

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO - UFTM**

**AMANDA SANTANA DOS SANTOS**

**IDENTIFICAÇÃO DE MICROBACIAS PRIORITÁRIAS PARA RECUPERAÇÃO NA  
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO RIO UBERABA ATRAVÉS DE ANÁLISE  
MULTICRITÉRIO**

**UBERABA, MG**

**2024**

**Amanda Santana dos Santos**

**IDENTIFICAÇÃO DE MICROBACIAS PRIORITÁRIAS PARA RECUPERAÇÃO NA  
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO RIO UBERABA ATRAVÉS DE ANÁLISE  
MULTICRITÉRIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em  
Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal do  
Triângulo Mineiro, como requisito parcial para obtenção do  
título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.  
Orientador: Prof. Dr. Renato Farias do Valle Junior.

Julho, 2024

**Catologação na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do  
Triângulo Mineiro**

S233i Santos, Amanda Santana dos  
Identificação de microbacias prioritárias para recuperação na  
Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba através de análise  
multicritério / Amanda Santana dos Santos. -- 2024.  
44 f. : il., tab.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) --  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2024  
Orientador: Prof. Dr. Renato Farias do Valle Junior

1. Área de Proteção Ambiental do Rio Uberaba (MG). 2. Recu-  
peração ecológica. 3. Proteção ambiental. 4. Rios -- Proteção. I. Valle  
Junior, Renato Farias do. II. Universidade Federal do Triângulo  
Mineiro. III. Título.

CDU 502.17:627.4(815.1)

AMANDA SANTANA DOS SANTOS

**IDENTIFICAÇÃO DE MICROBACIAS PRIORITÁRIAS PARA RECUPERAÇÃO NA APA  
DO RIO UBERABA ATRAVÉS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, para obtenção do título de mestre.

Uberaba, 31 de julho de 2024.

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Renato Farias do Valle Junior  
Orientador - IFTM/UFTM

Prof. Dr. Ricardo Vicente Ferreira  
Membro Titular - UFTM

Profª. Dra. Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva  
Membro Titular - IFTM



Documento assinado eletronicamente por **Renato Farias do Valle Junior, Usuário Externo**, em 29/08/2024, às 09:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 215, de 16 de julho de 2024](#).



Documento assinado eletronicamente por **RICARDO VICENTE FERREIRA, Professor do Magistério Superior**, em 29/08/2024, às 09:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 215, de 16 de julho de 2024](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva, Usuário Externo**, em 29/08/2024, às 10:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 215, de 16 de julho de 2024](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site



[http://sei.ufm.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1270291** e o código CRC **17BE9567**.

---

## RESUMO

Uberaba-MG é uma das 100 cidades mais populosas do Brasil e tem o grande desafio de garantir abastecimento hídrico à população em todas as estações do ano. É de grande relevância que seja protegido o principal manancial de abastecimento público da cidade, o rio Uberaba, assim como as suas margens. Pensando nisso, no ano de 2005 foi regulamentada uma unidade de conservação municipal de uso sustentável, a Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Uberaba, com o intuito de promover a utilização sustentável dos recursos naturais e proteger a biodiversidade dessa região. Dezesesseis anos após o sancionamento da sua lei de criação, Uberaba enfrentou a maior crise hídrica daqueles últimos noventa anos, evidenciando que a ocupação do solo na APA ocasionava prejuízo na manutenção dos recursos hídricos. Considerou-se importante a avaliação das características naturais e antrópicas das microbacias hidrográficas que a compõem, bem como as suas interações. Sendo assim, este estudo objetivou diagnosticar as microbacias prioritárias para recuperação ambiental na APA do rio Uberaba utilizando análise de múltiplos critérios em ambientes SIG (Sistemas de Informação Geográfica). Fatores como uso da terra e cobertura vegetal, potencial do solo, conflitos de uso, geologia, proximidade dos cursos d'água e declividade foram avaliados e integrados em um mapa multicritério. Como produto, o mapa de multicritérios representou as microbacias Ribeirão Saudade, dos Pintos, Barreiro, Sapecado, Alto Curso (nascente do rio Uberaba), Buracão, da Vida e Lanhoso como prioritariamente sujeitas à recuperação ambiental, concluindo que as regiões de nascentes são as mais sensíveis da bacia e merecem especial atenção. O presente estudo, portanto, proporcionou um diagnóstico da APA do rio Uberaba, correlacionando o cenário atual às possibilidades de planejamento futuro com vistas à manutenção do abastecimento público municipal.

