grau de cobertura na bacia (12,18%), é uma classe que apresenta boa parte da sua porção fragmentada em outros usos dos solos. Observa ainda que as classes de formação natural de vegetação estão na encosta da serra (região norte e Oeste da bacia), além das margens dos rios e córregos, como formação das Áreas de Preservação Permanente – APP.

As classes de formação florestal (12,18%) e de formação Savânica (1,01%) representam o baixo grau de cobertura vegetal nessa porção de terreno, indicando assim um alto grau de ocupação do solo, e/ou alto grau de antropização.

Outros usos dos solos como a classe 19, com Lavouras temporárias (16,68%) tem prioritariamente as culturas de cana-de-açúcar e soja, destacando os usos agrícolas predominantes na bacia, ainda somando a essas classes de uso a classe 21 com Mosaico de agricultura e pastagens (15,31%).

A área urbana do município possui 592,34ha, o que representa 2,18% da área da bacia, e ainda observa que a porção urbana de Quirinópolis se encontra na sua maior parte dentro dessa bacia. Outros usos dos solos com menor importância e representação também somam o restante da área, como forma de verificar a ocupação do solo e suas potencialidades.

As características morfométricas da bacia do Ribeirão das Pedras sugerem que não há uma tendência para a concentração do fluxo fluvial, pois seu formato alongado indica uma baixa probabilidade de enchentes. No entanto, a escassa presença de áreas verdes e de Áreas de Preservação Permanente (APPs), devido à expansão das atividades agropastoris e urbanização, contribui significativamente para os processos erosivos. Assim sendo, a gestão ambiental da bacia necessita de maior atenção para garantir a preservação dos recursos naturais.

Tabela 3: Classes de uso do solo e representação percentual na Microbacia Ribeirão das Pedras, 2022.

Nº classe	Nome da classe	Área (ha)	%
3	Formação florestal	3316,24	12,18

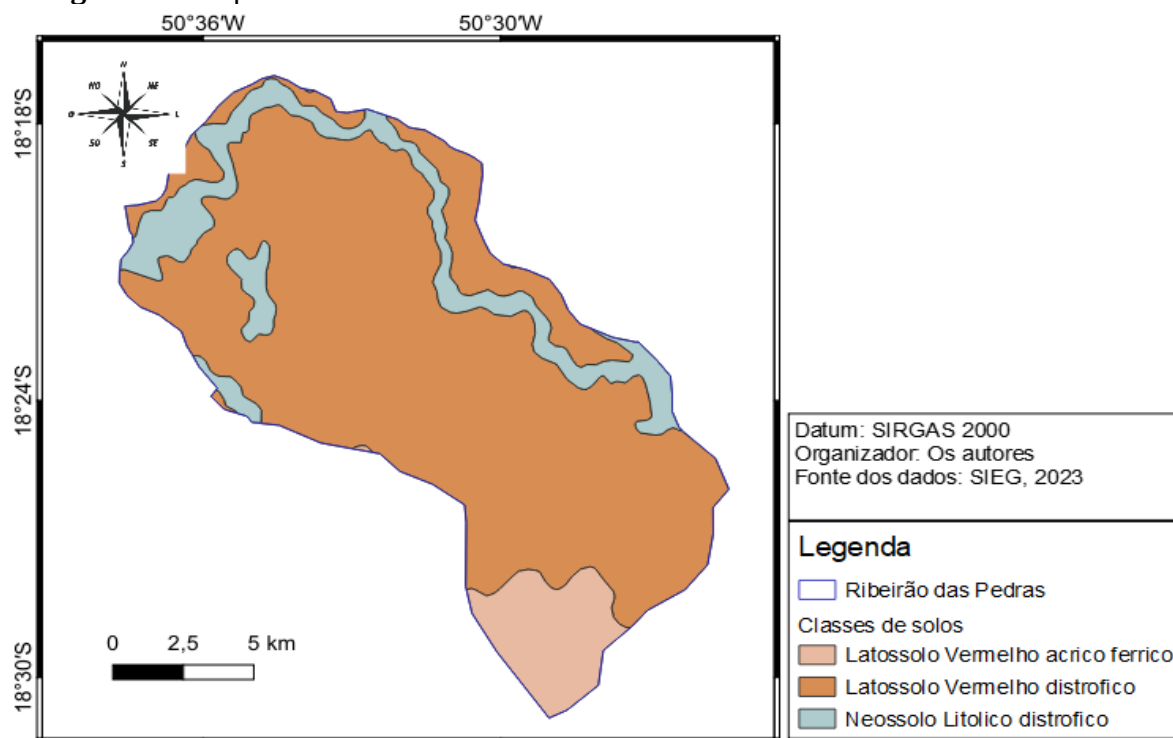
4	Formação savânica	275,44	1,01
9	Floresta plantada	74,44	0,27
11	Campo alagado ou pantanosa	1004,94	3,69
12	Formação campestre	342,81	1,26
15	Pastagem	11658,28	42,83
19	Lavouras temporárias	4541,07	16,68
21	Mosaico de agricultura e pastagens	4167,64	15,31
24	Áreas Não Vegetadas	1232,91	4,53
25	Área Urbana	592,34	2,18
33	Rios e lagos	13,72	0,05

Fonte: Adaptado pelos autores. Mapbiomas, 2022.

Por meio da Figura 3 e Tabela 4, é possível observar que a maior classe de solo com área (20.233,48 ha) e percentual de cobertura (79,31 %) é o Latossolo Vermelho distrófico, diante disso é possível entender que um dos fatores ao alto grau de ocupação da bacia com atividades agropecuárias estão associados a classe de solo, pois a mesma é altamente propícia a essas atividades, o que aumenta o grau de pressão antrópica para usos de exploração economia da bacia. É uma classe de solo que apresenta médio grau de vulnerabilidade a erosão e associado a locais com alta declividade podem provocar grandes perdas de solo.

Ainda com relação a classes de solos, a classe Neossolo Litólico distrófico ainda que com apenas 12,76% da área da bacia, está localizada em uma região importante da bacia, circundando a serra, e em regiões de maior declividade o que potencializa ainda mais a alta vulnerabilidade erosiva que essa classe de solo já tem. Sendo assim, as áreas da bacia com essa classe de solo devem ser manejadas com uso de solo natural ou com classes que possuam grande cobertura vegetal, associadas a práticas sustentáveis e adequadas à capacidade de uso do solo.

Figura 3 – Mapa temático das classes de solo da Microbacia Ribeirão das Pedras.



Fonte: Adaptado pelos autores. SIEG, 2023.

Tabela 4: Classes de solos na Microbacia Ribeirão das Pedras.

Nome da classe	Área (ha)	%
Latossolo Vermelho acríco férrico	2.022,93	7,93
Latossolo Vermelho distrófico	20.233,48	79,31
Neossolo Litólico distrófico	3.255,74	12,76

Fonte: Adaptado do SIEG, 2023.

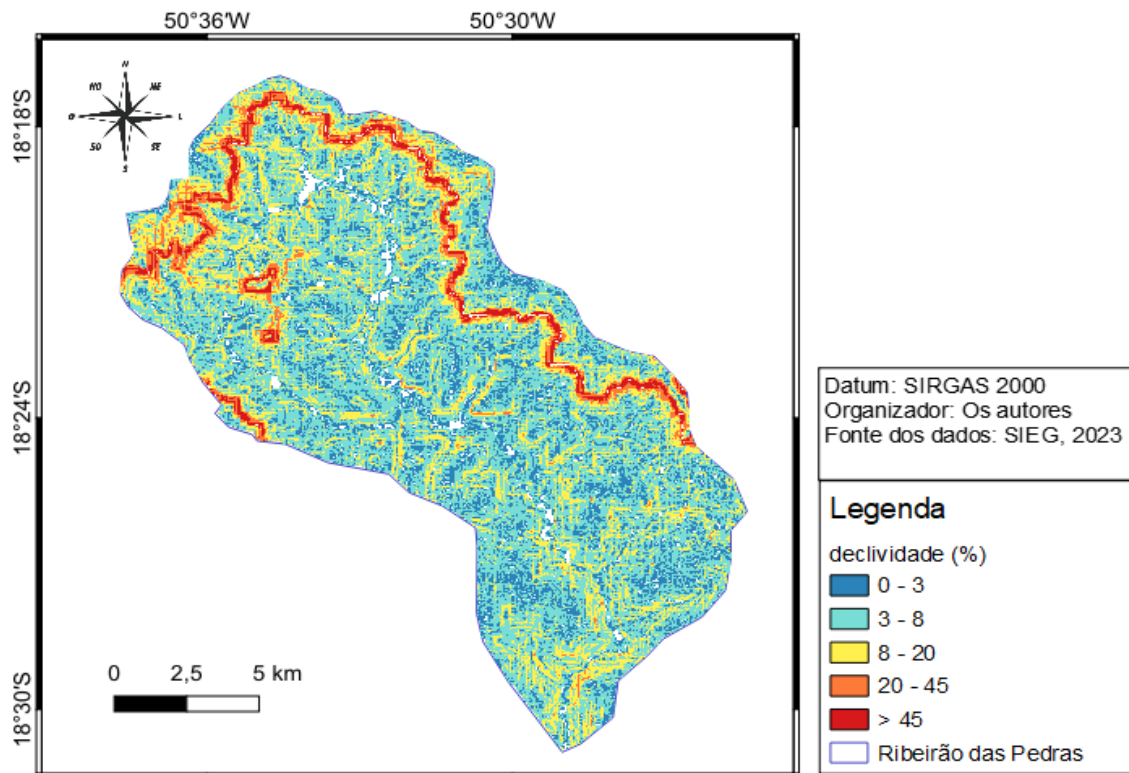
Por meio da Figura 4 e Tabela 5, é verificado as informações da declividade do terreno em escala espacial, e os quantitativos por classe, respectivamente.

Observa que a maior porção da bacia apresenta declividade baixa, entre 0-3% (18,43%) e da classe de 3 a 8% (50,40%), e essas classes concentram-se na porção central da bacia, indicando nessas áreas menor grau de erodibilidade quanto a declividade, porém essa mesma característica topográfica aumenta o grau de uso da terra para atividades agrícolas como as culturas da soja e da cana-de-açúcar, observadas na Figura 2, para as classes 19 e 21, principalmente.

As áreas do entorno da serra apresentam altas declividades, com solos escarpados, ou seja, acima de 45% de inclinação, indicando a necessidade de proteção tanto nas áreas altas (Ver Figura 1) quanto nas áreas de encosta, pois são solos altamente vulneráveis a erosão, tanto pela classe topográfica, quanto pela classe de solo (Figura 3).

Observa ainda que a região da área urbana de Quirinópolis (Figura 2), tem declividade baixa (Figura 4), indicando ser uma área de menor risco tanto a inundação quanto a riscos de deslizamentos e desmoronamentos, ou seja, apresenta uma boa topográfica para a locação desse tipo de empreendimento.

Figura 4 – Mapa temático das classes de declividade da Microbacia Ribeirão das Pedras.



Fonte: Adaptado pelos autores. SIEG, 2023.

Tabela 5: Classes de declividade do terreno na Microbacia Ribeirão das Pedras.

Classes de declive	Área (ha)	%
0 - 3 %	4.741,11	18,43
3 - 8 %	12.962,34	50,40
8 - 20 %	6.020,28	23,41
20 - 45 %	1.258,83	4,89
> 45%	737,55	2,87

Fonte: Adaptado pelos autores do SIEG, 2023

4 CONCLUSÕES

O uso de geotecnologias para a análise ambiental possibilitou um mapeamento detalhado dos aspectos físicos e dados morfométricos da Microbacia Hidrográfica do

Ribeirão das Pedras. As informações obtidas através do Sistema de Informação Geográfica (SIG), como localização, área e Modelo Digital de Elevação (MDE), são fundamentais para a gestão eficiente dos recursos hídricos e para a compreensão aprofundada do comportamento hidrológico da bacia.

Os resultados mostram que a bacia possui uma área de 261,69 km² e um perímetro de 88,92 km, com um formato alongado e densidade de 0,8206 km/km². O padrão de drenagem é dendrítico, e a densidade hidrográfica é baixa, com 0,098 canais/km². A análise morfométrica indica uma baixa tendência a enchentes, corroborada pelos índices de circularidade, coeficiente de compacidade e fator de forma.

A distribuição da declividade revela que 68% da bacia está em áreas com declividade de 0 a 8%, caracterizando o terreno como plano a suavemente ondulado, o que favorece um escoamento suave. No entanto, as áreas fortemente montanhosas, que representam apenas 0,03% da bacia, são mais suscetíveis a erosão e assoreamento devido à concentração de águas pluviais.

O uso do solo é predominantemente ocupado por pastagens (42,83%), seguido por formações savânicas e florestais (13%) e áreas com lavouras temporárias (32%), como cana e soja, além de mosaicos de agricultura e pastagem. O Latossolo Vermelho Distrófico, que cobre 79,31% da área da bacia, destaca a necessidade de práticas de manejo e conservação para proteger os recursos hídricos e manter a qualidade ambiental.

Em resumo, a integração de geotecnologias e análise morfométrica oferece uma compreensão detalhada da Microbacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras, destacando aspectos cruciais como uso do solo, classes de solo, e características topográficas. Com base nesses dados, é possível desenvolver estratégias eficazes para promover a sustentabilidade e proteger os recursos hídricos da microbacia, garantindo a preservação ambiental e a melhoria contínua das condições ecológicas e produtivas da região.

5 REFERÊNCIAS

ALVES, J.M.P. e CASTRO, P.T.A. Influência das feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências** v. 33, no 2, p. 117-124, 2003.

ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista -Guamiranga-PR. **Caminhos da Geografia**, v. 08, n. 21, p. 46-58, 2007.

ASSIS, A. P. A. O.; GIONGO, P. R.; TAVEIRA, J. H. S.; PESQUERO, M. A. Susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego da Formiga, Quirinópolis/GO. **Revista espacios**, v. 38, p. 1-10, 2017.

CAMPOS, S.; FELIPE, A. C.; CAMPOS, M.; RECHE, A. M. Geoprocessamento Aplicado na Caracterização Morfométrica da Microbacia do Ribeirão Descalvado – Botucatu, Sp. **Irriga**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 52–65, 2015. DOI: 10.15809/irriga.2015v1n1. p52.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n.2, p. 241-248, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000200011>.

CARVALHO, W. A. **Relações entre relevos e solos da bacia do rio Capivara - município de Botucatu, SP**. Botucatu, (Tese de Livre-Docência) - FCA/UNESP. 1981, 193p.

COSTA, R. C. A. **Indicadores morfométricos: Uma ferramenta no diagnóstico da vulnerabilidade ambiental**. Dissertação (mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. 78 p. 2015.

CRISTOFOLRTTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher,1980. 188p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 2009.

FRANÇA, G.V.; DEMATTÊ, J.A.M. **Parâmetros da rede de drenagem de solos da região de Iracemápolis (SP)**. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", v.47, p.541-55, 1990. <https://doi.org/10.1590/S0071-12761990000200015>.

GIONGO, P. R.; OLIVEIRA ASSIS, A.P. A. DE ; SILVA, M. V. DA ; MONTENEGRO, A. A. DE A. ; TAVEIRA, J. H. DA S. ; COSTA, A. R. DA ; SILVA, P. C. ; GIONGO, A. M. M.; PANDORFI, H. ; SANTOS, A. J. M. ; BACKES, C. ; FERREIRA, M. B. ; SILVA,

J. L. B. DA. Land Use and Water-Quality Joint Dynamics of the Córrego da Formiga, Brazilian Cerrado Headwaters. **Geographies**, v. 2, p. 629-641, 2022.

JESUS, V. D.; BARRETO, H. N. Padrão de Drenagem, um resgate conceitual como subsídio à classificação da Bacia do Rio Preguiças. V. XXV, n. 4, **Ciência Geográfica**. p. 1533-1552. 2021.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas – Coleção Beta de Mapas Anuais de Cobertura e Uso da Terra do Brasil com 10 metros de resolução espacial. Disponível em: <
<https://brasil.mapbiomas.org/mapbiomas-cobertura-10m/>>. Acesso em: 8 de fevereiro de 2024.

MENEZES, J. P. C.; FRANCO, C. S.; DE OLIVEIRA, L. F. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. de S.; FIA, R. Morfometria e Evolução do uso do solo e da vazão de máxima em uma Microbacia Urbana. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 15, n. 4, 2014. DOI: 10.20502/rbg.v15i4.597.

MOSCA, A. A. D. O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas**. Piracicaba–SP: Universidade de São Paulo. 2003.

PEIXOTO, R. M. ; GIONGO, PR ; BACKES, C. ; SILVA, PC . Técnicas conservacionistas de solo e água na agropecuária: Caracterização da área de contribuição de barraginhas. **Research, society and development**, v. 11, p. 1-14, 2022.

PORQUERAS, M. J. I. Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. **Revista de geografia**, p. 41-68, 1985.

RODRIGUES, F. H., COELHO, J. M., DOS SANTOS, F. S. M., DO AMARAL, A. M. C., & ZAINÉ, J. E. Avaliação da possibilidade de erosão natural e induzida na bacia Hidrográfica do ribeirão das pedras, Quirinópolis (GO). **Geociências**, v.33, n.2, p.339-359, 2014.

SANTOS, G. V. et al. Análise hidrológica e socioambiental da bacia Hidrográfica do córrego Romão dos Reis, Viçosa-MG. **The hydrographic watershed of Romão dos Reis stream**, Viçosa-MG. 2007.

SILVA, B. A.; GIONGO, P. R.; MARTINS, P. T. A.; BARBOSA, T. A.; MORAES, V. H.; CAVALCANTE, T. J.; GIONGO, A. M. M.. Soil erosion vulnerability in the southern part of the Meia Ponte watershed, Goiás, Brazil. **Idesia** (Arica), v. 37, p. 81-86, 2019a.

SILVA, B. A.; GIONGO, P. R.; BARBOSA, T. A.; MORAES, V. H.; CAVALCANTE, T. J.; BACKES, C.; SANTOS, A. J. M. Characterization and Analysis of Gullies in the Sub-basin of Ribeirão Serra in Morrinhos, Goiás, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 70-80, 2019b.

SILVA, J. B. A. DA; ALMEIDA, G. L. P. DE ; SILVA, M. V. DA ; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F. DE; PANDORFI, H.; SOUSA, A. M. O. DE ; MARINHO, G. T. B.; GIONGO, P. R.; FERREIRA, M.B.; SOUSA, J. S. DE ; MESQUITA, M. ; ALMEIDA, A. C. D. S.. Characterization of water status and vegetation cover change in a watershed in Northeastern Brazil. **Journal of south american earth sciences**, v. 130, p. 104546-104559, 2023. doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104546

TONELLO, Kelly Cristina. **Análise hidroambiental da bacia Hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães**, MG. 2005.

VALERIANO, M. de M. TOPODATA: **Guia de utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: **INPE**, 2008.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. p.17, 18, 245, 1975.

Capítulo 2 - RELAÇÃO DA OFERTA E QUALIDADE DA ÁGUA COM OS USOS DOS SOLO NO RIBEIRÃO DAS PEDRAS – QUIRINÓPOLIS -GO

RESUMO

O trabalho teve como objetivo a avaliação da qualidade e oferta da água da Microbacia Ribeirão das Pedras, no município de Quirinópolis - GO, em escala espacial durante um ciclo hidrológico e a relação com os usos do solo em sub-bacias. Foram considerados seis pontos de coleta e análise da água, que compõe as (sub-bacias). Os parâmetros avaliados foram: potencial Hidrogeniônico (pH), Oxigênio dissolvido (OD), Temperatura da água (T), Turbidez (TD), Condutividade elétrica (CE), Cor (Cor) e Potencial de oxidação redução Eh (ORP). As coletas e análises foram realizadas durante o ano de 2023 a cada 2 meses (aproximadamente). Foram obtidos ainda os dados de classes de solo, hipsometria e declividade do terreno, além das classes de uso e cobertura do solo, sendo esses provenientes de bancos geográficos e processados por meio do software Qgis v3.22. No software foram identificadas e quantificadas as classes de usos do solo para cada uma das sub-bacias, referente aos pontos de análise de água. e parâmetros da qualidade da água, respectivo a cada área de contribuição das sub-bacias dos pontos de coleta da água, foram submetidos a análise de correlação de Pearson. O estudo das águas da microbacia do Ribeirão das Pedras revela mudanças na qualidade devido às atividades humanas. Pontos chave incluem: Ponto 1: Alta turbidez devido à matéria orgânica e solos Latossolos Vermelho Distrófico com pH baixo; Ponto 2: Flutuações no potencial redox devido a práticas agrícolas intensivas e erosão; Ponto 5: Lago Municipal com altos níveis de temperatura, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido, influenciados pela exposição solar e fontes urbanas e industriais; Ponto 6: Saída da bacia com elevada condutividade elétrica e oxigênio dissolvido, possivelmente devido a pedregulhos e efluentes de estação de tratamento de esgoto. O uso do solo apresenta áreas de ambientes altamente antropizadas, com 81,3% da área total ser predominantemente de agricultura. Os resultados desta pesquisa indicam que o Ribeirão das Pedras está sendo afetado pela degradação do habitat, causada tanto pelo desenvolvimento urbano quanto pela agropecuária intensiva. Destaca-se que a atividade agrícola ocupa mais de 77,83% da área total das sub-bacias, resultando em alterações nos parâmetros de qualidade da água observados. Estes resultados destacam os impactos ambientais das atividades humanas na microbacia, enfatizando a necessidade de monitoramento contínuo para compreender e mitigar esses efeitos sobre os ecossistemas locais.