Palavras-chave: APA do rio Uberaba, análise de multicritérios, recuperação ambiental.

## ABSTRACT

Uberaba-MG is one of the 100 most populous cities in Brazil and has the great challenge of guaranteeing water supply to the population in all seasons of the year. It is of great importance that the city's main public supply source, the Uberaba river, as well as its banks, be protected. With this in mind, in 2005 a municipal conservation unit for sustainable use was regulated, the Environmental Protection Area (EPA) of the Uberaba river, with the aim of promoting the sustainable use of natural resources and protecting the biodiversity of this region. Sixteen years after the sanctioning of its creation law, Uberaba faced the biggest water crisis of the last ninety years, showing that the occupation of land in the EPA caused losses in the maintenance of water resources. It was considered important to evaluate the natural and anthropogenic characteristics of the micro-watersheds that comprise it, as well as their interactions. Therefore, this study aimed to diagnose the priority watersheds for environmental recovery in the Uberaba river EPA using multiple criteria analysis in GIS (Geographic Information Systems) environments. Factors such as land use and vegetation cover, soil potential, use conflicts, geology, proximity to water courses and slope were evaluated and integrated into a multi-criteria map. As a product, the multi-criteria map represented the Ribeirão Saudade, dos Pintos, Barreiro, Sapecado, Alto Curso (source of the Uberaba river), Buracão, da Vida and Lanhos microbasins as primarily subject to environmental recovery, concluding that the spring regions are the most sensitive areas in the basin and deserve special attention. The present study, therefore, provided a diagnosis of the EPA of the Uberaba river, correlating the current scenario with the possibilities of future planning with a view to maintaining the municipal public supply.

Keywords: EPA of the Uberaba River, multi-criteria analysis, environmental recovery.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Zoneamento na APA do rio Uberaba. ....	14
Figura 2 - Localização da APA do rio Uberaba. ....	21
Figura 3 - Identificação das microbacias da APA do rio Uberaba. ....	21
Figura 4 - Mapa de multicritérios (f) para os fatores conflito (a), uso e cobertura (b), geologia (c), distância (d) e declividade (e).....	31
Figura 5 - Mapa de Uso Potencial do Solo.....	33
Figura 6 - Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal. ....	34
Figura 7 - Mapa de Conflito de Uso do Solo. ....	35
Figura 8 - Mapa Geológico.....	36
Figura 9 - Mapa da distância dos cursos d'água.....	37
Figura 10 - Mapa de Declividade.....	38
Figura 11 - Mapa de microbacias prioritárias para recuperação na APA do rio Uberaba. ....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Base de dados e finalidade das camadas utilizadas.....	23
Tabela 2 - Classes para o coeficiente de rugosidade.....	24
Tabela 3 - Classificação dos pesos referentes às classes de RN e o uso do solo.....	25
Tabela 4 - Classes de conflito. ....	26
Tabela 5 - Intervalos de classe de declividade e seus relevos correspondentes. ....	27
Tabela 6 - Critérios escolhidos pela autora, suas classes e os pesos estabelecidos.....	28
Tabela 7 - Escala de intensidade de importância, suas definições e explicações.....	29
Tabela 8 - Matriz comparativa AHP com as variáveis do estudo. ....	29
Tabela 9 - Pesos das variáveis normalizados na ferramenta Easy AHP.....	30
Tabela 10 - Características morfométricas calculadas para as microbacias da APA do rio Uberaba.....	32
Tabela 11 - Área ocupada por cada classe de prioridade na APA.....	40

## LISTA DE SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
CODAU	Companhia Operacional de Desenvolvimento, Saneamento e Ações Urbanas
CODEMIG	Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais
Dd	Densidade de drenagem
DME	Declividade Média da Microbacia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUPS	Equação Universal de Perda de Solo
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
IFTM	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro
MDE	Modelo Digital de Elevação
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
PM	Plano de Manejo
RN	<i>Ruggdeness Number</i>
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SRC	Sistema de Referência de Coordenadas
UFTM	Universidade Federal do Triângulo Mineiro
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
ZAPU-APA	Zona Ambiental Perímetro Urbano da APA
ZAR-APA-1	Zona Ambiental Rural 1 da APA
ZAR-APA-2	Zona Ambiental Rural 2 da APA
ZAR-APA-3	Zona Ambiental Rural 3 da APA
ZPAR	Zona de Proteção das Áreas Rurais

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	12
2.1 Objetivo geral .....	12
2.2 Objetivos específicos .....	12
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	13
3.1 APA do rio Uberaba: um breve histórico .....	13
3.2 Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados à recuperação ambiental .....	15
3.3 Uso da terra e cobertura vegetal.....	16
3.4 Conflitos de uso do solo .....	17
3.5 Metodologia AHP - <i>Analytic Hierarchy Process</i> .....	18
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	20
4.1 Caracterização da área de estudo .....	20
4.2 Escolha dos critérios .....	22
4.3 Elaboração dos produtos cartográficos .....	22
4.3.1 Uso da terra e cobertura vegetal.....	24
4.3.2 Uso potencial do solo ou aptidão do solo .....	24
4.3.3 Conflito de uso do solo .....	25
4.3.4 Geologia .....	26
4.3.5 Distância dos cursos d'água .....	26
4.3.6 Declividade .....	27
4.4 Metodologia AHP - <i>Analytic Hierarchy Process</i> .....	27
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
5.1 Mapeamento dos múltiplos critérios .....	32
5.2 Mapa de Multicritérios: microbacias prioritárias para recuperação .....	39
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	41
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	43

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios atuais dos grandes centros urbanos é a garantia do abastecimento hídrico em todas as estações do ano. É desafiador administrar o uso inteligente da água através do desenvolvimento de estratégias que envolvam diversos setores da economia. Incentivar a educação socioambiental da população, criar tecnologias de redução de consumo, promover manejos agrícolas sustentáveis, desenvolver políticas de gestão ambientalmente protetivas e garantir a sensibilidade de que a água é, de fato, um recurso finito, são ações que representam verdadeiras adversidades das grandes cidades.

Fato que não é diferente em Uberaba, Minas Gerais, um dos 100 mais populosos municípios brasileiros segundo o Instituto Trata Brasil (2024), que conta com a preservação dos rios Uberaba e Claro para garantir a disponibilidade de água para o consumo humano, para a dessedentação animal e para as produções agrícola e industrial da cidade.

Para tanto, em 1999 foi criada Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Uberaba, um espaço natural sob regime jurídico especial de administração, com objetivo de conservação ambiental e com limites geográficos definidos. Regulamentada em 2005, a APA é unidade de conservação de uso sustentável que apresenta, como principais objetivos, recuperar, preservar e conservar o principal manancial de abastecimento público da cidade, promover o uso sustentável dos recursos naturais e proteger a biodiversidade (Minas Gerais, 1999; Prefeitura Municipal de Uberaba, 2005).

Desde a sua criação, pesquisas na área vêm apontando necessidade de atenção ao fator ocupação antrópica *versus* preservação ambiental. Abdala, Nishiyama e Torres (2011) delimitaram, identificaram e avaliaram as diferentes categorias de uso do solo e cobertura vegetal na área da bacia do alto curso do rio Uberaba, ou seja, na APA. Através desse estudo, constataram que a vegetação natural vinha sendo substituída, majoritariamente, por pastagens - degradadas em função do manejo inadequado do solo - e culturas anuais. Vieira et al. (2012) analisaram parâmetros morfométricos de microbacias da APA do rio Uberaba com a finalidade de subsidiarem decisões de uso apropriadas para a região, uma vez que, através de tais parâmetros, foi possível