Palavras-chave: Índice de qualidade; Parâmetros Físico-químicos; Microbacia; uso do solo.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the quality and availability of water in the Ribeirão das Pedras Micro-Watershed, in the municipality of Quirinópolis - GO, on a spatial scale during a hydrological cycle and its relationship with land use in sub-watersheds. Six water collection and analysis points, which make up the sub-watersheds, were considered. The evaluated parameters were: Hydrogen Potential (pH), Dissolved Oxygen (DO), Water Temperature (T), Turbidity (TD), Electrical Conductivity (EC), Color (Cor), and Oxidation-Reduction Potential Eh (ORP). The collections and analyses were conducted every two months during the year 2023. Additionally, data on soil classes, hypsometry, and terrain slope, as well as land use and cover classes, were obtained from geographic databases and processed using QGIS v3.22 software. In the software, land use classes were identified and quantified for each sub-watershed, corresponding to the water analysis points. The land use and water quality parameters for each sub-watershed's contributing area were subjected to Pearson correlation analysis. The study of the waters of the Ribeirão das Pedras micro-watershed reveals changes in quality due to human activities. Key points include: Point 1: High turbidity due to organic matter and Dystrophic Red Latosol soils with low pH; Point 2: Fluctuations in redox potential due to intensive agricultural practices and erosion; Point 5: Municipal Lake with high levels of temperature, electrical conductivity, and dissolved oxygen, influenced by solar exposure and urban and industrial sources; Point 6: Watershed exit with high electrical conductivity and dissolved oxygen, possibly due to gravel and effluents from a sewage treatment plant. Land use presents highly anthropized areas, with 81.3% of the total area being predominantly agricultural. The results of this research indicate that Ribeirão das Pedras is being affected by habitat degradation caused by both urban development and intensive agriculture. It is noteworthy that agricultural activity occupies more than 77.83% of the total area of the sub-watersheds, resulting in alterations in the observed water quality parameters. These results highlight the environmental impacts of human activities in the micro-watershed, emphasizing the need for continuous monitoring to understand and mitigate these effects on local ecosystems.

Keywords: Quality Index; Physicochemical Parameters; Micro-Watershed; Land Use

1 INTRODUÇÃO

Assegurar a eficácia no emprego dos recursos hídricos implica em otimizar o uso da água, por unidade de atividade e aprimorar a pureza das águas. Este zelo é fundamental para o avanço sustentável e para garantir um legado abundante para as gerações vindouras. Ademais, é imperativo supervisionar meticulosamente a qualidade das águas, visando um planejamento e gestão mais eficientes dos recursos hídricos. Este procedimento atua como um meticoloso observador, registrando a trajetória dos rios, detectando os efeitos sobre a qualidade da água e promovendo iniciativas de preservação ambiental.

O abastecimento domiciliar, conforme mencionado por Merten et al. (2002), é responsável pela degradação da qualidade das águas, decorrente da poluição proveniente de diversas fontes, como esgotos residenciais, efluentes industriais e escoamento superficial

urbano e agrícola. Os esgotos residenciais são compostos principalmente por agentes contaminantes orgânicos, nutrientes e micro-organismos potencialmente nocivos à saúde.

No artigo "Agricultura e Qualidade da Água", Resende (2002) destaca que a disponibilidade de água potável está diminuindo, levando a uma crescente preocupação com a fragilidade dos ciclos naturais que garantem esse recurso vital. O crescimento rápido das atividades urbanas e agropecuárias ameaça a qualidade da água em todo o mundo, e, sem soluções eficazes, o problema pode se agravar. Assim, a alternativa mais viável é o controle rigoroso dos fatores e processos que causam a contaminação da água.

Diversas pesquisas têm sido realizadas para entender a relação entre o uso e cobertura das bacias hidrográficas e a degradação ambiental, com o objetivo de subsidiar estratégias de planejamento e gestão para mitigar os impactos ambientais da exploração dos recursos naturais. Um exemplo é o estudo de Vanzela et al. (2010), que investigou a influência do uso e ocupação dos solos sobre os recursos hídricos do Córrego Três Barras, em Marinópolis - SP. Seus resultados mostram que áreas com cobertura de matas aumentam a vazão específica devido à sua capacidade de infiltração e estabilidade, reduzindo a intensidade do escoamento superficial e melhorando a qualidade da água. Por outro lado, áreas urbanas, rurais, agrícolas e matas degradadas diminuem a vazão específica e a qualidade da água devido ao aumento do escoamento superficial.

Os padrões de uso do solo têm importante influência sobre a qualidade da água. Donadio et al. (2005), para verificar a influência de remanescentes de vegetação ciliar e da ação antrópica na qualidade da água, Córrego Rico, localizadas nos municípios de Taquaritinga e de Guariba – SP, realizou períodos de amostragem, assim como as características e diferentes usos do solo influenciam na qualidade da água das microbacias. As variáveis cor, turbidez, alcalinidade e nitrogênio total foram as que apresentaram maior importância relativa nas variáveis canônicas.

As áreas urbanizadas, motivadas pela necessidade de espaço para habitação, atividades econômicas, sociais, culturais e agrícolas, têm modificado as condições ambientais através do uso do solo, afetando a qualidade desses espaços. Nesse sentido este estudo objetiva avaliar a vulnerabilidade hídrica da microbacia do Ribeirão das Pedras, por meio de análises da qualidade de água em escala temporal (um ciclo hidrológico) e espacial (6 pontos de amostragem) na rede de drenagem, e associar a correlação dos parâmetros de qualidade de água com os usos dos solos nas sub-bacias dos pontos de amostragem espacial.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

A região da Microbacia Ribeirão das Pedras está situada na porção central do município de Quirinópolis (Figura 1), que faz parte do planalto norte da bacia do Paraná, mais especificamente no planalto inferior dessa mesma bacia. Sua geomorfologia é caracterizada por superfícies tabulares e lisas, com ondulações suaves. O planalto norte da bacia do Paraná apresenta uma topografia influenciada pelo histórico tectônico da região, juntamente com a erodibilidade das camadas sedimentares da bacia. Já no planalto inferior da bacia do Paraná, as formas predominantemente tabulares são resultado de fluxos basálticos da formação Serra Geral. Isso resulta em uma paisagem marcada por amplas confluências, com a maioria das encostas direcionadas para o rio Paranaíba, e uma homogeneidade paisagística devido às características denotativas presentes na região.

Conforme descrito por Rodrigues et al. (2014), a Microbacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras serve como fonte essencial de água para o sistema público de abastecimento de Quirinópolis - GO, situado no noroeste do município. Sua principal nascente está localizada a uma distância de 26 quilômetros da área urbana, em uma altitude de 880 metros, e deságua no Rio Preto, aproximadamente dois quilômetros ao sul da cidade, a uma altitude de 425 metros.

2.2 Delimitação da bacia

Os dados geográficos utilizados neste estudo foram obtidos da carta topográfica municipal, acessada através do Sistema Estadual de Geoinformação do Estado de Goiás (SIEG, 2021), na forma de arquivos shapefile (Shp), os quais foram manipulados no *software* QGIS 3.22 e o Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido através do TOPODATA-INPE, para determinar as classes de declividade. Segundo Valeriano et al. (2008), os dados do TOPODATA são gerados por meio de processamentos digitais do Modelo Digital de Elevação (MDE) da Missão de Topografia de Radar de Ônibus Espacial - SRTM. Esses dados passaram por correções, incluindo preenchimento de informações em pontos ou áreas anteriormente sem dados. Um processo computacional refinou o tamanho da célula (pixel) para aproximadamente 30 metros. Esse refinamento foi realizado por meio da interpolação de todo o conjunto de dados usando o método de *krigagem*, uma técnica baseada na análise geoestatística da variabilidade dos dados. Esse método define coeficientes que melhor se

ajustam ao modelo de superfície real. Além dos dados de entrada, o processo requer informações geoestatística (coeficientes) para controlar a distribuição dos pesos utilizados no cálculo dos valores interpolados.

Para a obtenção dos limites da bacia e extração da rede de drenagem foi utilizada a ferramenta *r.watershed* e para a delimitação da bacia com a coordenada do exutório a ferramenta *r.wateroutlet*, ambos no software *GRASS GIS*, tendo como entrada o Modelo Digital de Elevação (MDE). Em seguida procedeu-se, com a conversão do raster (MDE) resultante para vetor, por meio da ferramenta *r.to. vect*.

Os processamentos para a elaborações dos mapas foram realizados no ambiente SIG, com o software QGIS 3.22 e *GRASS*.

2.3 Declividade do terreno

As faixas de declividade da bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras foram determinadas a partir de dados altimétricos extraídos da imagem do TOPODATA. No software *GRASS GIS*, e o Modelo Digital de Elevação (MDE) resultante foi reclassificado utilizando o algoritmo "*reclass*", com o objetivo de representar visualmente as diferentes classes de relevo. Isso envolveu a segmentação do raster de declividade de acordo com as categorias de dados da EMBRAPA– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, obtidas em escala 1:5.000.000 e disponíveis em (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>). No contexto deste estudo, a declividade foi expressa em percentagem, seguindo as faixas de inclinação definidas pela Embrapa em 1979, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1: Tipos de relevo e classes de declividades segunda a metodologia da Embrapa.

Classes de declividade	Limites Percentuais (%)
1 - Plano	0 a 3
2 - Suave Ondulado	3 a 8
3 - Ondulado	8 a 20
4 - Forte Ondulado	20 a 45
5 - Montanhoso	45 a 75
6 - Escarpado	Acima de 75

Fonte: Embrapa, 1979. Adaptado pelo autor.

2.4 Drenagem da bacia

Para definir os limites da bacia Hidrográfica, empregou-se a ferramenta de extração de drenagem "*r. watershed*" e o ponto de saída de água "*r. outlet*" no *software GRASS GIS*, utilizando como entrada o MDE. Em seguida, o raster foi convertido em vetor através da ferramenta "*r.to. vect*" para possibilitar o cálculo dos índices morfométricos da bacia.

2.5 Procedimentos de Coletas e análise da água

Para a coleta de dados, foram selecionados pontos ao longo do curso de água na bacia Hidrográfica. Os pontos de coleta foram georreferenciados, denominados de P1, P2, P3, P4, P5 e P6 (Tabela 2), os quais permitiram definir as áreas de contribuição correspondente, que foram denominadas de sub-bacias, B1, B2, B3, B4, B5 e B6, foram selecionados de modo a conseguir um padrão nas coletas e abranger toda a área de contribuição da bacia do ribeirão das Pedras.

Tabela 2: Coordenadas geograficas dos pontos de coleta de água para análise dos parâmetros de qualidade e que definiram as sub bacias.

Ponto	Latitude	Longitude
P1	18°24'09,80" S	50°32'21,50" W
P2	18°23'20,78" S	50°32'08,00" W
P3	18°25'49,70" S	50°29'31,30" W
P4	18°30'10,60" S	50°29'02,20" W
P5	18°26'42,82" S	50°27'47,53" W
P6	18°30'10,64" S	50°29'02,15" W

Elaboração: O autor.

Os procedimentos de coletas seguiram um intervalo de aproximadamente 60 dias, correspondendo aos dias 17/02/2023, 21/04/2023, 30/06/2023, 17/08/2023, 18/10/2023 e 14/12/2023 de modo a abranger as quatro estações do ano ou um ciclo hidrológico.

O Equipamento portátil utilizado para medição dos parâmetros de qualidade de água foi o EPC-70, da marca *Instrutherm*, com a descrição e informações dos sensores para os parâmetros de leitura constantes na Tabela 3.

Tabela 3: Descrição dos parâmetros de qualidade de água, e características do sensor utilizados no estudo.

Parâmetro	Sensor	Faixa de operação
Potencial de Oxidação-Redução	ORP-897	Mv -1,999mV a +1,999 mV
Condutividade Elétrica (CE)	SC – 100	2 a 20 $\mu\text{S}.\text{cm}^2$
Oxigênio Dissolvido	OD SO – 400	0 a 20 mg/l
Potencial de Hidrogênio	EPC-70	0 ~14 pH
Temperatura da água	ST-200	0 °C a 65 °

Fonte: adaptado da Instrutherm (2023).

Para as leituras *in loco*, realizou-se a calibração do sensor de pH, conforme manual do fabricante, utilizando as bases de pH 7,0 e 4,0, com temperatura de 25°C. Para as leituras de CE, foram realizadas leituras padrão com equipamentos de laboratório, a fim de verificar a precisão e necessidade de calibração. As análises da água e o enquadramento dos corpos d'água foram realizadas segundo as condições e padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005.

As amostras *in loco* foram: Oxigênio dissolvido (OD), Temperatura da água (T), Cor e Potencial de oxidação redução (ORP). As amostras de potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez (TD), Condutividade elétrica (CE), foram encaminhadas ao laboratório da Concessionária de Saneamento do Estado de Goiás, situado no município de Santa Helena de Goiás. Para garantir a qualidade da coleta, foram seguidas as diretrizes do laboratório, que forneceu todos os materiais necessários para os procedimentos.

Para avaliar os resultados obtidos, utilizou-se como referência os padrões que definem a potabilidade de aceitação para consumo humano (aparência, sabor e cheiro), definidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2005), para as principais substâncias químicas inorgânicas, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Padrões de potabilidade da água para consumo humano, definidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2005).

Parâmetro	Unidade	Resolução 357/2005 *
Potencial de hidrogênio - pH	--	6,0 a 9,0
Temperatura	°C	Não consta
Turbidez - TD	NTU	5 UT
Oxigênio dissolvido - OD	mg L ⁻¹	> 5
Condutividade elétrica - CE	dS cm ⁻¹ a 25°C	Não conta
Cor	mg Pt L ⁻¹	75

Potencial de oxidação Red. (Eh) - ORP

mg/L

500

*Valor máximo permitido pela Resolução CONAMA 357/2005. Fonte: Brasil (2005).

2.6 Vazão do curso de água

Foi adotado um método indireto para estimar a vazão, que envolve a determinação da largura do canal e a profundidades média ao longo da seção transversal e a velocidade do fluxo. Primeiramente, a largura do canal foi medida usando uma fita métrica (trena). Em seguida, foi calculada a profundidade média do córrego, utilizando uma régua topográfica. Os cálculos foram realizados seguindo a metodologia descrita por Azevedo Netto et al. (1998) e Palhares (2007). Equação 1.

Equação (1)

$$Q = (A \times L) / T$$

Onde:

Q= vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

A= Área da seção do curso d'água (m^2).

L= comprimento do canal de medição (m).

T= tempo médio de passagem de água da secção (s = segundos).

2.7 Uso e cobertura do solo

A análise das categorias de cobertura e uso da terra foi conduzida utilizando a Coleção Beta de Mapas Anuais de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, com resolução espacial de 10 metros, fornecida pelo MapBiomias (2023). Esta coleção é baseada em imagens do satélite Sentinel-2, acessadas através do site <https://brasil.mapbiomas.org/mapbiomas-cobertura-10m/>. As imagens foram processadas e reclassificadas de acordo com a metodologia do MapBiomias no software QGIS 3.22.

Para determinar as categorias de uso da terra, foram utilizadas as ferramentas de processamento de imagem do QGIS, incluindo a calculadora, que permitiu quantificar a distribuição dos pixels por classes de uso. Isso resultou na geração de uma planilha contendo campos e valores, bem como amostragem as quais permitiram quantificar as áreas de cada classe.

As planilhas resultantes foram importadas para o software Excel para formatação, tabulação e análise estatística, permitindo quantificar em área absoluta e percentual de cada classe de uso do solo em relação a bacia.

2.8 Análises de regressão Linear

Para avaliar quais parâmetros contribuíram (positivamente ou negativamente) para a qualidade da água, e entre os mesmos, foram realizadas análises de correlações Pearson entre os parâmetros da qualidade de água, e a correlação entre cada parâmetro com as classes de uso e cobertura do solo. Para essa análise foi considerada os valores médios de qualidade de água para os 6 pontos de amostragem, e os percentuais de cobertura do solo referente as 6 sub bacias, pois são os usos do solo que contribuem para a qualidade de água analisada em cada um dos 6 pontos.

Foi utilizado o método delineado por Santos (2007) para realizar as análises de regressão linear (Tabela 5). Dentro dessa abordagem, foi explorado a relação entre as variáveis físicas e químicas da água, classificando os dados em escalas de intervalo de valor. A correlação entre essas variáveis foi avaliada usando o coeficiente de correlação linear, cujos valores variam de +1 a -1, indicando a intensidade e direção da associação. Os dados foram organizados em planilhas para cálculo da estatística descritiva, como média, desvio padrão, amplitude, maior, menor.

Tabela 5: Intervalos de valores para classificação do coeficiente de correlação de Pearson.

Valores de correlação	Classe
$r = 1$	Perfeita positiva
$0,7 \leq r < 1$	Forte positiva
$0,4 \leq r < 0,7$	Moderada positiva
$0,1 \leq r < 0,4$	Fraca positiva
$0 \leq r < 0,1$	Ínfima positiva
0	Nula
$-0,1 < r < 0$	Ínfima negativa
$-0,4 < r \leq -0,1$	Fraca negativa
$-0,7 < r \leq -0,4$	Moderada negativa
$-1 < r \leq -0,7$	Forte negativa
$r = -1$	Perfeita negativa

Fonte: Santos, 2007.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir da análise dos parâmetros físico-químicos das amostragens do estudo, são apresentados a seguir:

3.1 Delimitação

A microbacia Ribeirão das Pedras possui uma área de drenagem de 261,6964 km² e perímetro de 88,9259 km, Figura 1D, podendo ser considerada uma unidade pequena, o que torna de fácil possibilidade de controle das ocorrências de fatores hidrológicos, favorecendo, possíveis, implementações de projetos essenciais para o entendimento e a gestão dos recursos hídricos, impactando diversos aspectos ambientais, sociais e econômicos.

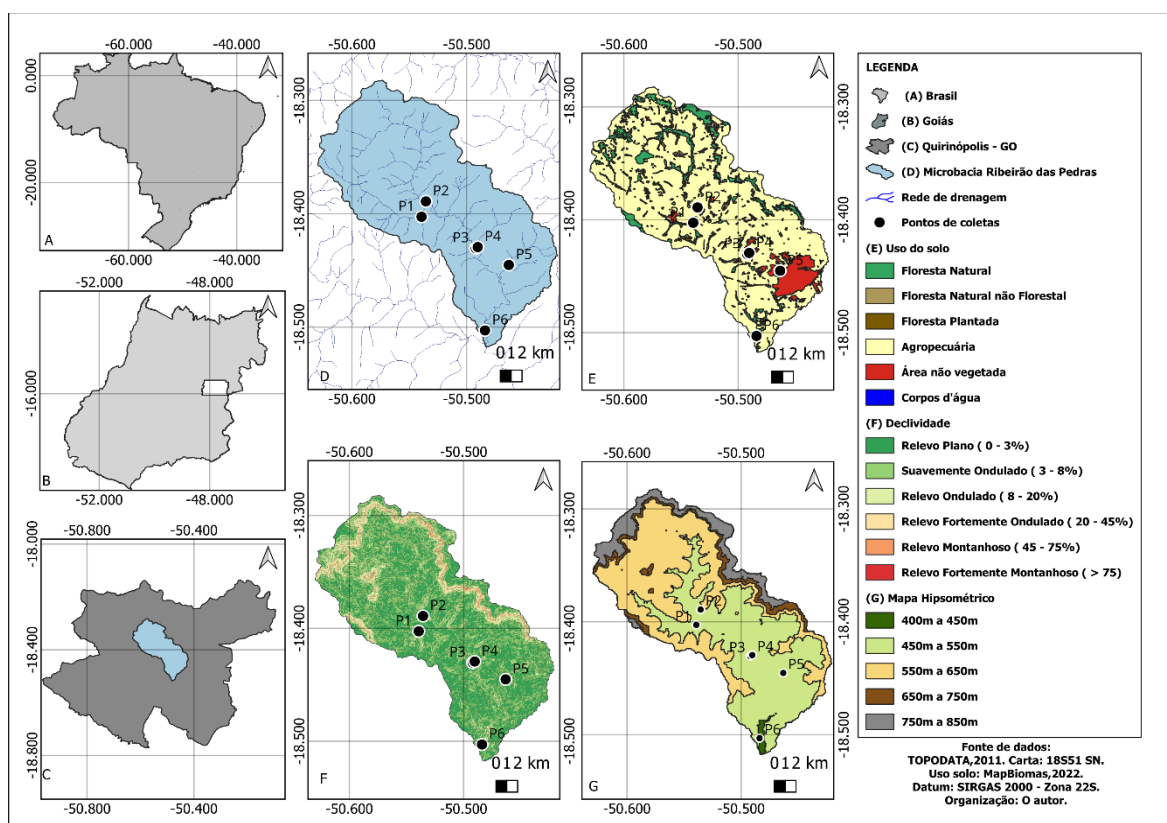


Figura 1: Mapa de localização: Brasil (A), Goiás (B), Município de Quirinópolis (C), Microbacia Ribeirão das Pedras e Pontos de coletas de água (D) Classe de usos e cobertura do solo (E), Declividade (F), Mapa Hipsométrico (G).

A Figura 1 apresenta a delimitação da Microbacia do Ribeirão das Pedras, juntamente com sua localização no município de Quirinópolis. Os pontos de coleta do estudo são identificados pela Figura 1D na Figura. As características do uso do solo encontradas dentro da bacia são representadas pela Figura 1E, enquanto as Figuras 1F e 1G retratam a declividade e o relevo, respectivamente.

3.2 Sub-bacias do Ribeirão das Pedras

A fim de considerar a localização das amostragens em seus respectivos pontos de coleta, foi necessário dividir o ribeirão em seções em função das características de escoamento, da localização das áreas de contribuição aos pontos de monitoramento, sendo assim dividido em seis sub áreas: Sub-bacia ponto 1 – B1; Sub-bacia ponto 2 – B2; Sub-bacia ponto 3 – B3; Sub-bacia ponto 4 – B4; Sub-bacia ponto 5 – B5 e Sub-bacia ponto 6 – B6. Como pode ser observado na Figura 2.

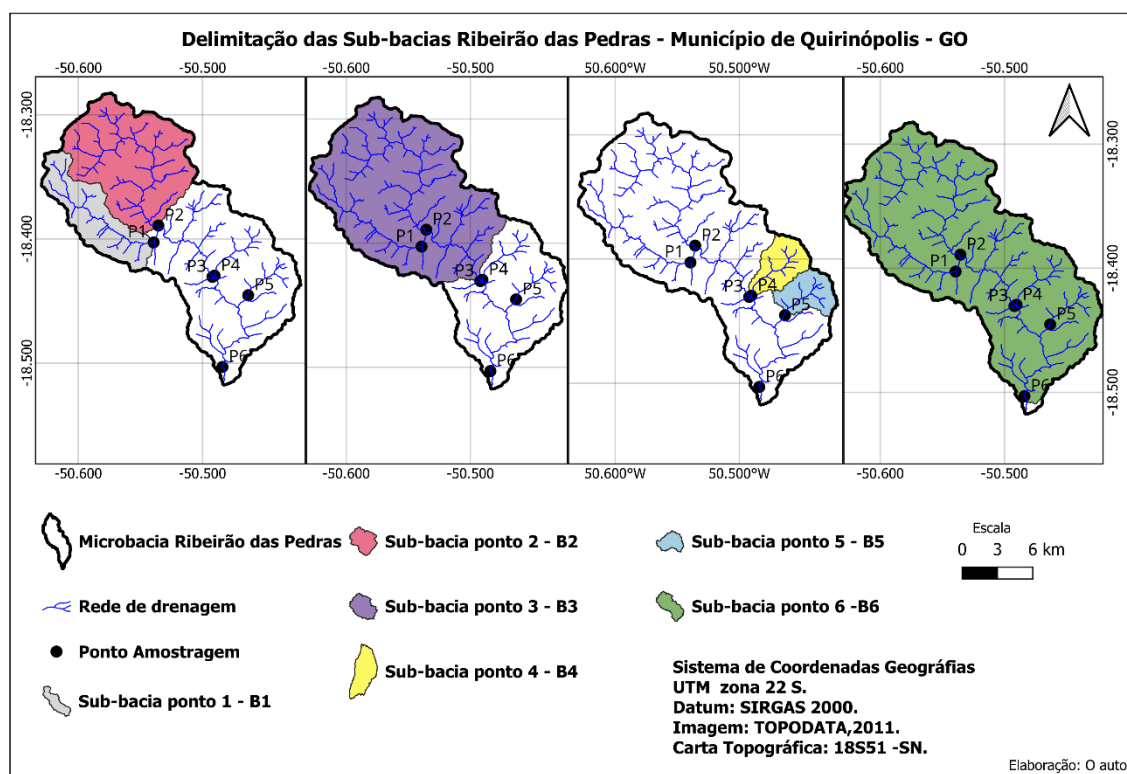


Figura 2: Mapeamento das sub-bacias Hidrográfica do Ribeirão das Pedras - Município de Quirinópolis – GO. Elaboração: O autor.

Através da classificação automática da rede de drenagem da Microbacia do Ribeirão das Pedras, foi determinado o ordenamento dos cursos d'água que desembocam no corpo d'água principal (sub-bacias) Figura 2. A análise revelou a presença de quatro ordens na microbacia em estudo, distribuídas entre os seis pontos de análise.

Comparando-se os dados descritivos das sub-bacias estudadas foi observado que área de drenagem das sub-bacias foram classificadas em três de 2ª ordem e três de 4ª ordem, respectivamente. Conforme classificação proposta por Strahler (1952), os rios de primeira ordem são aqueles que não recebem contribuições de outros cursos d'água, ou seja, surgem

diretamente de nascentes e deságuam em rios maiores, seguindo esse padrão para terceira e quarta ordem.

O ponto 6 foi identificado como possuindo a maior área de drenagem, cobrindo 260,415 km², representando 99,51% da drenagem total, devido à sua proximidade com o ponto de saída que deságua no Rio Preto e recebe todo o volume de água dos cursos superiores. Figura 2 – Ponto 6. Às áreas podem ser visualizadas na Tabela 6.

Tabela 6: Características das subáreas (sub-bacias) no Ribeirão das Pedras (BRP).

Sub-bacias	Ordem	Área (km ²)	Área (ha)	% da BRP
B1	4	88,769	8.876,89	33,92
B2	4	39,277	3.927,69	15,01
B3	4	172,744	17.274,41	66,00
B4	2	17,009	1.700,94	6,50
B5	3	15,254	1.525,49	5,83
B6	4	260,415	26.041,54	99,51
BRP		261,696	26.169,64	

Elaboração: O autor.

A Sub-bacia B1, referente ao ponto de coleta 1 destaca-se por ser excepcionalmente bem drenado, abrangendo 33,92% da área total da bacia do ribeirão das Pedras, devido à sua recepção de vários tributários e sua localização abaixo de terrenos planos e Suavemente ondulados, que pode ser observado na Figura 1F e 1G.

3.3 Declividade do terreno

A análise da declividade do terreno é crucial para avaliar as potenciais utilizações e ocupações do solo na região. Nota-se que a maioria das áreas na Microbacia do Ribeirão das Pedras apresenta declividades predominantemente planas, variando de 54,40% a 35,63%, e levemente onduladas, com variação de 40,18% a 35,63% do território (Tabela 7). É importante ressaltar que conforme a inclinação aumenta, a velocidade do fluxo de água tende a aumentar devido à gravidade local. Embora existam algumas áreas classificadas como escarpadas, representando apenas 0,03% da área da bacia, onde o fluxo de água é mais intenso devido à influência do relevo, o escoamento geralmente ocorre em velocidades relativamente baixas.

Tabela 7: Distribuição da área (ha) e % das classes de declividade nas sub-bacias Ribeirão das Pedras.

D*	Área	%	Área	%	Área	%	Área	%	Área	%	Área	%
----	------	---	------	---	------	---	------	---	------	---	------	---

	B1		B2		B3		B4		B5		B6	
1	1.824,58	46,45	3.622,23	40,8	7.840,06	45,38	749,32	44,50	829,97	54,40	12.689,21	48,98
2	1.399,38	35,63	3.367,77	37,94	6.314,05	36,55	623,04	37,00	617,52	40,18	9.513,06	36,72
3	452,82	11,53	1.147,37	12,92	1.913,09	11,07	164,66	9,78	68,70	4,50	2.336,95	9,02
4	234,7	5,98	605,29	6,82	998,1	5,78	119,29	7,08	7,92	0,52	1.125,45	4,34
5	16,29	0,41	128,83	1,45	201,91	1,17	26,93	1,60	1,43	0,09	231,3	0,89
6	0,089	0,00	5,94	0,07	8,07	0,05	0,62	0,04			8,77	0,03

D* = Declividade. 1: 0-3% (Plano); 2: 3 – 8% (Suavemente ondulado); 3: 8 – 20% (Ondulado); 4: 20 – 45% (Fortemente ondulado); 5: 45 – 75% (Montanhoso); 6: > 75% (Fortemente montanhoso)

Elaboração: O autor.

No levantamento das sub-bacias do Ribeirão das Pedras, destaca-se a sub-bacia B5, que é predominantemente plana a levemente ondulada. Essas características tornam a sub-bacia B5 favorável à prática agrícola, permitindo a utilização de métodos modernos como mecanização, irrigação e manejo eficiente de insumos. No entanto, áreas planas enfrentam desafios de drenagem, como acúmulo de água, inundações, baixa penetração no solo e erosão. É necessário implementar drenagem artificial para prevenir a saturação do solo durante chuvas intensas, o que dificulta o cultivo e pode provocar a proliferação de pragas e eutrofização. Além disso, terrenos mal drenados afetam a eficiência do maquinário agrícola e comprometem a produtividade.

3.4. Cálculos das vazões

Observa-se, por meio da Tabela 8, que apresenta as medições de vazão em seis pontos distintos em seis datas diferentes de 2023, bem como os valores médios, máximos e mínimos para cada ponto, que há uma maior tendência dos valores de vazão nas datas de 17/02, 21/04 e 14/12, correspondendo ao período de chuvas. Já nas demais datas de coleta, há uma diminuição da vazão, refletindo a sazonalidade das chuvas e, consequentemente, a redução da vazão.

Tabela 8: Vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) medida nos pontos de coleta de água, nas diferentes datas do ano de 2023, na bacia do Ribeirão das Pedras.

Data Coleta	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
17/02/2023	1,42	4,94	7,19	0,73	0,49	11,93
21/04/2023	0,75	0,91	1,90	0,37	0,97	5,61
30/06/2023	0,43	0,73	1,05	0,47	0,82	3,59
17/08/2023	0,25	0,25	0,60	0,13	0,75	1,65
18/10/2023	0,19	0,19	0,41	0,06	0,55	0,87
14/12/2023	0,15	0,16	0,46	0,08	0,18	1,01
Média	0,53	1,20	1,93	0,31	0,63	4,11
Máxima	1,42	4,94	7,19	0,73	0,97	11,93
Mínimo	0,15	0,16	0,41	0,06	0,18	0,87

Os dados de vazão entre fevereiro e dezembro de 2023, apresentados na Tabela 8, revelam que os maiores valores de vazão média de longo prazo foram observados nos pontos 3 e 6. Conforme mostrado na Figura 2, esses pontos estão situados em regiões de convergência de cursos de água a montante, em áreas com vegetação menos densa, caracterizadas por espaços abertos ou dispersos de vegetação e leitos mais profundos. O pico da vazão média mensal de longo prazo foi registrado em fevereiro, alcançando 7,19 m³/s no ponto 3 e 11,93 m³/s no ponto 6. Em contraste, as vazões médias mensais mais baixas foram observadas em outubro (0,06 m³/s) e dezembro (0,08 m³/s) no ponto 4, coincidindo com o final da estação seca, um período de escassez de chuvas e, portanto, associado a eventos de vazão mínima. A vazão específica (m³/s/km²) é essencial para avaliar a disponibilidade hídrica da região, considerando a vazão máxima do ponto 06 (exutório), que foi de 11,93 m³/s dividindo pela área total da microbacia 261,70 km² obtém-se 0,19 m³/s/km², procedendo da mesma forma, calculando para a vazão mínima do ponto 06, resulta em 0,003 m³/s/km². A amplitude observada no resultado permite avaliar a disponibilidade hídrica que é influenciada por topografia, solo, vegetação, clima e uso da terra. Sua medição precisa auxilia no planejamento e gestão dos recursos hídricos, garantindo a sustentabilidade econômica e a preservação ambiental.

3.5 Análises das variáveis físico-químicas da qualidade da água

Os valores resultantes de cada parâmetro físico-químico foram então comparados com os padrões estabelecidos pela legislação em vigor. Os parâmetros analisados incluíram condutividade elétrica, pH, turbidez e cor. Além disso, durante a coleta em campo, foram registrados dados como potencial de oxidação-redução e oxigênio dissolvido. Os detalhes dos resultados das análises são descritos a seguir:

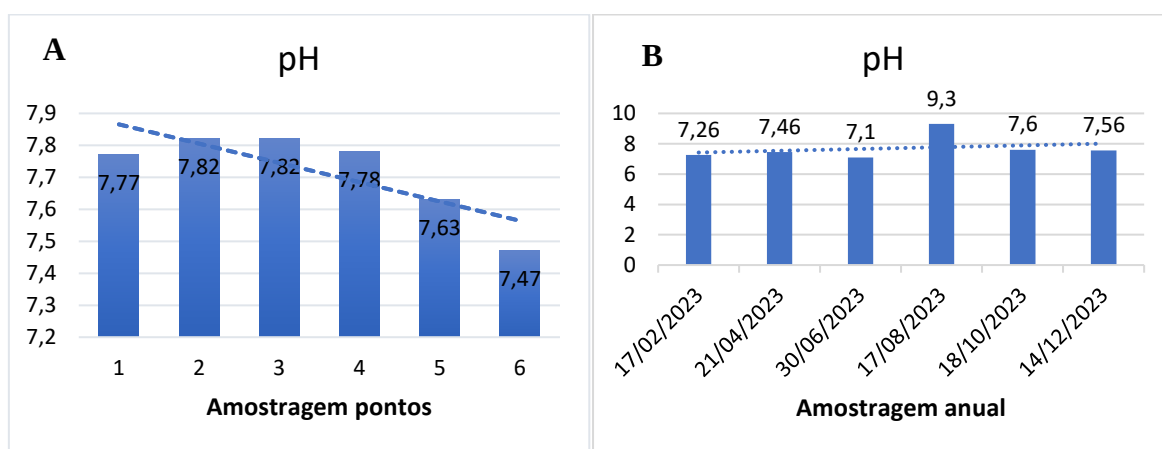
3.6 Potencial Hidrogeniônico (pH) da Água

A análise das amostras, que contém os valores médios da variável mensurada na Figura 3A, revelou variações significativas no pH, sugerindo problemas relacionados à qualidade da água do Ribeirão das Pedras. Durante as seis datas de coleta, o pH variou entre 7,47 como mínimo e 7,82 como máximo, permanecendo dentro dos padrões aceitáveis estabelecidos entre 6 e 9. O pH manteve-se dentro dessa faixa considerada aceitável, refletindo a concentração de íons de hidrogênio na solução aquosa, conforme mencionado

por Kowata et al. (2000). No entanto, a análise da Figura 3B revelou que apenas no dia 17/08/2023 houve uma pequena variação, com o pH atingindo 9,30, ainda dentro do padrão estabelecido para a Classe 2 pela Resolução CONAMA 357 de 2005, indicando um ambiente alcalino.

Esses resultados indicam que, embora o pH da água do Ribeirão das Pedras esteja, em geral, dentro dos padrões aceitáveis, é fundamental realizar um monitoramento contínuo para evitar variações que possam comprometer a qualidade da água. A elevação observada em agosto, quando o pH atingiu 9,3, pode ser explicada pelas condições quentes e secas típicas desse período. A evaporação intensa pode ter concentrado os solutos na água, resultando no aumento do pH.

Recomenda-se conduzir uma investigação detalhada para entender melhor essas variações, incluindo a realização de monitoramentos contínuos das condições ambientais e a análise das fontes potenciais de poluição. Além disso, é importante avaliar as variações sazonais que podem impactar a qualidade da água para implementar medidas eficazes de controle e preservação.



Figuras 3: Valores médios do pH da água para os pontos das coletas (A) e para as datas de coletas (B).

A análise da linha de tendência na Figura 3A revela uma redução progressiva nos valores de pH ao longo dos pontos de amostragem. Essa diminuição pode ser atribuída à localização dos pontos e ao fluxo do curso d'água, começando pelo Ponto 1, em uma área de nascentes, e avançando até os Pontos 5 e 6, onde há uma maior concentração urbana e o ponto de descarga da bacia.

As amostragens temporais, mostradas na Figura 3B, indicam um equilíbrio geral entre as variáveis. No entanto, em 17/08/2023, houve uma variação, com o pH alcançando 9,30, ligeiramente acima do padrão da Classe 2 estabelecido pela Resolução CONAMA 357

de 2005. Apesar disso, o valor ainda está dentro do intervalo aceitável, sugerindo um ambiente predominantemente alcalino.

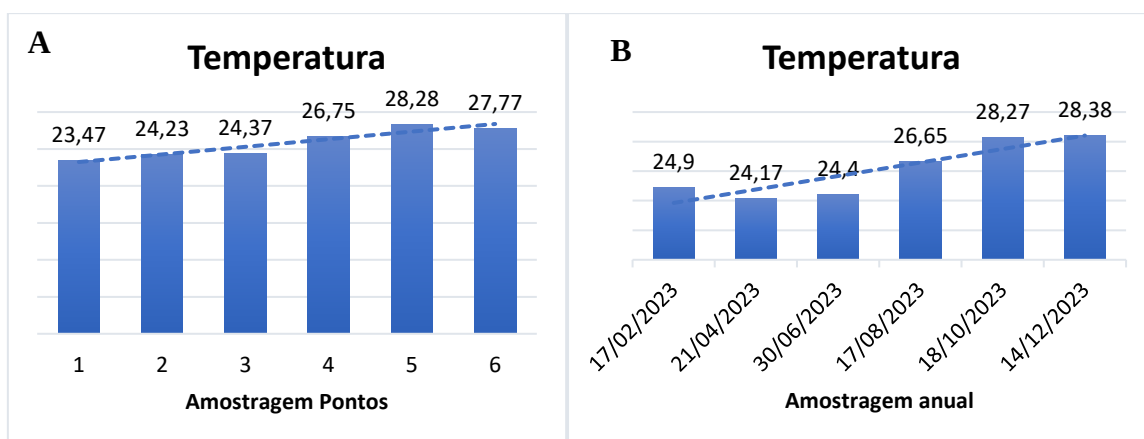
Paula (2011), em sua avaliação da qualidade da água e das condições ambientais do Ribeirão das Pedras, observou um aumento nos níveis de pH durante os períodos secos, variando entre 8,40 e 8,20. Esse aumento foi atribuído ao aumento do teor de matéria orgânica devido aos períodos de estiagem, o que reduz a quantidade de oxigênio dissolvido disponível na água do corpo hídrico. A autora também identificou outros fatores contribuintes, como características geológicas e pedológicas, especialmente relacionadas aos solos ácidos presentes em áreas dentro da bacia, como os Latossolos Roxo e Vermelho.

Um fator adicional relevante é a localização da Microbacia em áreas de agricultura intensiva, que pode resultar na lavagem de solos ricos em nutrientes, como fosfatos e carbonatos, para os corpos d'água, contribuindo para o aumento do pH.

3.7 Temperatura da água

Durante o período de observação, a temperatura da água variou entre 22,38°C a 33,4°C, com destaque para o ponto 05 com média de 28,28, onde as temperaturas mais altas foram registradas, Figura 4A. Esse ponto está localizado nas proximidades de bairros densamente construídos, como é o caso do Lago Municipal Sol Poente, localizado na área urbana de Quirinópolis. É importante ressaltar que a alta temperatura, ponto 05, no lago pode ser atribuído à maior área de exposição direta ao sol, o que aumenta a energia recebida e consequentemente eleva a temperatura. Em climas quentes e ensolarados, a radiação solar pode aquecer a superfície da água mais rapidamente, assim como em maior escala aos corpos hídricos que são sombreados pelas matas de galerias, e ou a vegetação da APP.

Ao analisar as temperaturas das amostras ao longo do ano conforme ilustrado na Figura 4B, é evidente um aumento gradual a partir de agosto, durante a estação da primavera, e continuando até dezembro, durante o verão.

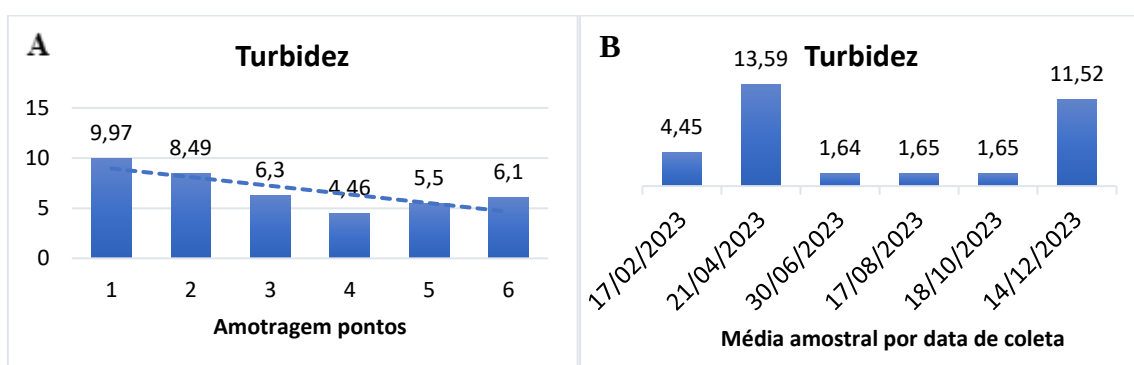


Figuras 4: Valores médios da temperatura (°C) da água para os pontos das coletas (A) e para as datas de coletas (B).

Além disso, foi observada uma notável semelhança entre os dados coletados no campo e as referências da Resolução CONAMA nº 357/05 (BRASIL, 2005), indicando que estão dentro da faixa considerada aceitável para água potável de acordo com as diretrizes gerais.

3.8 Turbidez

No estudo, o limite estabelecido para turbidez foi de 5,0 unidades (uT). No entanto, cabe salientar que na maioria dos pontos amostrados (Figura 5A) a Turbidez foi acima do estabelecido, conforme definido na resolução CONAMA nº 357/05, o que indica uma maior quantidade de materiais dispersos nos momentos de avaliação da água.



Figuras 5: Gráfico de turbidez (uT), dos parâmetros de qualidade de água, das amostras das coletas (A) e para as datas de coletas (B)

Nas áreas dos pontos 1 e 2, Figura 5A, a altitude é mais baixa, variando de 500 a 600 metros, e os solos são caracterizados como Latossolo Vermelho Distrófico (Lvd), com destinação para agricultura temporária e pastagens. Essa atividade agrícola envolve o uso de

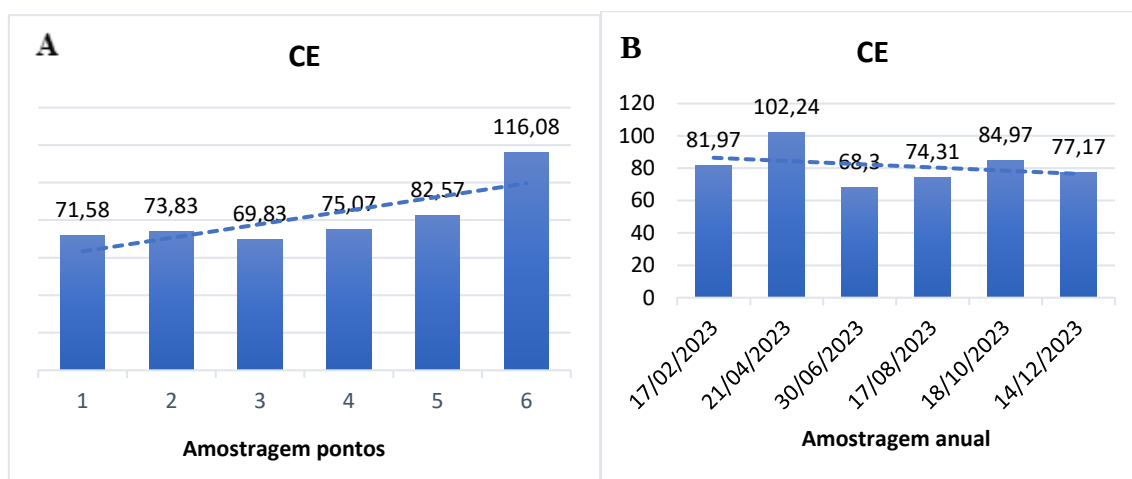
maquinário, resultando em alterações no solo e no transporte de materiais em suspensão para o ribeirão. Essas mudanças são evidenciadas pelos elevados valores das amostras, que variam de 5,50 a 9,97 uT, conforme mostrado na Figura 5B, e para os dias 21/04/2023 com 13,59 uT e 14/12/2023 com 11,52 uT, sugerindo uma possível degradação ambiental devido à presença de sólidos na água. De acordo com Igam (2008) a turbidez é a medida da interferência na passagem da luz pela água, resultando em sua aparência turva. Ela pode ser causada por partículas suspensas como rocha, argila, silte, algas, e microrganismos, ou por atividades humanas como despejos e erosão. Alta turbidez reduz a fotossíntese das plantas aquáticas, afetando seu crescimento e, conseqüentemente, a produtividade dos peixes, influenciando assim as comunidades biológicas aquáticas.

Dentre outras formas de impacto na alteração da Turbidez da água em mananciais, há no Boletim Agroclimatológico (2023, p.85), citado no item Cor que, pode-se sugerir ou atribuir a alteração brusca da Turbidez nos meses de abril e dezembro por ser subsequente a períodos chuvosos.

3.9 Condutividade Elétrica (CE) da Água

Neste estudo, foi adotado o índice da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como referência para a condutividade elétrica, onde valores acima desse limiar são considerados indicativos de alteração e possível impacto ambiental negativo. Foram identificados três padrões de comportamento da condutividade elétrica no Ribeirão das Pedras.

O primeiro padrão, conforme ilustrado na Figura 6A, revela uma condutividade elétrica máxima variando de 69,83 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no ponto 3 a 82,57 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no ponto 5, todos dentro do padrão aceitável. No entanto, o segundo padrão apresentou, no ponto 6, uma condutividade elétrica de 116,08 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando impacto ambiental. Esse aumento na condutividade elétrica no ponto 6 é atribuído à toda drenagem das sub-bacias a montante do Ribeirão das Pedras, resultando na carga de poluentes arrastados pelo escoamento superficial durante eventos de precipitação pluviométrica, somados à carga de poluentes do longo trecho de perímetro urbano.

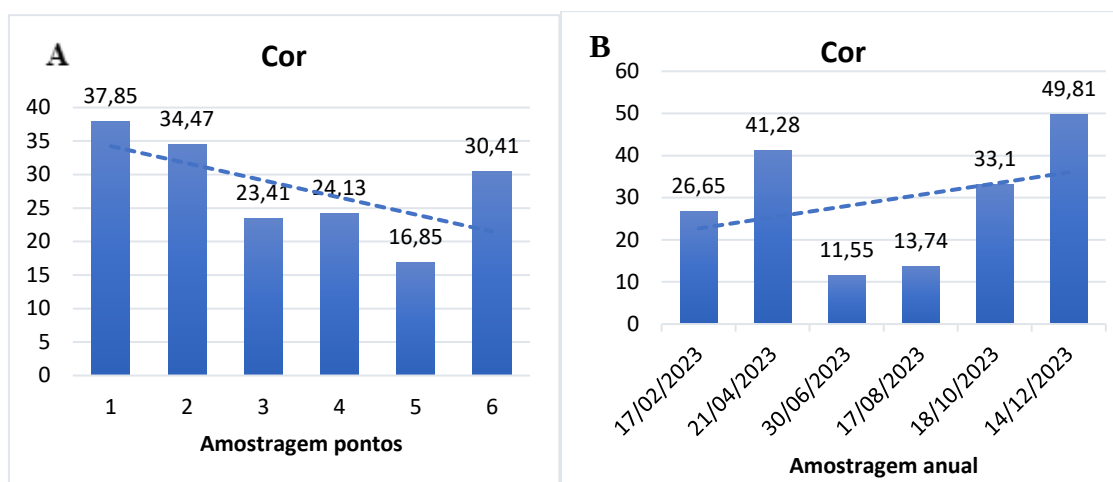


Figuras 6: Gráfico de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$), dos parâmetros de qualidade de água, nas coletas (A) e para as datas de coletas (B).

O terceiro padrão, em relação às amostras dos seis pontos temporais do período, conforme mostrado na Figura 6B, revelou, no dia 21/04/2023, uma tendência a indicadores de impacto ambiental. A condutividade elétrica está diretamente relacionada à concentração de sólidos dissolvidos iônicos e ao acúmulo de sais na água. Moura (2019) observou uma comparação entre os valores de condutividade encontrados na estação chuvosa e na estação seca. Foi notado um aumento na condutância da água, sugerindo uma maior quantidade de íons dissolvidos na água durante a estação chuvosa.

3.10 Cor

Segundo Leira (2017), a cor da água é determinada pela presença de substâncias em solução. Esta coloração pode ser atribuída à presença de ferro ou manganês, à decomposição da matéria orgânica, especialmente de origem vegetal, à presença de algas, ou à introdução de esgotos industriais e domésticos. Verificou-se, portanto, que há uma variação nos valores a esse parâmetro distribuídos aos pontos amostrados (Figura 7A), quanto as datas de coleta (Figura 8B)



Figuras 7: Gráfico de dos parâmetros de qualidade de água para Cor (uH), das amostras das coletas (A) e para as datas de coletas (B).

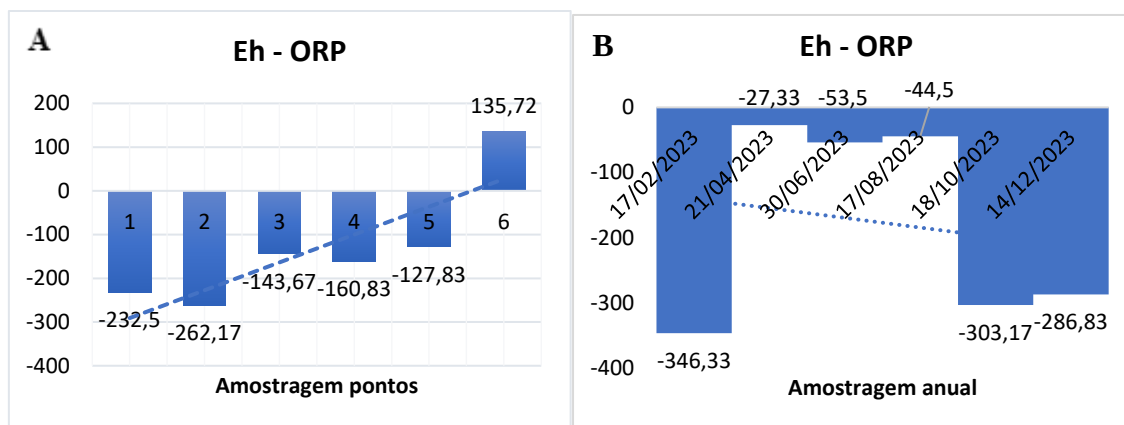
A Resolução CONAMA 357 de 2005 estabelece um limite máximo de 15 uH para a cor. No período analisado, a Cor verdadeira superou esse limite, com valores elevados nos pontos 1 (37,85 uH) e 2 (34,45 uH). O valor mais alto foi registrado em 14 de dezembro de 2023, e o mais baixo em 30 de junho de 2023. Apenas as amostras coletadas em 30/06 e 17/08 estavam dentro do limite permitido. Essa observação é respaldada por Vasconcelos et al. (2011), cujos estudos encontraram médias ainda mais elevadas, variando de 53,89 uH a 81,71 uH nos lagos Bolonha, Água Preta e rio Guamá. Esses resultados apontam para uma influência direta da turbidez da água nas variações da cor.

Segundo Boletim Agroclimatológico (2023), no mês de março de 2023 foram registrados acumulados de chuva significativos que ultrapassaram a média do mês e se concentraram em grande parte no Centro-Oeste, com exceção de áreas do sul do Mato Grosso do Sul, leste de Goiás e Distrito Federal, foram registrados acumulados de chuva maiores que 150 mm, o que explica os maiores índices obtidos nas datas avaliadas no período chuvoso.

3.11 Potencial Redox - Eh– ORP

Segundo Chapman (1996), as reações redox são essenciais em processos naturais e de tratamento de água. O potencial redox (Eh) é uma medida importante desse equilíbrio, influenciado por elementos como oxigênio, ferro e enxofre. Medido em milivolts (mV), indica condições de oxidação ou redução na água. Os valores variam de -500 a +700 mV em águas naturais, sendo +100 a +500 mV, com oxigênio dissolvido. Conforme destacado por Poletto (2007), o potencial redox é uma medida da intensidade de redução do ambiente, onde

valores mais baixos indicam uma maior concentração de substâncias reduzidas. Sendo assim, observa que há uma variação significativa nos valores de ORP tanto aos pontos coletados (Figura 8A), como as datas de coletas (8B).



Figuras 8: Gráfico dos parâmetros de qualidade de água para potencial redox – ORP (Mv), das amostras das coletas (A) e para as datas de coletas (B).

Os resultados de Eh indicam que os pontos de coleta de água superficial apresentaram valores negativos da média dos pontos coletados, variando de -127,83 mV a -232,5 mV. De acordo com Jardim (2014), em uma amostra de água natural com pH 7, o oxigênio é o principal receptor de elétrons quando o potencial redox medido está próximo de +400 mV ou acima disso. Quando o valor do potencial redox (EH) está entre +100 e +300 mV, todo o oxigênio já deve ter sido consumido, e os principais receptores de elétrons são, respectivamente, NO₃ (nitrato) e Mn⁴⁺ (manganês IV), resultando em nitrogênio e amônia como produtos principais, além de solubilização do manganês na forma de Mn²⁺. Em condições mais severas de anóxicas, variando de 0 a -300 mV, os receptores de elétrons são Fe³⁺ (ferro III), seguido por SO₄ (sulfato), e por fim, a matéria orgânica e CO₂, gerando íon ferro (II), sulfeto e metano como produtos de redução, respectivamente.

Isso sugere que a amostragem foi realizada em condições predominantemente anóxicas, embora algumas áreas possam ter condições menos anóxicas. Os valores médios de Eh negativos sugerem a presença de um líquido, solução, com propriedades antioxidantes, que pode fornecer íons de carga negativa, contribuindo para a energia celular e prolongando o ciclo de vida das células.

Vasconcellos (2015) conduziu um estudo ambiental, monitorando variáveis como potencial redox, oxigênio dissolvido, pH, temperatura e radiação solar em dois Sistemas Alagados Construídos (SAC). Um dos SACs foi plantado com *Typha latifolia* (Taboa), enquanto o outro permaneceu sem plantio, ambos com escoamento horizontal subsuperficial.

Os resultados indicaram um potencial redox negativo, caracterizando condições redutoras, ou seja, anaeróbicas, propícias ao crescimento de microrganismos fermentativos, metanogênicos e redutores de sulfato.

Embora os valores médios de potencial redox, observados na Microbacia Ribeirão das Pedras, tenham sido inferiores a -200 mV, sugerindo condições não totalmente anóxicas, os valores máximos observados indicam flutuações que podem atingir a faixa anóxica (-100 a +100 mV). No ponto 2 da Figura 8A, o Eh – ORP é de -262,17 mV. Este ponto está situado em uma área antropizada com erosão, decorrente da prática de agricultura intensiva. Há a presença de pequenas voçorocas e áreas de trânsito de gado com fim de dessedentação. Esse processo natural de desgaste do solo e das rochas pode ter causado impactos ambientais significativos, assim como verificado por alguns registros durante as coletas realizadas na área (Figura 8).



Figura 9: (A)



Figura 9:(B)

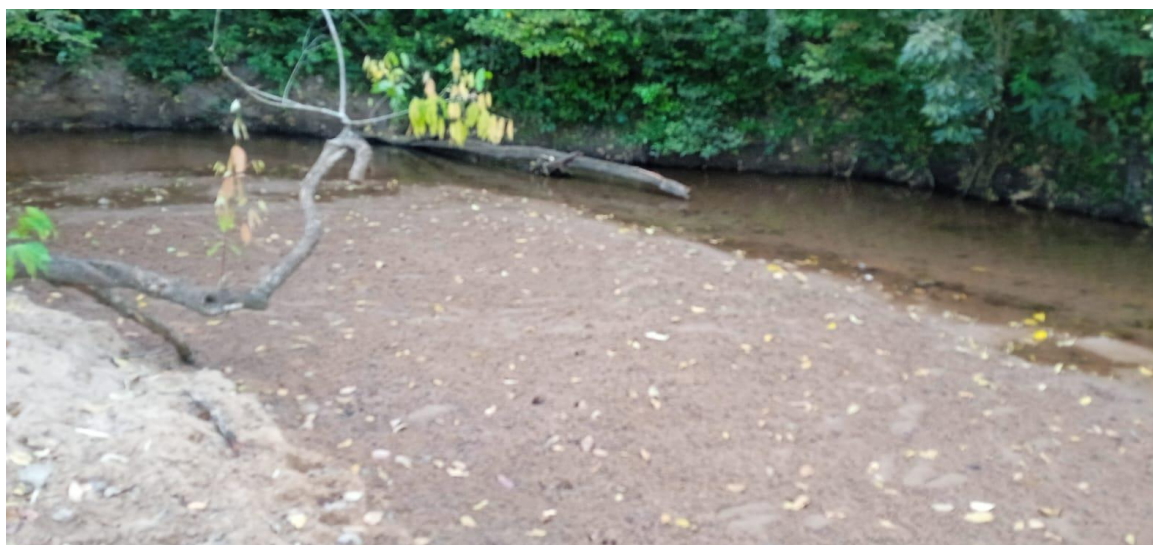


Figura 9: (C)

Figura 9: Erosão identificada nas proximidades e leito do Ribeirão das Pedras, localizada no ponto 2 das amostragens (A), Área com preparo do solo, para plantio convencional, Área acima do leito do ribeirão, na data da coleta 18/10/2023 (B), Margem do leito do córrego, evidenciando uma área com significativo acúmulo de sedimentos (C)

Fotos: O autor.

As figuras 9A, 9B e 9C ilustram o uso do solo, além das atividades observadas durante a coleta de dados em campo. A figura 9A retrata a situação das Áreas de Preservação Permanente (APP) do Ribeirão das Pedras, destacando a importância dessas áreas sensíveis. O problema ocorre devido ao gado que acessa a área para se dessedentar, criando trilhas que, com a ação das chuvas, transportam matéria orgânica e solo para o leito do rio. A figura 9B mostra a preparação do solo para o plantio convencional, uma prática preocupante devido ao uso inadequado do solo sem orientação técnica, o que pode levar à movimentação do solo dentro da faixa de APP, a menos de 30 metros do curso d'água. A figura 9C apresenta uma situação comum nas margens e no leito do córrego, evidenciando uma área com acúmulo significativo de sedimentos.

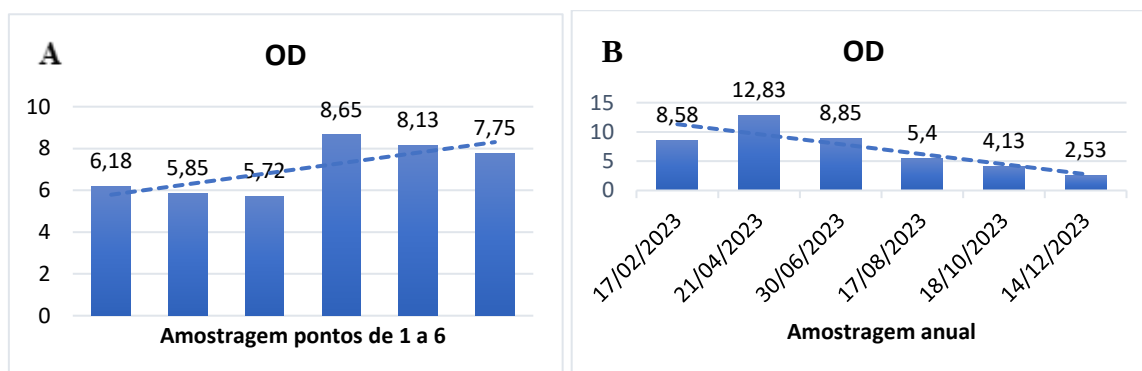
É essencial adotar medidas de controle ambiental neste local para mitigar a erosão e seus impactos, promovendo a sustentabilidade e a conservação do solo.

3.12 Oxigênio Dissolvido (OD – mg/L)

A análise da concentração de OD, conforme demonstrado nas Figuras 10A e 10B, revela uma certa uniformidade na distribuição espacial ao longo do perfil longitudinal do baixo curso do Ribeirão das Pedras. Os valores coletados variaram entre 5,72 mg/L e 8,65 mg/L ao longo da drenagem. Os valores mais baixos de OD foram registrados em

18/10/2023, com 4,13 mg/L, e em 14/12/2023, com apenas 2,53 mg/L, conforme descrito na Figura 10B. Esses números refletem a poluição por efluentes, observando-se também maiores valores de temperatura da água nos mesmos dias Figura 4, o que somado a outros fatores como baixa vazão Tabela 8, corroboram para a diminuição do OD na água superficial. Essas áreas são consideradas as mais críticas do segmento amostrado, e sugere-se que as atividades humanas na região sejam revisadas.

De acordo com De Paula (2012), em sua pesquisa sobre o fracionamento geoquímico do fósforo na água e nos sedimentos do Rio Corrente, na Bacia Hidrográfica do Parnaíba, no estado do Piauí, constatou-se uma concentração média de oxigênio dissolvido de 5,2 mg/L, o que representa uma saturação de 71%. Nas áreas alagadas (brejos) das cabeceiras da microbacia (pontos C1, C2 e C3), foram identificadas condições sub-óxicas, com concentrações inferiores a 3,0 mg/L. A presença de baixos níveis de oxigênio favorece a ocorrência de processos anaeróbicos, resultando na produção de uma grande quantidade de substâncias reduzidas, que, por sua vez, demandam mais oxigênio para serem oxidadas.



Figuras 10: Valores médios para Oxigênio dissolvido (OD) na água, das amostras das coletas (A) e para as datas de coletas (B).

3.13 Uso do solo na bacia

Na análise do uso e cobertura do solo no Ribeirão das Pedras para classificar as seis sub-bacias, foram identificadas diversas categorias de uso do solo, tais como Formação Florestal, Formação Savânica, Silvicultura, Campo Alagado área Pantanosa, Formação Campestre, Pastagem, Cana-de-açúcar, Mosaico de Usos, Área urbana, Outras Áreas não vegetadas, Rio, Lago e Oceano, Soja e Outras Lavouras Temporárias, conforme a Tabela 10, que apresenta as classes de uso, com os quantitativos de área (ha) e os valores percentuais de representatividade da classe na sub bacia.

Tabela 9: Quantitativos de classes de uso e cobertura do solo nas sub bacias da Microbacia Ribeirão das Pedras, no ano de 2022.

Classe	B1 (ha)	%B1	B2 (ha)	%B2	B3 (ha)	%B3	B4 (ha)	%B4	B5 (ha)	%B5	B6 (ha)	%B6
3	409,22	10,44	1.303,98	14,72	1.999,58	12,00	141,99	8,37	1.999,58	11,59	2.424,86	9,36
4	13,81	0,35	32,59	0,37	42,92	0,26	0,68	0,04	50,42	0,29	52,63	0,20
9	18,16	0,46	0,00	0,00	29,01	0,17	0,00	0,00	29,01	0,17	29,01	0,11
11	90,64	2,31	312,37	3,53	550,68	3,31	45,99	2,71	553,92	3,21	643,11	2,48
12	12,36	0,32	42,89	0,48	61,38	0,37	2,22	0,13	61,38	0,36	79,04	0,31
15	1.480,76	37,77	2.693,37	30,40	5.703,08	34,24	738,9	43,58	5.857,35	33,95	8.337,03	32,18
20	565,01	14,41	896,45	10,12	1.946,05	11,68	93,45	5,51	2.289,35	13,27	3.679,64	14,20
21	1.271,73	32,44	3.330,02	37,59	5.816,53	34,92	580,8	34,25	5.902,10	34,21	8.242,64	31,82
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.112,43	4,29
25	58,24	1,49	87,23	0,98	229,48	1,38	42,84	2,53	229,48	1,33	524,67	2,03
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94	0,01	0,26	0,02	0,94	0,01	17,07	0,07
39	0,00	0,00	17,69	0,20	95,47	0,57	21,15	1,25	98,11	0,57	493,75	1,91
41	0,6	0,015	143,05	1,61	182,74	1,10	27,32	1,61	182,83	1,06	271,17	1,05
Área	3920,53		8.859,64		16.657,86		1695,6		17.254,17		25.907,05	

Classes: 3 - Formação Florestal; 4 - Formação Savânica; 9- Silvicultura; 11- Campo Alagado área Pantanosa; 12 -Formação Campestre; 15 – Pastagem; 20 – Cana-de-açúcar; 21 - Mosaico de Usos; 24 Área urbana; 25 - Outras Áreas não vegetadas; 33- Rio, Lago e Oceano; 39 – Soja; 41- Outras Lavouras Temporárias.

B1: Sub-bacia 1; B2: Sub-bacia 2; B3: Sub-bacia 3; B4: Sub-bacia 4; B5: Sub-bacia 5; B6: Sub-bacia 6.

Elaboração: O autor.

A predominância de uso do solo nas sub-bacias foi para pastagem e mosaico de usos, como indicado na Tabela 9 (duas faixas em destacada amarelo). Na sub-bacia B4, por exemplo, uma área de 738,90 hectares, correspondendo a mais de 43,58% de sua extensão, é dedicada principalmente à pastagem, enquanto 580,80 hectares são usados para mosaico de usos, sendo 34,25% da área. Em conjunto, essas áreas agrícolas representam 77,83% da sub-bacia, indicando uma intensa conversão antrópica, com perda da vegetação nativa e predominância de atividades agrícolas e urbanas. Essa tendência é observada em todas as sub-bacias, não sendo exclusiva da B4.

Outro ponto relevante é a análise das áreas de formação florestal que incluem reservas legais e áreas de preservação permanente (APPs). Nenhuma das bacias estudadas cumpre totalmente as exigências legais. Considerando a extensão total da bacia de 26.169,64 hectares, uma reserva legal de 20% deveria abranger 5.233,92 hectares. No entanto, a análise revelou que a porcentagem dessas áreas varia de 8,37% a 14,72%, mesmo somando APPs e reservas legais, o que demonstra um descumprimento da legislação ambiental.

3.14 Correlações de Pearson de parâmetros de qualidade de água

Durante o período de coleta de água do Ribeirão das Pedras, ocorrido de fevereiro a dezembro, foram observadas correlações tanto positivas quanto negativas nos diferentes

períodos de amostragem, Tabela 10. Especificamente, foram identificadas: duas correlações fortemente positivas, seis correlações fortemente negativas, três correlações fracamente positivas, quatro correlações moderadamente negativas, cinco correlações moderadamente positivas e uma correlação positiva ínfima.

Tabela 10: Correlograma das variáveis limnológicas da qualidade de água, para os parâmetros: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica (CE), Cor, Eh (ORP), OD, Turbidez, e as Classes de uso e cobertura do solo das sub bacias, na Microbacia Ribeirão das Pedras, Quirinópolis – GO. 2023.

	pH	Temperatura	Turbidez	CE	Cor	ORP	OD
pH		-0,757	0,311	-0,95	0,156	-0,556	-0,532
Temperatura			-0,779	0,652	-0,666	0,755	0,872
Turbidez				-0,282	0,835	-0,82	-0,744
CE					0,004	0,445	0,433
Cor						-0,802	-0,536
ORP							0,595
OD							
3	0,322	-0,069	0,176	-0,280	0,186	-0,628	0,043
4	0,075	-0,089	0,481	-0,115	0,451	-0,669	0,096
9	-0,035	-0,164	0,446	-0,112	0,359	-0,205	0,126
11	0,330	0,197	-0,349	-0,315	-0,358	-0,163	0,224
12	-0,008	0,127	0,180	0,037	0,280	-0,546	0,243
15	0,395	-0,424	0,036	-0,451	-0,183	0,259	-0,419
20	-0,599	0,402	0,156	0,494	0,254	-0,045	0,520
21	0,627	-0,252	0,008	-0,538	-0,054	-0,480	-0,239
24	-0,859	0,469	-0,176	0,968	0,161	0,360	0,269
25	-0,182	-0,024	-0,235	0,225	-0,204	0,577	-0,208
33	-0,832	0,527	-0,364	0,924	-0,055	0,569	0,293
39	-0,667	0,490	-0,521	0,754	-0,279	0,707	0,214
41	0,147	0,135	-0,467	-0,017	-0,414	0,181	-0,115

Classes: 3 - Formação Florestal; 4 - Formação Savânica; 9- Silvicultura; 11- Campo Alagado área Pantanosa; 12 -Formação Campestre; 15 – Pastagem; 20 – Cana-de-açúcar; 21 - Mosaico de Usos; 24 Área urbana; 25 - Outras Áreas não vegetadas; 33- Rio, Lago e Oceano; 39 – Soja; 41- Outras Lavouras Temporárias.

Elaboração: O autor.

Fonte: Classificação segundo Santos, 2007.

A correlação forte positiva entre temperatura e oxigênio dissolvido (OD) ($r = 0,872$), bem como entre turbidez e cor ($r = 0,835$), conforme observado por Siste (2011), indica que, com o aumento da temperatura, o OD também tende a aumentar. Portanto, o OD tende a ser mais alto no verão e menor no inverno, com os maiores valores geralmente encontrados na superfície da água devido ao contato com a atmosfera e à fotossíntese das plantas aquáticas. Um aumento no OD é geralmente um indicador de boa qualidade da água, o que é benéfico para os ecossistemas aquáticos. No entanto, é importante considerar que a qualidade da água também depende de outros fatores além do OD.

Entretanto, conforme destacado por Sperling (1996), o aumento da temperatura também pode resultar em uma redução na solubilidade dos gases, como o oxigênio dissolvido, e uma elevação na taxa de reações químicas e biológicas, o que pode levar à liberação de gases com odores desagradáveis.

A correlação moderadamente positiva entre temperatura e CE sugere que um aumento na temperatura está relacionado a um aumento na CE, possivelmente devido à dissolução de minerais presentes nas rochas, como afirmado por Montovani (2021), que indicou um aumento de 2% na condutividade elétrica para cada aumento de 1°C na temperatura da solução aquosa. Para Turbidez x Cor ($r = 0,835$), obteve-se uma correlação forte positiva, o que indica que o aumento na turbidez está associado a um aumento na cor da água. Isso sugere que partículas em suspensão na água podem contribuir para uma maior refletância de luz, resultando em uma coloração mais intensa.

Para entender a correlação do pH x Temperatura do estudo, primeiro vamos compreender o comportamento encontrado. De acordo com a CETESB (2018) como o pH é uma medida que indica o grau de acidez ou alcalinidade da água, onde 7 é considerado neutro; valores acima de 7 (até 14) indicam alcalinidade crescente, enquanto valores abaixo de 7 (até 0) indicam aumento da acidez do meio. Isso, pH 7, sugere ausência ou baixa quantidade de CO₂ livre na água nessa faixa de pH.

De acordo com a fonte citada, os valores de pH observados no estudo variaram de 7,47 a 7,82, indicando que a água é tendente a neutra. A ausência significativa de CO₂ livre sugere que, dentro dessa faixa de pH, havia pouca quantidade de dióxido de carbono dissolvido na água.

Além disso, a correlação entre pH e temperatura foi encontrada como negativa ($r = -0,757$), indicando que, à medida que a temperatura aumenta, o pH tende a diminuir. Esse valor de correlação sugere uma relação inversa entre as duas variáveis, onde o aumento da temperatura está associado a uma diminuição no pH da água. A correlação entre temperatura e turbidez ($r = -0,779$), indica que um aumento na temperatura está associado a uma redução na turbidez, e vice-versa. Estudos conduzidos por Oliveira (2014) demonstram uma correlação entre a qualidade da água e a variação na precipitação, especialmente durante períodos chuvosos, quando tanto a cor quanto a turbidez tendem a aumentar, devido ao carreamento de substâncias ao longo do curso de água. Esses parâmetros são cruciais, pois, se deterioradas as substâncias, podem comprometer as condições sanitárias, afetando o abastecimento de água e aumentando os custos de tratamento.

O pH básico da água na bacia, com baixa concentração de H^+ ($r = -0,950$), influencia negativamente na condutividade elétrica (CE), indicando uma forte correlação inversa entre pH e CE: quando o pH aumenta, a CE diminui.

Quanto à correlação entre cor e Eh-ORP ($r = -0,802$), um aumento na cor influencia em um ORP negativo, indicando um potencial de redução na solução, ou seja, a água tem uma tendência a doar elétrons. No entanto, é importante notar que a redução de metais pesados pode não ser totalmente benéfica, pois sua deposição no sedimento pode liberá-los novamente na forma solúvel em condições oxidantes, representando um risco potencial para a água e a vida aquática.

Observou-se também um aumento na turbidez no estudo, resultando em uma redução no oxigênio dissolvido (OD). A alta turbidez, causada por partículas em suspensão como sedimentos e matéria orgânica, pode levar à decomposição dessas partículas no fundo de corpos d'água. Durante esse processo, os microorganismos consomem oxigênio, diminuindo a quantidade de oxigênio dissolvido na água, o que pode prejudicar a vida aquática.

Esses resultados destacam a complexidade das interações entre os diferentes parâmetros da água e a importância de compreendê-las para a gestão e preservação dos recursos hídricos. Reduzir a deposição de metais pesados e monitorar a qualidade da água são essenciais para proteger a saúde dos ecossistemas aquáticos e garantir o acesso a água potável.

Para a correlação entre o uso do solo e o pH, conforme apresentado na Tabela 10 (item 24 para urbanização e item 33 para Rio, Lago e Oceano), os valores de $r = -0,859$ e $r = -0,832$ indicam uma forte correlação negativa. Isso confirma que, à medida que a urbanização aumenta, os níveis de pH nas áreas de Rio, Lago e Oceano tendem a diminuir significativamente. Este efeito pode ser atribuído às atividades urbanas, como poluição e descarga de resíduos, que têm impacto negativo sobre o pH dessas áreas aquáticas.

Por outro lado, em relação à condutividade elétrica (CE), observou-se o oposto: o uso do solo para o item 24 (urbanização) e item 33 (Rio, Lago e Oceano) apresentou uma forte correlação positiva ($r = 0,968$ e $r = 0,924$). A condutividade elétrica é comumente usada como indicador de salinidade ou concentração de íons dissolvidos na água. A urbanização pode aumentar o escoamento superficial e o transporte de poluentes, resultando em maior CE nessas áreas.

Essas correlações evidenciam como diferentes usos do solo podem impactar características químicas significativas das águas, afetando o pH e a condutividade elétrica

nos rios. A influência da cana-de-açúcar e da pastagem revelou correlações moderadamente positivas e negativas para pH, OD e temperatura. Para a cana-de-açúcar, foram observadas correlações moderadas negativas com o pH ($r = -0,599$) e moderadas positivas com OD ($r = 0,520$) e temperatura ($r = 0,420$). Para a pastagem, as correlações foram moderadas positivas com pH ($r = 0,395$) e moderadas negativas com OD ($r = -0,419$) e temperatura ($r = -0,424$).

Essas correlações são principalmente atribuídas às práticas agrícolas associadas à cana-de-açúcar e à pastagem. Na cultura da cana-de-açúcar, o pH do solo pode ser reduzido devido ao uso de fertilizantes ácidos ou práticas específicas de manejo. A presença de cana-de-açúcar pode beneficiar o OD na água, devido à menor carga de nutrientes ou matéria orgânica nos corpos d'água próximos. Além disso, a intensa atividade agrícola pode gerar calor adicional ou modificar o microclima, afetando diretamente a temperatura da água.

Por outro lado, na pastagem, o pH pode aumentar devido à aplicação de calcário no solo ou à liberação natural de carbonatos. No entanto, a pastagem pode reduzir o oxigênio dissolvido (OD) na água próxima devido à lixiviação de nutrientes e matéria orgânica para os corpos d'água. Além disso, o sombreamento parcial proporcionado pela pastagem pode resultar em temperaturas mais baixas na água.

A formação florestal apresenta uma correlação fraca positiva com o pH ($r = 0,322$), indicando uma leve relação direta entre a presença de vegetação florestal e o pH da água. A bacia tem uma área total de 26.169,64 hectares, com a vegetação cobrindo entre 8,37% e 14,72% dessa área, o que sugere que a bacia é predominantemente utilizada para agropecuária.

Por fim, a integração de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, juntamente com avaliações e amostragens locais, possibilitou a análise detalhada da bacia e a identificação de parâmetros importantes para a gestão da qualidade e quantidade da água. Essas abordagens auxiliam na implementação de medidas para mitigar a degradação hídrica. É importante ressaltar que os dados obtidos estão relacionados à posição estabelecida pelo exutório da Microbacia Ribeirão das Pedras. Há necessidade de realizar levantamentos intermitentes in loco para manter um monitoramento efetivo e obter dados mais precisos, garantindo maior segurança na oferta de recursos hídricos ao município de Quirinópolis.

Nesse contexto, o estudo sobre o uso de geoprocessamento para avaliar a qualidade e quantidade da água na Microbacia do Ribeirão das Pedras fornece importantes contribuições. Ele oferece parâmetros relevantes para a sociedade, ajudando na tomada de decisões mais assertivas, promovendo o uso sustentável dos recursos hídricos, mitigando

desastres naturais, orientando o planejamento territorial e supervisionando a gestão ambiental.

4 CONCLUSÃO

A análise dos parâmetros de qualidade da água no Ribeirão das Pedras revelou tendências e variações significativas, refletindo a interação complexa entre fatores naturais e impactos antropogênicos na bacia hidrográfica. Os seis pontos de análise mostraram que as sub-bacias de quarta ordem abrangem a maior área territorial, totalizando quatro, enquanto uma sub-bacia foi categorizada como de segunda e terceira ordens. O ponto seis destacou-se por ter a maior área de drenagem, representando 99,51% da drenagem total, devido à sua localização próxima ao ponto de saída que deságua no Rio Preto.

A vazão média foi mais elevada nos pontos de convergência dos cursos de água e nas áreas menos vegetadas, com um pico em fevereiro e valores mínimos no fim da estação seca. O pH variou de 7,47 a 7,82, com uma exceção em agosto, quando alcançou 9,30, sugerindo um ambiente alcalino possivelmente devido a práticas agrícolas intensivas e períodos secos.

A temperatura da água variou de 22,38°C a 33,4°C, com maiores valores em áreas urbanas, e apresentou um aumento gradual ao longo do ano. A turbidez frequentemente excedeu o limite da resolução CONAMA, indicando a presença de sólidos em suspensão, especialmente em áreas agrícolas e com erosão. A condutividade elétrica mostrou variações significativas, com alguns pontos excedendo o padrão aceitável, e a cor da água superou o limite em vários pontos, refletindo a presença de matéria orgânica e sedimentos.

O potencial redox (Eh–ORP) foram predominantemente negativos, sugerindo condições redutoras ou anóxicas, enquanto a concentração de oxigênio dissolvido variou de 2,53 mg/L a 8,65 mg/L, com valores mais baixos associados a condições de poluição e alta temperatura. A análise do uso do solo revelou uma predominância de áreas agrícolas, que ocupam mais de 77,83% da área total das sub-bacias, com uma conversão significativa de áreas naturais para usos antropogênicos. As reservas legais e Áreas de Preservação Permanente (APPs) estão aquém das exigências legais, comprometendo a conservação ambiental.

As correlações entre os parâmetros mostraram interações complexas, como a correlação positiva entre temperatura e oxigênio dissolvido, e entre turbidez e cor, além da correlação negativa entre pH e condutividade elétrica. Esses resultados destacam a influência das práticas de uso do solo e das condições ambientais na qualidade da água.

Em conclusão, a análise dos parâmetros de qualidade da água no Ribeirão das Pedras revela a necessidade urgente de uma gestão integrada dos recursos hídricos. É crucial preservar as áreas naturais, controlar as atividades agrícolas e urbanas, e implementar medidas para reduzir a poluição. A restauração da vegetação nativa e o monitoramento contínuo dos parâmetros de qualidade da água são essenciais para garantir a sustentabilidade e a qualidade da água na região. Ações eficazes e sustentáveis são fundamentais para proteger a saúde ecológica e o bem-estar das comunidades que dependem desse recurso vital.

5 REFERÊNCIAS

BERMUDEZ-EDO, M.; BARNAGHI, P.; MOESSNER, K. Analysing real world data streams with spatio-temporal correlations: Entropy vs Pearson correlation. *Automation in Construction*, **Maryland**, v.88, p.87-100, 2018.

CASTILHOS, Z. C. et al. Metodologia para o monitoramento da qualidade das águas da Bacia Carbonífera Sul Catarinense: **Ferramenta para gestão em poluição ambiental**. 2010.

CETESB - Qualidade das Águas Doces no Estado de São Paulo. Apêndice E - **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade**. 2011. Disponível < <https://cetesb.sp.gov.br/>> Acesso em: 11 de março de 2024.

CETESB. **Apostila de Investigação de Mortandade de Peixes**, 1997. Disponível < <https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/referencias/bibliograficas/>> Acesso em: 22 de abril de 2024.

CHAPMAN, D., Ed. *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. Great Britain: **F & FN Spon**, p.651, 2a. ed., 1996.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (2005). **Resolução nº 357 - 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 12 de março 2023.

DE PAULA Filho, F. J., de MOURA, M. C. S., & MARINS, R. Fracionamento geoquímico do fósforo em água e sedimentos do Rio Corrente, Bacia Hidrográfica do Parnaíba/PI. **Revista Virtual de Química**, 4(6), 623-640, 2012.

DONADIO, N. M. M., GALBIATTI, J. A., & PAULA, R. C. de. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia Hidrográfica do córrego rico, São Paulo, Brasil. **Engenharia Agrícola**, 25(1), p.115–125, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-69162005000100013>>. Acesso em: 11.03.2024.

EMBRAPA, Solos. Valores e critérios estabelecidos dos parâmetros relacionados ao solo e à qualidade e custo de captação da água para irrigação utilizados no SiBCTI / Silvio

Roberto de Lucena Tavares ... [et al.]. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2021. p14, 2021. (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 227).

GERAIS, Minas. Instituto Mineiro de Gestão das Águas–Igam. Glossário de Termos: gestão de recursos hídricos e meio ambiente. Belo Horizonte: **Igam**, 2008.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS Boletim Agroclimatológico / Instituto Nacional de Meteorologia. v.58 n. 04. Brasília: **Inmet**, 2023. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/>. Acesso em: 11 de março de 2024. ISSN: 2447-5203 Publicação Mensal.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Imagem de satélite LANDSAT 8 e SRTM. Disponível em: <<http://www.inpe.br/>>. Acesso em: 16 novembro de 2022.

KOWATA, E. A., RIBEIRO, J. T., & TELLES, D. Estudo da influência da turbidez e cor declinantes sobre a coagulação de água de abastecimento no mecanismo de adsorção neutralização de cargas. **2º Simpósio de Iniciação Científica e Tecnologia e IX Expo-Edif**, São Paulo.2000.

LEIRA, M. H., CUNHA, L. D., BRAZ, M. S., MELO, C. C. V., BOTELHO, H. A., & Reghim, L. S. Qualidade da água e seu uso em pisciculturas. **Pubvet**, 11(1), 11-17,2017.

LIRA, S.; CHAVES NETO, A. Coeficientes de correlação para variáveis ordinárias e dicotômicas derivados do coeficiente linear de Pearson. **Ciência e Engenharia**, v. 15, não. 1/2, p. 45-53, 2006.

LUÍZ, Â. M. E., PINTO, M. L. C.; OLIVEIRA S. de, E. W. Parâmetros de cor e turbidez como indicadores de impactos resultantes do uso do solo, na bacia Hidrográfica do rio Taquaral, São Mateus do Sul-PR. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, 24, 2012.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias Hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável**, v. 4, p. 33-38, 2002.

MONTOVANI, C. P. Condutividade elétrica e cloretos como indicador da qualidade de água. **Repositorio.unicamp.br**. (Doctoral dissertation, [sn]),2021.

MOURA, A. V., da SILVA, P. G. F., DAS VIRGES, C. S., SOARES, A. P. A., & dO REGO, E. L. Avaliação da qualidade da água no Rio Grande no segmento entre estação de tratamento de esgoto do município de Barreiras–BA. **Águas Subterrâneas**, v.33, n.2, p.xx-xx, 2019.

OLIVEIRA, B. S. S. D., & CUNHA, A. C. D. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. **Revista Ambiente & Água**, v.9, p.261-275, 2014.

PALHARES, J. C. P., RAMOS, C., KLEIN, J. B., de LIMA, J. C. M. M., MULLER, S., & CESTONARO, T. Medição da vazão em rios pelo método do flutuador.2007.

PAULA, M. M. Analysis of water and environmental conditions on Ribeirão das Pedras basin, Quirinópolis/GO. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas) - **Universidade Federal de Goiás, Goiânia**, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/350>> . Acesso em 22 agosto. 2023.

PEREIRA, G. A.; OLIVEIRA, G. H.; & Pinto, A. L. Avaliação da eficiência da utilização do oxigênio dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da bacia do córrego Bom Jardim, Brasilândia/MS. **Revista Geomae**, 1(1), p. 69-82, 2010.

PLANO, Municipal, Saneamento, Básico, PMSB, Quirinópolis, GO, 2018. Disponível em: <https://sapl.quirinopolis.go.leg.br/> Acesso em: 8 fevereiro de 2024.

POLETO, C. Fontes potenciais e qualidade dos sedimentos fluviais em suspensão em ambiente urbano. 2007.

RODRIGUES, F. H., COELHO, J. M., DOS SANTOS, F. S. M., DO AMARAL, A. M. C., & ZAINE, J. E. Avaliação da possibilidade de erosão natural e induzida na bacia Hidrográfica do ribeirão das pedras, Quirinópolis (GO). **Geosciences= Geociências**, 33(2), 339-359, 2014.

SANTOS, C. Estatística Descritiva-manual de autoaprendizagem. Lisboa: **Edições Sílabo**, 2007.

STRAHLER, A. N. Análise Hipsométrica (área-altitude) da topografia erosiva. **Boletim da Sociedade Geológica da América**, v. 11, p. 1117-1142, 1952.

VALERIANO, M. de M. TOPODATA: Guia de utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos: **INPE**, 2008.

VANZELA, L., HERNANDEZ, F. B., & FRANCO, R. A. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marínópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14, 55-64, 2010.

RABELO, Clarisse Guimarães et al. Influência do uso do solo na qualidade da água no bioma Cerrado: um estudo comparativo entre bacias Hidrográficas no Estado de Goiás, Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n. 2, p. 172-187, 2009.

VASCONCELOS, V. de M. M.; SOUZA, C. F. Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil. **Ambiente e Água, Taubaté**, v. 6, n. 2, p. 305-324, 2011. (doi:10.4136/ambiagua.202).

VASCONCELLOS, G. R. Avaliação das condições de oxirredução em sistema alagado construído de escoamento horizontal subsuperficial. 2015.

Capítulo 3 - ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA MICROBACIA RIBEIRÃO DAS PEDRAS, QUIRINÓPOLIS - GO

RESUMO

A análise da vulnerabilidade ambiental é crucial para identificar regiões com alta vulnerabilidade e seus potenciais, visando orientar ações futuras e estudos adicionais que contribuam para o planejamento mais eficaz da microbacia e o aprimoramento da qualidade de seus recursos naturais. Por isso, o objetivo desta pesquisa é avaliar a vulnerabilidade ambiental do Ribeirão das Pedras, localizado no município de Quirinópolis – GO. Através do geoprocessamento, foi possível diagnosticar os locais mais vulneráveis, utilizando mapas temáticos das características físicas, como uso do solo, tipo de solo, declividade e moradias, cruzando essas variáveis, atribuindo pesos às suas características. A metodologia empregada, baseada em Tricart (1977) e Ross (1994), integrada a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitiu avaliar qualitativa e quantitativamente as áreas e suas respectivas classes de vulnerabilidade. Os resultados revelam um alto grau de fragilidade ambiental em quase 69,56% da área total da bacia, principalmente devido ao uso agrícola e agropecuário das terras. A declividade do terreno, sugere uma alta aptidão agrícola na bacia em uma área de 67,19% da área total, mas também traz o risco de impactos negativos devido a má gestão nos tratos do solo e aplicação de insumos nas lavouras e pastagens. As habitações exercem uma influência significativa, correspondendo a 62,94% da área total da microbacia, com a maioria das áreas urbanizadas e/ou ocupadas com habitação e concentradas no interior da bacia. Em geral, a bacia apresenta um nível de vulnerabilidade forte, indicando a necessidade de ações para mitigar os impactos negativos e promover o uso sustentável dos recursos naturais.

Palavras-chave: SIG, Classes de solo, uso e cobertura do solo, declividade do terreno, moradias.

ABSTRACT

The analysis of environmental vulnerability is crucial for identifying regions with high vulnerability and their potentials, aiming to guide future actions and additional studies that contribute to more effective planning of the watershed and the enhancement of its natural resources' quality. Therefore, the main objective of this research is to assess the environmental vulnerability of Ribeirão das Pedras, located in the municipality of Quirinópolis – GO. Through geoprocessing, it was possible to diagnose the most vulnerable locations using thematic maps of physical characteristics such as land use, soil type, slope, and housing, by cross-referencing these variables and assigning weights to their characteristics. The methodology employed, based on Tricart (1977) and Ross (1994), integrated with a Geographic Information System (GIS), allowed for qualitative and quantitative evaluation of the areas and their respective vulnerability classes. The results reveal a high degree of environmental fragility in almost 69.56% of the total area of the basin, mainly due to agricultural and livestock land use. The slope of the terrain, which represents 67.19% of the total area, suggests high agricultural suitability in the basin, but also brings the risk of negative impacts due to poor soil management and input application in crops and pastures. The main soil categories face challenges such as erosion, compaction,

and potential contaminations. Housing exerts a significant influence, accounting for 62.94% of the total area of the watershed, with the majority of urbanized areas concentrated within the basin. Overall, the basin exhibits a strong level of vulnerability, indicating the need for actions to mitigate negative impacts and promote sustainable use of natural resources.

Keywords: GIS, Soil classes, land use and coverage, land slope, housing.

1 INTRODUÇÃO

As características que contribuem para a susceptibilidade erosiva de uma bacia Hidrográfica abrangem uma série de fatores, como desmatamento, agricultura intensiva, urbanização, mineração, assoreamento, mudanças climáticas e despejo de resíduos. Esses elementos resultam na erosão do solo, na contaminação da água, na perda de habitats e em alterações nos cursos d'água, impactando adversamente o meio ambiente e a sociedade. A necessidade de avaliar a gestão atual da água intensifica o debate sobre a implementação de políticas públicas e iniciativas sociais destinadas a promover uma administração mais responsável e sustentável dos recursos hídricos. Tundisi (2015), analisa a importância de reconhecer a interdependência e as múltiplas interações ecológicas, econômicas e sociais na crise hídrica. Isso significa entender que a escassez de água não é apenas um problema isolado, mas está ligada a uma série de fatores interligados, como o meio ambiente, a economia e a sociedade.

As causas de degradação, têm impacto direto no solo, causando erosão e aumentando o escoamento superficial e a carga de poluentes nos corpos d'água. Frequentemente, essas causas estão interligadas, amplificando os efeitos negativos sobre o meio ambiente e a sociedade. Uma forma de avaliação da degradação é o mapeamento ambiental. Souza (2019), destaca que, mapeamento da fragilidade ambiental possibilita uma ampla gama de opções e a identificação de áreas frágeis, suscetíveis a riscos e que demandam maior atenção por parte dos gestores. O uso inadequado dessas áreas pode resultar em sérios comprometimentos para todo o sistema ambiental.

A avaliação qualitativa e quantitativa de sustentabilidade, vulnerabilidade e riscos ambientais, são importantes ferramentas para análises ambientais. Aquino et al. (2017), destaca a importância de utilizar ferramentas como a tecnologia de georreferenciamento na análise da crise hídrica. Essa tecnologia permite mapear e identificar regiões que são mais vulneráveis à escassez de água, auxiliando na identificação de áreas com maior fragilidade.

Com o auxílio de geotecnologias, o uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) é essencial para a gestão ambiental, permitindo a análise detalhada de dados

geoespaciais e facilitando a identificação de áreas vulneráveis e a tomada de decisões informadas sobre o uso da terra e a conservação dos recursos naturais. Para Belato (2019) os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) simplificam a execução de tarefas complexas, já que possibilitam a integração de vastos conjuntos de dados cartográficos de naturezas e escalas diversas, incluindo vetores em *shapefile*, imagens de sensores remotos, imagens fotogramétricas, dados topográficos, dados primários e secundários, entre outros.

Rivas et al. (2016) destaca que as metodologias de análise multicritério são fundamentais como ferramentas de apoio à tomada de decisões, auxiliando na identificação e avaliação dos riscos com maior impacto para uma organização. Além de oferecer suporte matemático, essas técnicas permitem uma compreensão adequada do problema, a avaliação das alternativas com base em diversos critérios, levando em consideração as preferências dos tomadores de decisão, e facilitam a análise e discussão dos resultados.

Com base no exposto, o objetivo deste estudo é realizar uma análise da vulnerabilidade ambiental na Microbacia do Ribeirão das Pedras, por meio do uso do geoprocessamento à vulnerabilidade da paisagem por meio multicritérios.

2 MATERIAL E METODOS

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica em livros, periódicos, tanto em formato analógico quanto digital, que tratam da temática da degradação ambiental nas bacias Hidrográficas, a metodologia de análise multicritério e as diversas aplicações das geotecnologias.

2.1 Local da área de estudo

A região da Microbacia Ribeirão das Pedras (Figura 1), está localizada na parte central do município de Quirinópolis, que faz parte do planalto norte da bacia do Paraná, mais precisamente no planalto inferior dessa mesma bacia. De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico - PMSB (2018), sua geomorfologia é caracterizada por superfícies tabulares e lisas, com ondulações suaves. O planalto norte da bacia do Paraná possui uma topografia influenciada pelo histórico tectônico da região, juntamente com a erodibilidade das camadas sedimentares da bacia. Já no planalto inferior da bacia do Paraná, as formas predominantemente tabulares são resultado de fluxos basálticos da formação Serra Geral, resultando em uma paisagem marcada por amplas confluências, com a maioria das

encostas direcionadas para o rio Paranaíba, e uma homogeneidade paisagística devido às características denotativas presentes na região.

Em relação ao clima, as características são semelhantes às observadas em todo o estado de Goiás, com menor incidência de chuvas durante os meses de inverno (junho a setembro) e maiores precipitações registradas durante os meses de verão (outubro a março). Quanto à vegetação, a área abrange dois biomas principais: Mata Atlântica e Cerrado, com uma diversidade de formações florestais, savânicas e campestres, incluindo Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão.

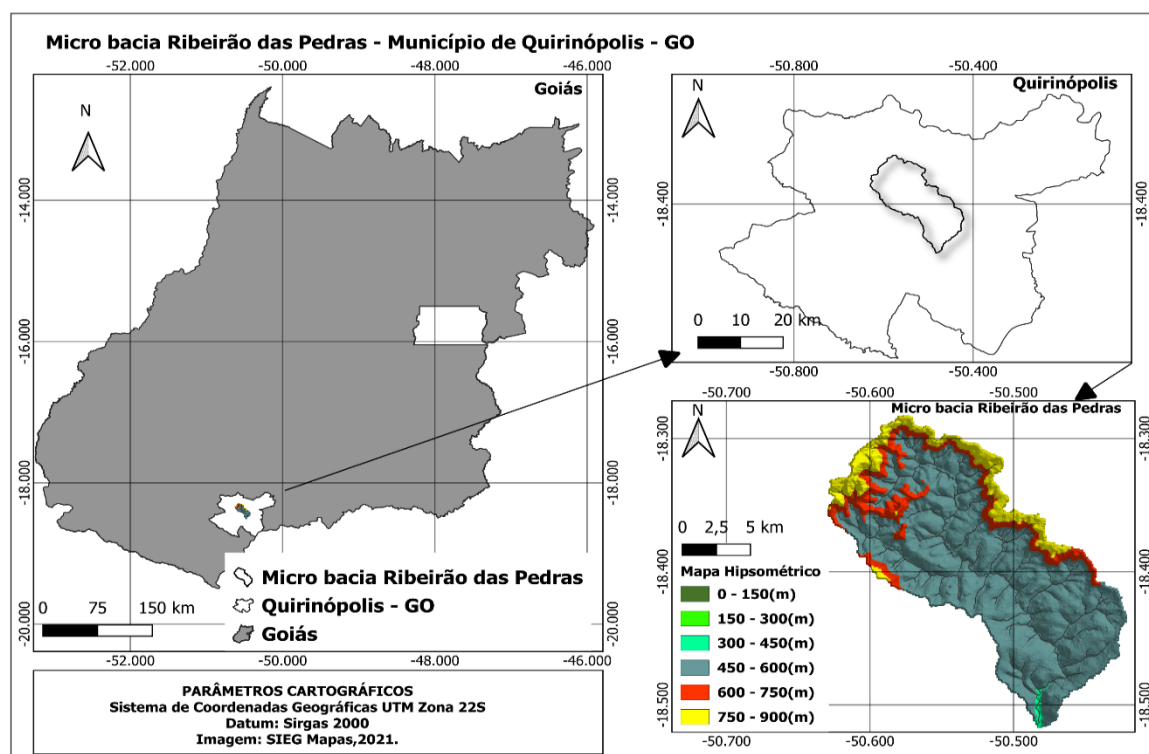


Figura 1: Microbacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras - Município de Quirinópolis – GO.
Elaboração: O autor.

Para desenvolver a carta de vulnerabilidade, seguiu-se a metodologia de Ross (1994) e Crepani et al. (2001), inspirada no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), que enfatiza o estudo da paisagem através de sua dinâmica comportamental. Isso implica compreender as interações entre os componentes do sistema e os fluxos de energia e matéria no ambiente. Em suma, a abordagem da Ecodinâmica busca compreender a paisagem como um sistema complexo, onde os componentes estão interligados e em constante interação, e onde os fluxos de energia e matéria desempenham um papel fundamental na sua evolução e funcionamento.

A carta de vulnerabilidade ambiental, foi realizada através de imagens referentes a declividade do terreno, classes de solos, uso e cobertura do solo e moradias da área de estudo,

no município de Quirinópolis - GO. As imagens que serviram de base para atribuir pesos a cada característica física são descritas na Tabela 1.

Tabela 01: Descrição dos produtos, fonte dos dados, escala e ano da informação, para aplicação Metodológica da vulnerabilidade ambiental.

Produto	Fonte	Escala	Ano de referencia
Uso e ocupação do solo	Mapbiomas	1:100 000	2022
Declividade do terreno	Embrapa	1:250.000	2005
Classes de solo	IBGE	1:250.000	2018
Moradias	Autor		2023
Limites territoriais	SIEG	1:250.000	2022

2.2 Mapas de limites

Os dados geográficos utilizados neste estudo foram extraídos da carta topográfica municipal, obtida por meio do Sistema Estadual de Geoinformação do Estado de Goiás (SIEG, 2023), na forma de arquivos shapefile (Shp). Os processamentos para a criação dos mapas foram conduzidos no ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software QGIS 3.22.

2.3 Mapa de uso do solo

As informações sobre o uso e cobertura do solo na região de estudo, correspondentes ao ano de 2022, foram adquiridas através da base geográfica disponibilizada na plataforma MAPBIOMAS v.7.1 (2022), acessível em: (<https://brasil.mapbiomas.org/mapbiomas-cobertura-10m/>). Na plataforma, foram delimitadas a região de interesse e selecionado o produto de uso do solo, seguido pelo download dos dados.

Os dados estão disponíveis no formato raster (10x10m), derivados do processamento das imagens do Sentinel 2. Esta versão é uma versão BETA. Em seguida, os dados foram recortados para a área específica de interesse e convertidos para o formato de vetores (polígonos), permitindo a extração de medidas de área e a representação percentual de cada classe de uso do solo.

2.4 Mapa das classes de solo

Para realizar o mapeamento de solos, seguimos as diretrizes estabelecidas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2018), obtendo os dados no site <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia.html>. Os dados foram baixados no formato vetorial (*shapefile* - *shp*) com uma escala compatível de 1:250.000 e resolução de 30 metros.

2.5 Declividade do terreno

As categorias de declividade na microbacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras foram derivadas de dados altimétricos obtidos através de produtos de imagens de sensoriamento remoto da missão SRTM. Estes dados correspondem à folha SE-22ZA, Miranda (2005), no formato GEOTIFF (16 bits), com resolução espacial de 90 metros, gerados a partir de dados de radar obtidos de sensores a bordo do ônibus espacial Endeavour, no projeto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), uma parceria das agências espaciais dos Estados Unidos (NASA e NIMA), Alemanha (DLR) e Itália (ASI). Os dados espaciais são compatíveis com a primeira série "Brasil visto do espaço", feita com imagens do satélite Landsat 7 de 2000/2001, disponível em <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>.

No software QGIS 3.22, a imagem foi delimitada para abranger a área da bacia Hidrográfica e foi utilizada para gerar o mapa de declividade. O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi então recortado para corresponder aos limites da bacia e reprojetado para as coordenadas do projeto. Para uma representação visual mais precisa das classes de relevo, foram utilizados os dados da EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, obtidos em escala 1:5.000.000 e disponíveis em (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>).

Neste estudo, a declividade foi expressa em porcentagem, seguindo as faixas de inclinação estabelecidas pela Embrapa (1979), (Tabela 2).

Tabela 2: Tipos de relevo e faixas de declividades elaborados pela EMBRAPA.

Classes de declividade	Limites Percentuais (%)
1 - Plano	0 a 3
2 - Suave Ondulado	3 a 8
3 - Ondulado	8 a 20
4 - Forte Ondulado	20 a 45

5 - Montanhoso	45 a 75
6 - Escarpado	Acima de 75

Fonte: Embrapa, 1979.

Utilizou-se o algoritmo do GRASS “*reclass*”, onde através do raster foi feito o fatiamento da declividade e reclassificados para as classes 1 a 6.

2.6 Mapa moradias

A atividade de campo para o georreferenciamento das moradias foi restrita ao interior da Microbacia Hidrográfica, abrangendo apenas as residências localizadas na mesma. Essas informações foram essenciais para o processamento estatístico e a elaboração do mapa de influência das moradias, que foi utilizado como um dos critérios na análise multicritério.

O *software Google Earth* foi empregado para a localização e pontuação das residências, e em seguida, os dados foram importados para o *software QGIS* para processamento adicional. A função de análise espacial Estimador de Densidade Kernel foi utilizada como parte da análise multicritério para avaliar a influência das moradias na região.

3 Mapeamento da Vulnerabilidade

Na produção do mapa de níveis de vulnerabilidade ambiental da microbacia Ribeirão das Pedras, foram utilizados dados raster e vetoriais referentes à declividade, classificação de uso do solo, tipo de solo e presença de moradias. Para avaliar a qualidade ambiental, cada elemento foi submetido a uma reclassificação com base em pesos que indicam seu impacto, conforme determinado por Ross (1994), Ross (2012) e EMBRAPA (2006).

4 Elaboração de Mapas de Critérios

Para criar o mapa temático dos níveis de risco de degradação ambiental na Microbacia Hidrográfica Ribeirão das Pedras, foram utilizadas as abordagens metodológicas de diversos autores, incluindo Tricart (1977), Saaty (1977), Ross (1994), Crepani et al. (2001) e Ross (2009), que definiram classes de pesos e correlações para analisar a paisagem e identificar sua fragilidade. Para cada categoria de variáveis, como uso do solo, tipo de solo, declividade e ocupação humana, foram atribuídas notas adaptadas dos conceitos de cada autor, visando destacar as áreas mais frágeis conforme apresentado na Tabela 2. Na Tabela

3, é apresentada as variáveis, os intervalos de reclassificação, bem como os pesos (notas) e a metodologia seguida para essa.

Tabela 3: Relação entre as classes e as variáveis para obtenção da fragilidade ambiental na Microbacia Ribeirão das Pedras – GO.

Variável	Classe	Nota	Metodologia
Declividade	0 - 3%	1	Adaptado de Ross (1994; Crepani et al. (2001)
	3 - 8%	2	
	8 - 20%	3	
	20 - 45%	4	
	45 - 75%	5	
Solos	Latossolo Amarelo Distrófico	1	Adaptado Crepani et al. (2001)
	Latossolo Vermelho Acriférico	1	
	Neossolo Litólico	3	
Uso solo	Formação Florestal	1	Adaptado de Ross (1994)
	Formação Savânica	1	
	Silvicultura	5	
	Campo Alagado e Área Pantanosa	1	
	Formação Campestre	2	
	Pastagem	3	
	Lavoura Temporária	4	
	Mosaico de Usos	4	
	Área Urbana	5	
	Outras Áreas Não Vegetadas	5	
	Rio, Lago e Oceanos	0	
Moradias	0,12 - 0,25	1	Adaptado pelo autor
	0,25 - 0,37	2	
	0,37 - 0,49	3	
	0,49 - 0,75	4	
	0,7 - 0,85	5	

Fonte: Adaptado de ROSS (1994) e CREPANI et al. (2001).

Em seguida, para priorizar as variáveis que exercem maior influência na determinação da fragilidade da bacia, adotou-se o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), reconhecido como uma ferramenta eficaz no processo decisório, especialmente no contexto do planejamento e gestão territorial, o modelo de combinação de dados proposto por Saaty (1977) constitui uma teoria com embasamento matemático que possibilita avaliar a contribuição e a relevância relativa de diferentes temas quando essas variáveis possuem distintos níveis de impacto no resultado final. Segundo Saaty (1992), essa abordagem implica em um processo de seleção fundamentado na lógica de comparação direta entre

variáveis, as quais são hierarquizadas com base na escala de prioridades do AHP para discernir a importância dos critérios, como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4: Escala fundamental de Saaty para comparação pareada – AHP.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Fraca importância	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Forte importância	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Muito forte importância	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1992)

Na Tabela 5, é exibido o preenchimento da matriz de comparação, a qual visa determinar a importância relativa entre as variáveis em cada nível hierárquico, conforme a escala fundamental, seguindo a ordem de influência de cada variável na fragilidade ambiental da bacia.

Tabela 5: Matriz de comparação critérios segundo o método AHP.

	Uso cobertura	Solo	Declividade	Moradias
Uso cobertura	1	5	7	8
Solo	1/5	1	2	4
Declividade	1/7	1/2	1	2
Moradias	1/8	1/4	0,5	1

Na Tabela 6, é apresentada a normalização dos valores para a matriz produzida na Tabela 5.

Tabela 6: Matriz de Normalização dos critérios segundo o método AHP.

	Uso cobertura	Solo	Declividade	Moradias	Soma
Uso cobertura	1	5	7	8	21
Solo	0,2	1	2	4	7,2
Declividade	0,14	0,5	1	2	3,64
Moradias	0,12	0,25	0,5	1	1,87

A etapa subsequente envolveu a normalização das médias de importância entre as variáveis. Para validar as comparações par a par, foi calculada a Razão de Consistência (RC). Assim, dado que o valor de RC é $\leq 0,1000$ (Saaty, 1992), pode-se concluir que as prioridades relativas para cada variável são consistentes, como mostrado na Tabela 7.

Tabela 7: Cálculo das prioridades obtidas a partir da matriz normalizada e da consistência dos valores obtidos.

Categoria	Auto vetor (W) ^a	Auto vetor normalizado %
Uso cobertura	0,623	62,30
Solo	0,214	21,4
Declividade	0,108	10,8
Moradias	0,055	5,5

^a O autovetor (w) são os pesos de cada critério e é obtido através da média dos valores de cada linha da matriz de comparação normalizada.

Tabela 8: Resultados pelos critérios de ponderação, comparação entre os pares.

Categoria	Prioridade	Rank
1 Uso solo	66.4%	1
2 Solos	18.1%	2
3 Declividade	9.7%	3
4 Moradias	5.7%	4
$\lambda_{\max}^b$	IC ^c	IR ^d
4,099	0,33141	0,89
		RC ^e
		0,03723

Fonte: Realizado pelo autor

^b $\lambda_{\max}$ é o maior autovalor da matriz de comparação; ^c Índice de Consistência IC é calculado por $\frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$, onde n é a ordem da matriz; ^d O Índice de consistência randômico IR para $n = 4$ é de 0,89; e A razão de consistência é definida por $RC = IC/IR$.

Com base nos resultados obtidos, foram atribuídos pontuações e pesos para cada classe e variável. Em seguida, foi realizada a sobreposição ponderada das informações utilizando a funcionalidade SIG no software QGIS 3.22, empregando o método de Álgebra de Mapas conforme a Equação 1 na calculadora de Campo.

$$(\text{uso do solo} \times 0.623) + (\text{solos} \times 0.214) + (\text{declividade} \times 0.108) + (\text{moradias} \times 0.055).$$

Equação 1:

Esses mapas de uso do solo, tipo de solo, declividade e distribuição de moradias foram combinados com seus respectivos pesos para formar um mapa de vulnerabilidade e risco da microbacia do Ribeirão das Pedras. Esse procedimento destacou as principais características relacionadas ao uso do solo. Os dados resultantes foram utilizados para criar planilhas e mapas que serão submetidos a análise estatística.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os produtos temáticos desenvolvidos e empregados para avaliar a fragilidade ambiental da bacia estão ilustrados nas Figuras de 2 a 7. A sobreposição dessas variáveis e a integração das pontuações atribuídas a cada classe, juntamente com os pesos atribuídos a cada tema, possibilitaram a avaliação das distintas categorias hierárquicas da fragilidade ambiental da Microbacia Ribeirão das Pedras.

A interseção entre os padrões de uso do solo e tipo de solo, juntamente com a declividade e a presença de moradias, resulta na ocupação intensiva de 75,15% da superfície da microbacia. Neste cenário, o fator humano desempenha um papel crucial na determinação da fragilidade da área objeto, especialmente devido ao alto grau de atividades agrícolas e pecuárias.

Um aspecto fundamental reside na extensão da área de pastagem, que, apesar de estar sujeita a atividades humanas, com ausência de manejo do solo contribui para a má conservação da fragilidade ambiental, não mantendo a cobertura vegetal adequada. Esta área representa 42,82% da superfície total da microbacia.

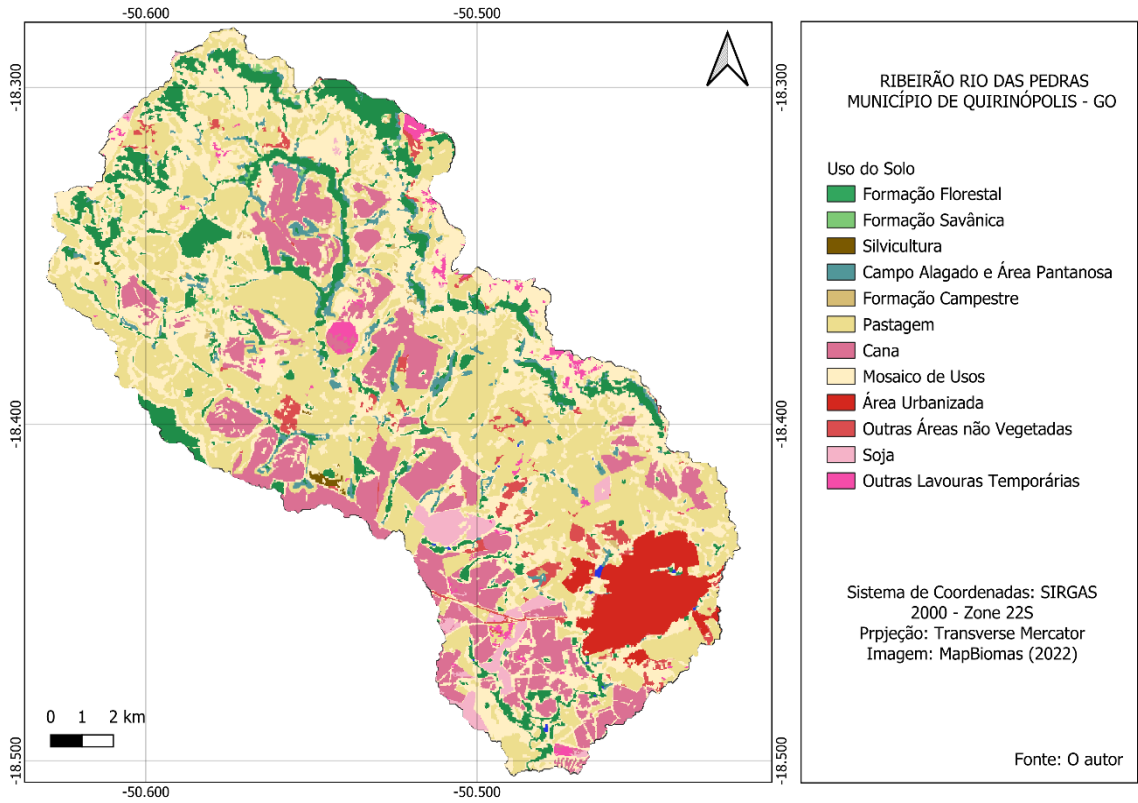


Figura 2: Classes de Uso do solo na Microbacia Ribeirão das Pedras, Quirinópolis- GO.

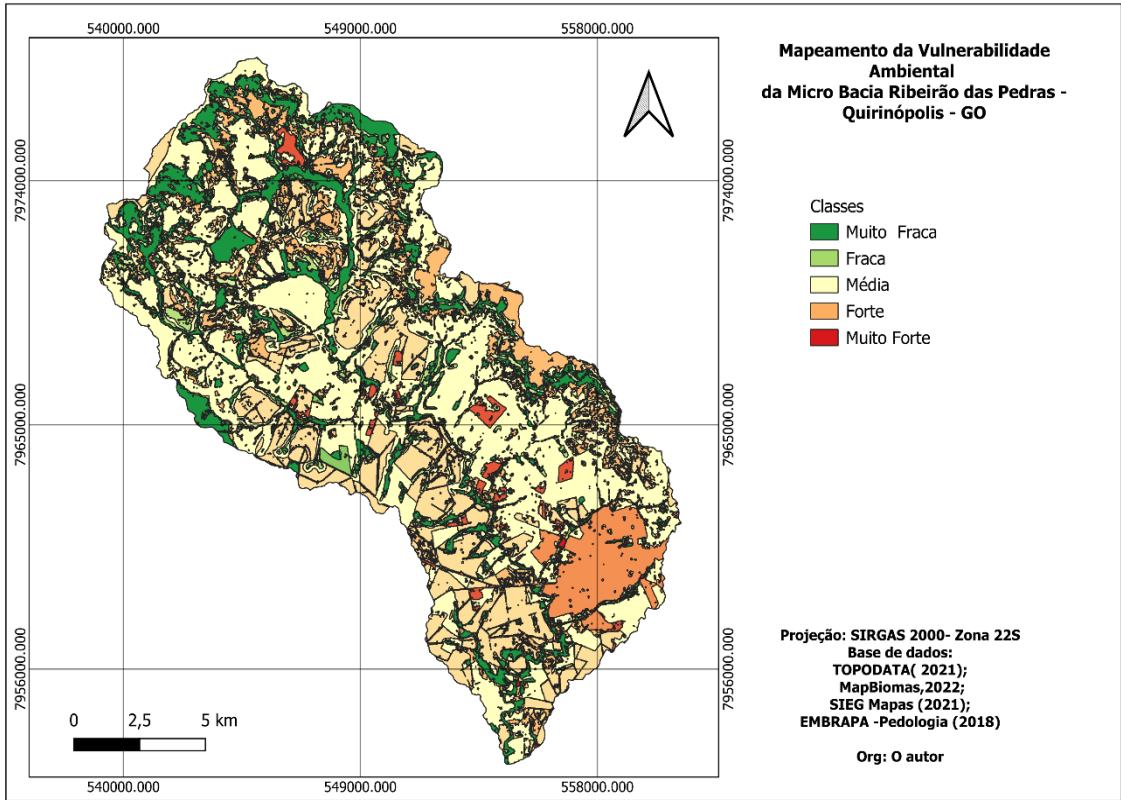


Figura 3: Classes de Uso do solo em função da Vulnerabilidade na Microbacia Ribeirão das Pedras, Quirinópolis- GO.

Tabela 9: Relação entre as classes e os pesos atribuídos em função do grau de Vulnerabilidade.

Classes uso solo	Área (ha)	Área (%)	Classes de Vulnerabilidade	Características
Formação Florestal	3188,53	12,19	1	Possuem densa cobertura vegetal e baixo risco de erosão e escoamento superficial
Formação Savânica	261,8	1,00	1	
Campo Alagado	961,93	3,68	1	
Formação Campestre	324,26	1,24	2	Vegetação menos densa, formada por gramínea de pequeno porte e baixa a risco de erosão.
Pastagem	11197,05	42,82	3	Pouca vegetação de grande porte, constituída por gramíneas rasteiras, com médio risco a vulnerabilidade.
Mosaico de Usos	3897,33	14,9	4	Culturas de ciclo curto.
Lavoura Temporária	4.478,49	17,13	4	
Área Urbana	1199,25	4,59	4	
Outras Áreas Não Vegetadas	563,46	2,15	5	Áreas de solo exposto, áreas não cultiváveis de uso antrópico. Alto risco a vulnerabilidade.
Silvicultura	79,61	0,3	5	

A análise dos resultados revela uma situação preocupante na Microbacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras, com variações significativas na vulnerabilidade à erosão e degradação do solo conforme a cobertura vegetal e o tipo de solo.

As áreas com grandes vegetações, como Formação Florestal, Formação Savânica e Campo Alago, que representam 16,87% da área total, exibem baixa vulnerabilidade (Peso 1) devido à densa cobertura vegetal que reduz riscos de erosão e escoamento superficial. Em contraste, a formação campestre, cobrindo 1,14% da área total, possui uma menor densidade vegetal e apresenta um risco moderado (Peso 2), Tabela 9.

As pastagens, que dominam 42,82% da área total, possuem vegetação predominantemente rasteira e gramíneas, resultando em maior escoamento superficial e risco de erosão (Peso 3). As áreas de solo exposto, incluindo mosaicos de usos agrícolas e áreas urbanas, abrangem 36,62% da área total e são altamente suscetíveis à erosão devido à falta de cobertura vegetal (Peso 4).

Por fim, as áreas não vegetadas e de silvicultura, representando 7,04% da área total, apresentam a maior vulnerabilidade (Peso 5) devido à pouca ou nenhuma cobertura vegetal, expondo o solo a um risco significativo de erosão. Adicionalmente, os solos Neossolo Litólico Distrófico, presentes na bacia, também recebem Peso 5, indicando uma alta propensão à degradação ambiental devido a fatores como erosão, compactação e perda de nutrientes. Figura 4.

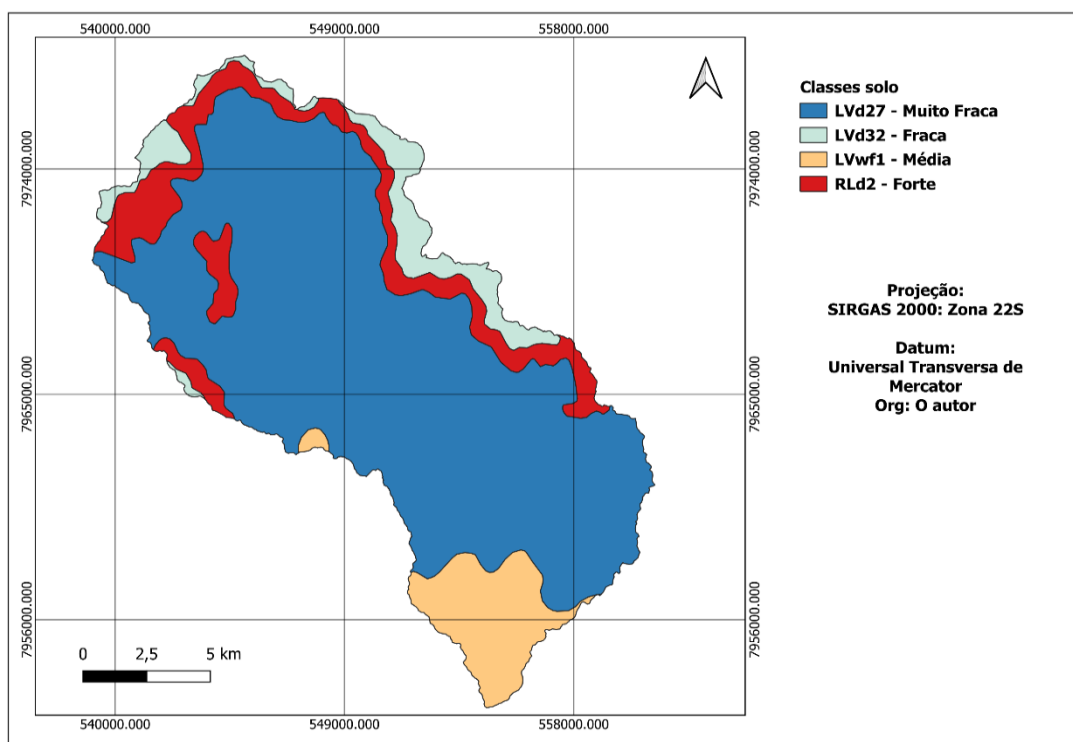


Figura 4: Classes de solo na Microbacia Ribeirão das Pedras, Quirinópolis- GO.

Tabela 10: Valores de vulnerabilidade atribuídos às classes de solo da microbacia do Ribeirão das Pedras.

Classes de solo	Área (ha)	Área (%)	Classes de Vulnerabilidade
LVd-27	18.991,83	72,57	1
LVd-32	1.783,46	6,81	2
LVwf	3213,71	12,28	3
RLd2	2.180,63	8,33	5

Fonte: Embrapa (1979).

Os solos Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Latossolo Vermelho Acriférico (LVwf) cobrem 79,38% da área total da bacia hidrográfica, conforme indicado na Tabela 10. De acordo com EMBRAPA (1999), esses solos apresentam alta acidez e baixa saturação por bases, resultando em condições distróficas ou alumínicas que comprometem sua fertilidade e capacidade produtiva. A elevada concentração de ferro e a deficiência de nutrientes ressaltam a necessidade de adubação e correção da acidez para melhorar o uso agrícola.

Contudo, práticas inadequadas de manejo e agricultura intensiva podem agravar esses problemas. O uso excessivo de fertilizantes, que aumenta os níveis de fósforo, potássio e nitrogênio, pode ter impactos significativos na qualidade da água. O excesso de nutrientes promove a eutrofização dos corpos d'água, comprometendo a saúde dos ecossistemas

aquáticos, prejudicando a qualidade da água potável e deteriorando as condições ambientais. Portanto, é essencial adotar práticas de manejo sustentável para mitigar esses efeitos, preservando tanto a fertilidade do solo quanto a qualidade da água.

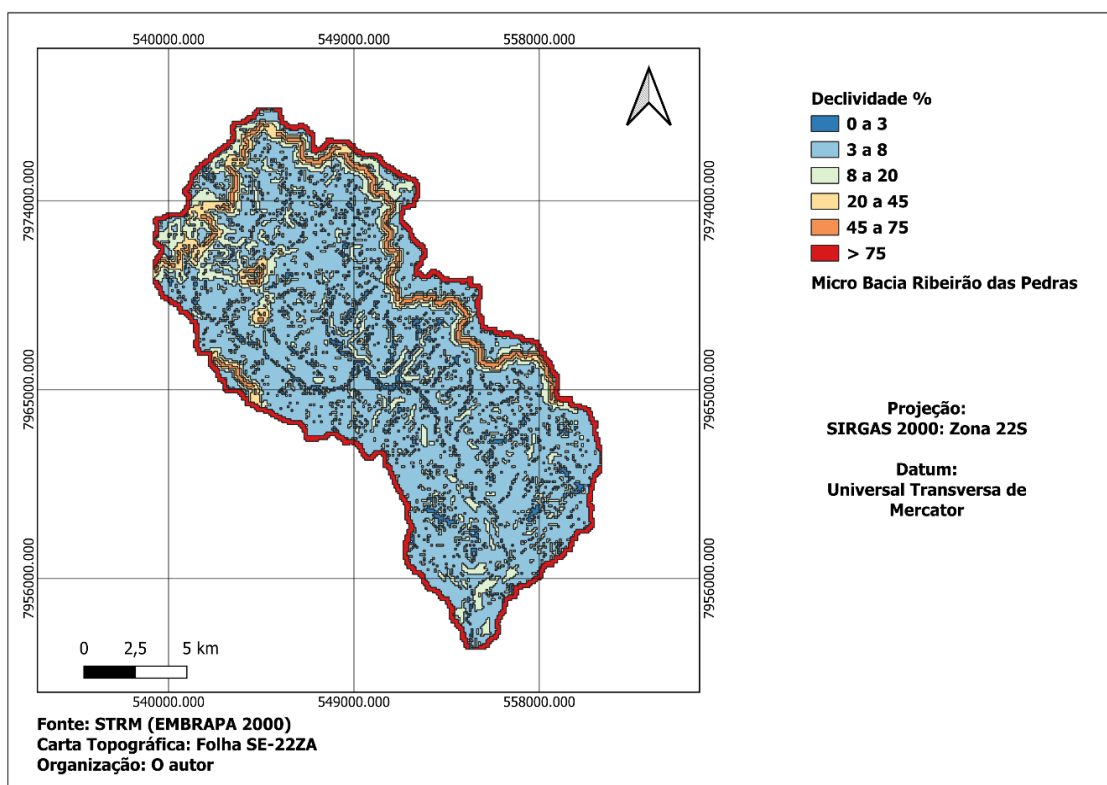


Figura 5: Classes de declividade na Microbacia Ribeirão das Pedras, Quirinópolis- GO.

É possível observar na Figura 5 e Tabela 11, que o relevo predominante é o relevo plano a suavemente ondulado, que representam 67,19% da área da bacia, e que é intensificado por produção agrícola. Esse tipo de terreno é suscetível a problemas como erosão, acúmulo de água, drenagem deficiente, compactação do solo e inundações. Esses desafios podem afetar negativamente a produção agrícola, mas podem ser mitigados com práticas adequadas de conservação do solo, drenagem eficiente e seleção de culturas adaptadas.

Tabela 11: Valores atribuídos às classes declividade de relevo Microbacia Ribeirão das Pedras, Quirinópolis- GO.

Classes de declividade	Classificação	Área (ha)	Área (%)	Classes de Vulnerabilidade
00,0 a 3,0	Relevo Plano	1.086,88	4,03	1
3,0 a 8,0	Relevo suavemente ondulado	17.016,97	63,16	2
8,0 a 20,0	Relevo ondulado	5.083,35	18,87	3

20,0 a 45,0	Relevo fortemente ondulado	1.214,59	4,51	4
45,0 a 75,00	Relevo montanhoso	674,33	2,50	5
> 75	Relevo fortemente montanhoso	1.866,37	6,93%	6

Na microbacia, 9,43% da área é composta por relevo montanhoso a fortemente montanhoso, localizado na Serra da Confusão do Rio Preto, com inclinações entre 45° e mais de 75°. Essas áreas são mais suscetíveis à erosão devido ao rápido escoamento da água. Além disso, a presença da cadeia de montanhas atuando como uma barreira ao redor da área de drenagem, embora represente uma pequena fração do território, tem um impacto significativo no fluxo dos rios nas áreas planas próximas devido à sua elevada inclinação. Isso pode resultar no transporte de sedimentos para corpos d'água próximos, afetando sua composição química e reduzindo os níveis de oxigênio, especialmente em áreas urbanas e em atividades agrícolas.

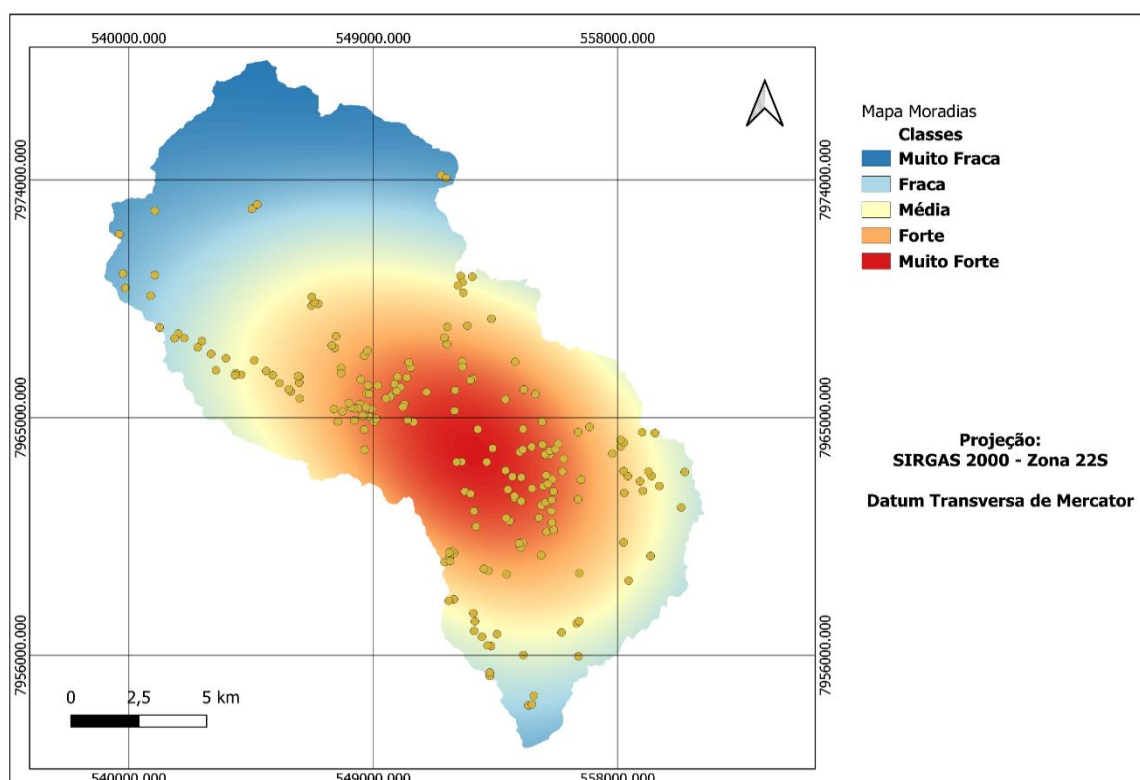


Figura 06: Mapa de influência de moradias com valores normalizados.

A presença de moradias exerce uma influência significativa na vulnerabilidade das bacias Hidrográficas, devido à sua relação direta com a qualidade e disponibilidade da água.

A ocupação urbana pode desencadear problemas como poluição hídrica, aumento do risco de enchentes e erosão do solo, devido à gestão inadequada de resíduos e à impermeabilização das superfícies. Além disso, o crescimento urbano desordenado pode resultar na supressão da vegetação, comprometendo a recarga dos aquíferos. O estudo revelou que a maior fragilidade está concentrada principalmente em 62,94% da superfície da Microbacia com presença de moradias, Tabela 12.

Tabela 12: Classes de Moradias na Microbacia Ribeirão das Pedras – GO.

Classes moradias	Área (ha)	Área (%)	Classes de Vulnerabilidade
0 a 0,25	95,63	0,365	1
0,25 a 0,50	9.600,93	36,69	2
0,50 a 0,75	0,016	0,0001	3
0,75 a 1	13.768,95	52,61	4
1	2.703,85	10,33	5

Com base na metodologia adotada e nos quatro parâmetros avaliados que são o uso do solo, classe de solo, declividade e moradias, e com os pesos atribuídos à vulnerabilidade, variando de 1 (áreas menos suscetíveis à erosão) a 5 (áreas com maior potencial erosivo), foi elaborado o mapa de vulnerabilidade, que é apresentado na Figura 6.

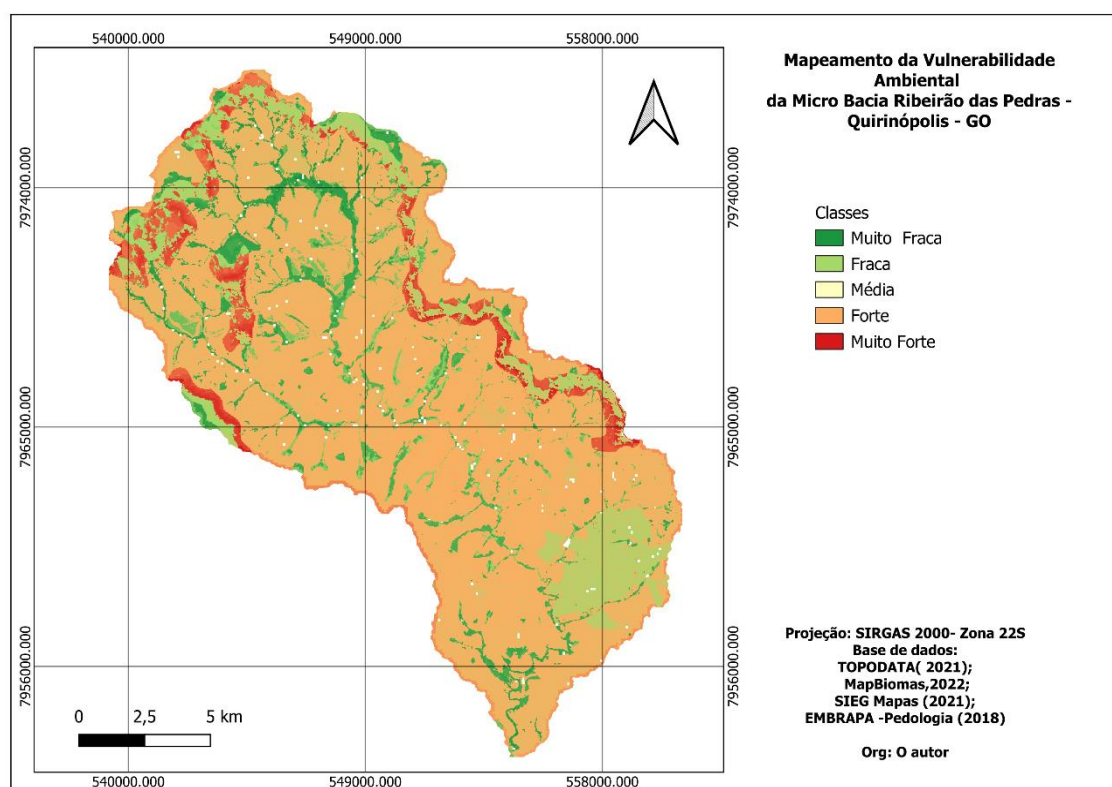


Figura 07: Mapa de Vulnerabilidade Ambiental da Microbacia Ribeirão das Pedras – Quirinópolis – GO.

A análise da vulnerabilidade da Microbacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras revela desafios ambientais significativos, principalmente relacionados à erosão do solo e à degradação da qualidade da água. A predominância de áreas com vulnerabilidade forte (69,56% da área total), Tabela 13, indica que essas áreas, majoritariamente dedicadas a pastagens e atividades agropecuárias, estão extremamente suscetíveis à erosão. A remoção da vegetação natural para a criação de pastagens reduz a cobertura do solo, aumentando a taxa de escoamento superficial e diminuindo a infiltração da água, resultando em maior risco de erosão. Essa situação degrada a qualidade do solo e pode afetar negativamente a qualidade da água do ribeirão, transportando sedimentos e poluentes agrícolas, como pesticidas e fertilizantes, para o curso d'água. Estudos como o de Araújo et al. (2007) ressaltam que a conversão de áreas de Cerrado em pastagens resulta em uma significativa redução da taxa de infiltração de água no solo.

Tabela 13: Classes de vulnerabilidade ambiental na Microbacia Ribeirão das Pedras – GO.

Área (ha)	Área (%)	Classes de Vulnerabilidade
4,692	0,02	1,0 – Muito Baixa
3.234,943	12,54	2,0 - Fraca
2.269,790	8,80	3,0- Média
17.946,040	69,56	4,0- Forte
2.344,479	9,09	5,0 – Muito Forte

Áreas com vulnerabilidade fraca (12,54% da área total), localizadas principalmente em matas ciliares próximas ao ribeirão, estão relativamente protegidas contra problemas ambientais graves devido à presença de vegetação natural. No entanto, a extensão limitada dessas áreas sugere que a proteção oferecida é insuficiente para compensar os impactos das áreas mais vulneráveis. A conservação e a ampliação dessas matas ciliares são essenciais para melhorar a resiliência ambiental da bacia. De Araújo et al. (2009) destacam a importância de implementar medidas de manejo para proteger a qualidade dos mananciais e a integridade dos reservatórios, enfatizando a necessidade de conservar as águas superficiais e restaurar as matas ciliares para manter a saúde dos ecossistemas aquáticos.

De Medeiros et al. (2005) observaram que as áreas urbanas, devido ao adensamento populacional já consolidado, podem apresentar uma vulnerabilidade baixa à ocupação humana. Isso sugere que, nas áreas urbanas densamente povoadas, a infraestrutura existente pode ser suficiente para mitigar alguns impactos da ocupação humana.

No contexto deste estudo específico, as áreas com vulnerabilidade média, que correspondem a 8,80% da área total, estão associadas à ocupação humana e apresentam um

risco moderado de problemas ambientais. Isso significa que, apesar de a vulnerabilidade ser considerada média, ainda existem riscos ambientais consideráveis nessas áreas devido à atividade humana.

As áreas com vulnerabilidade muito forte (9,09% da área total) localizam-se nas partes mais altas da serra. A combinação de alta declividade e remoção da vegetação nestas áreas cria condições ideais para erosão e deslizamentos, contribuindo significativamente para inundações nas áreas mais baixas da microbacia. Crepani et al. (2001) observam que a declividade aumenta a energia cinética das águas pluviais, intensificando a erosão.

Os impactos combinados das diferentes classes de vulnerabilidade criam um cenário complexo de gestão ambiental. A predominância da vulnerabilidade forte associada a práticas agropecuárias intensivas exige a implementação urgente de práticas sustentáveis de manejo do solo e da água, como técnicas de conservação do solo, restauração de matas ciliares, controle de erosão e criação de sistemas agroflorestais.

Em resumo, a Microbacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras enfrenta desafios ambientais significativos, principalmente relacionados à erosão do solo e à degradação da qualidade da água, exacerbados por práticas agrícolas intensivas e ocupação humana. Medidas integradas de conservação e manejo sustentável são essenciais para mitigar esses problemas e promover a resiliência ambiental da bacia.

6 CONCLUSÕES

Os resultados da avaliação da fragilidade ambiental da Microbacia Ribeirão das Pedras mostraram que 75,15% da área é intensivamente utilizada para atividades agrícolas e pecuárias, o que contribui para uma alta vulnerabilidade ambiental. A análise das áreas revelou:

Grandes Vegetações (16,87%): Baixa vulnerabilidade devido à boa cobertura vegetal.

Pastagens (42,82%): Vulnerabilidade média, com riscos de erosão e escoamento superficial.

Solos Expostos e Áreas Urbanas (36,62%): Alta vulnerabilidade devido à falta de cobertura vegetal.

Áreas Não Vegetadas e Solos Neossolo Litólico Distrófico (7,04%): Maior vulnerabilidade devido à ausência de cobertura e propensão à degradação.

Os solos predominantes, Latossolo Vermelho Distrófico e Latossolo Vermelho Acriférico, apresentam alta acidez e baixa fertilidade, necessitando de correção para uso

agrícola eficiente. Práticas inadequadas e o uso excessivo de fertilizantes agravam a degradação da qualidade da água, promovendo a eutrofização.

O relevo plano a suavemente ondulado e o relevo montanhoso contribuem para problemas de erosão e drenagem, enquanto a presença de moradias intensifica a poluição hídrica e a degradação ambiental.

A predominância de áreas com vulnerabilidade forte, associada a práticas agrícolas intensivas, destaca a necessidade urgente de práticas de manejo sustentável para melhorar a resiliência ambiental da microbacia.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, A.R.de; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J.R. de. Vulnerabilidade ambiental. **Editora Edgard Blücher**, 2017.

ARAÚJO, R., GOEDERT, W. J., & LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31(5), 1099–1108. 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500025>.

BRASIL, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Serviço de Produção de Informação, 1999.

CREPANI, E. et al. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: **Inpe**, 2001.

DE ARAÚJO, L. E. et al. Bacias hidrográficas e impactos ambientais. **Qualitas Revista Eletrônica**, v. 8, n. 1, 2009.

DE MEDEIROS, CLEYBER N.; PETTA, REINALDO A.; DUARTE, CYNTHIA R. Estudo do meio físico para avaliação da vulnerabilidade à ocupação humana do Município de Parnamirim (RN), utilizando técnicas de geoprocessamento. **Geosciences = Geociências**, v. 24, n. 3, p. 239-253, 2005.

GARCIA, Y. M. et al. Diagnóstico ambiental da bacia Hidrográfica do Ribeirão Pederneiras, Pederneiras/SP. **Energia na Agricultura**, v. 33, n. 3, p. 246-251, 2018.

GUIMARÃES, E. M. P. e É.; YOLANDA D. M. Sistema de informação: instrumento para tomada de decisão no exercício da gerência. **Ciência da Informação [online]**. 2004, v. 33, n. 1 pp. 72-80. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-19652004000100009>>. Acesso 18 de outubro de 2023.

JARDIM WF. Medição e interpretação de valores do potencial redox (E H) em matrizes ambientais. *Quím Nova* [Internet]. 37(7):1233, 2014 –5. Disponível em: <<https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140207>> Acesso em: 16 de novembro 2022.

JÚNIOR, J. F. P.; RODRIGUES, S. C. O método de análise hierárquica–AHP–como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia Hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 23, p. 4-26, 2012.

TUNDISI, J. G; TUNDISI, T. M. As múltiplas dimensões da crise hídrica. **Revista USP**, n. 106, p. 21-30, 2015.

RIVAS, R. E. G. Uso do método multicritério para tomada de decisão operacional tendo em conta riscos operacionais, à segurança, ambientais e à qualidade. – Salvador: **UFBA**, 2016.

SOUZA, B, L. de, SERRÃO, S. L. C.; & DIAS, R. P. Diagnóstico da fragilidade ambiental na Bacia do Submédio Tocantins: UHE Tucuruí. **Natural Resources**, 9(1), 28-37, 2019.

LEI N.º 1.808, DE SETEMBRO DE 1.991 'Dispõe sobre a Política de Desenvolvimento Urbano de Quirinópolis e estabelece outras Diretrizes para o Desenvolvimento do Município`. <https://www.quirinopolis.go.leg.br/leis/legislacao-municipal/leis-ordinarias/ano-de-1991/lei-1-808-1991>. Acesso – 10 de novembro de 2023.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas – Coleção Beta de Mapas Anuais de Cobertura e Uso da Terra do Brasil com 10 metros de resolução espacial. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/mapbiomas-cobertura-10m/>>. Acesso em: 8 de fevereiro de 2024.

MENG, Y. et al. A GIS-based multicriteria decision analysis approach for mapping accessibility patterns of housing development sites: a case study in Canmore, Alberta. **Journal of Geographic Information System**, v. 3, n. 01, p. 50, 2011.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). Brasil em Relevô. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 26 Abr. 2024

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26.2007.

IBGE – Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/quirinopolis/panorama>>- Acesso – 10 de novembro de 2023.

IBGE, Produção da Pecuária Municipal 2022; Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IBGE - EMBRAPA - Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE. Escala 1:5.000.000.2001.

RODRIGUES, F. H. et al. Avaliação da possibilidade de erosão natural e induzida na bacia Hidrográfica do ribeirão das pedras, Quirinópolis (GO). **Geosciences= Geociências**, v. 33, n. 2, p. 339-359, 2014.

TEDESCO, A. M., OLIVEIRA, G. A., & TROJAN, F. Avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por meio dos métodos AHP e TOPSIS. *Engenharia Sanitária E Ambiental*, 26(3), 401–407. 2021.<https://doi.org/10.1590/S1413-415220190322>.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. **Editora UFMG**, 1996.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante destacar que a água desempenha um papel fundamental na manutenção da vida e no suporte a uma ampla gama de atividades humanas. No entanto, fatores como desmatamento, poluição industrial, erosão e deposição de resíduos impactam significativamente esses sistemas. A preservação da quantidade e da qualidade da água é essencial para garantir seu acesso seguro e promover avanços futuros. Portanto, a gestão justa e sustentável dos recursos naturais é crucial para mitigar os impactos negativos na disponibilidade e qualidade da água, especialmente na avaliação ambiental das bacias hidrográficas.