estabelecer níveis de fragilidades relacionados às características físicas e ambientais das microbacias, indicando possibilidades e restrições aos usos atual e futuro. Martins (2020) elaborou um índice de vulnerabilidade natural da APA do rio Uberaba, a qual apresentou-se naturalmente vulnerável e com potencial de degradação preexistente em toda sua extensão, concluindo ser necessária a aplicação de práticas de manejo conservacionistas para que o processo, então acelerado, de depreciação do solo, não se torne irreversível. O Estado de Minas Gerais (2021) noticiou que, no ano de referência, Uberaba viveu a maior crise hídrica das últimas nove décadas.

Tais fatores, associados, evidenciaram a necessidade urgente de avaliar e recuperar as microbacias da APA para a garantia da sustentabilidade hídrica, mediante o uso do sensoriamento remoto, recurso bastante empregado em diagnósticos da evolução ou da retração urbanas. Segundo Melo *et al.* (2021), o sensoriamento remoto é um conceito que apresenta inúmeras definições, variando conforme a necessidade, o objetivo e o momento ao qual será aplicado, ou seja, conforme a evolução das geotecnologias. Meneses e Almeida (2012), o definem como uma técnica de obtenção de imagens de objetos da superfície terrestre sem que haja contato físico entre o sensor e o objeto.

Através da junção de diversas tecnologias, é possível obter informações estratégicas a respeito de uma área de interesse. Nesse contexto, fazem-se presentes, dentre inúmeras tipologias de produtos cartográficos, os mapas de uso da terra e cobertura vegetal, de uso potencial do solo, de conflitos ambientais, de multicritérios e de fragilidade ambiental, bem como mapas de geologia e de declividade.

Dito isso, fica clara a significativa importância de direcionar as atenções para as bacias e microbacias hidrográficas da região objeto deste estudo, a fim de priorizar e assegurar o abastecimento público na cidade de Uberaba em quantidade e, também, em qualidade, durante os doze meses do ano. Realizando o diagnóstico de degradação das microbacias, pretendeu-se obter uma fonte de dados assertiva para orientação de políticas públicas e implementação de projetos de recuperação ambiental na APA do rio Uberaba. Além disso, subsidiar o desenvolvimento de novos estudos na região.

Para tanto, foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento, utilizando os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para

promover um diagnóstico das microbacias que demandam maior atenção na APA: aquelas atualmente mais degradadas e alteradas.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi diagnosticar as microbacias prioritárias para recuperação ambiental na Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba através de uma análise de multicritérios.

### 2.2 Objetivos específicos

- Elaborar o mapa de uso da terra e cobertura vegetal, bem como o mapa de aptidão do solo;
- Elaborar o mapa de conflito da APA do rio Uberaba através dos mapas supracitados;
- Elaborar o mapa de geologia para a APA do rio Uberaba;
- Elaborar o mapa de distância dos cursos d'água para a APA do rio Uberaba;
- Elaborar o mapa de declividade para a APA do rio Uberaba;
- Aplicar a metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e elaborar, como produto final, um mapa de multicritérios a partir dos 05 (cinco) critérios preestabelecidos;
- Avaliar, a partir da análise dos produtos cartográficos obtidos, as microbacias hidrográficas da APA do rio Uberaba prioritariamente sujeitas à recuperação ambiental;
- Servir como fonte de dados para diagnósticos ambientais e para o planejamento de políticas públicas de recuperação ambiental na Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 APA do rio Uberaba: um breve histórico

A Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba foi instituída pelo governo do estado de Minas Gerais através da Lei Estadual nº 13.183 de 1999 e, pelo governo municipal, a partir da Lei nº 9.892 de 2005. Sua criação representou uma iniciativa para preservação do rio Uberaba e de seus afluentes, para promoção do uso sustentável dos recursos naturais, para proteção da biodiversidade, para estímulo à melhoria da qualidade ambiental da região e para disciplinar a ocupação humana na referida área protegida (Prefeitura Municipal de Uberaba, 2005).

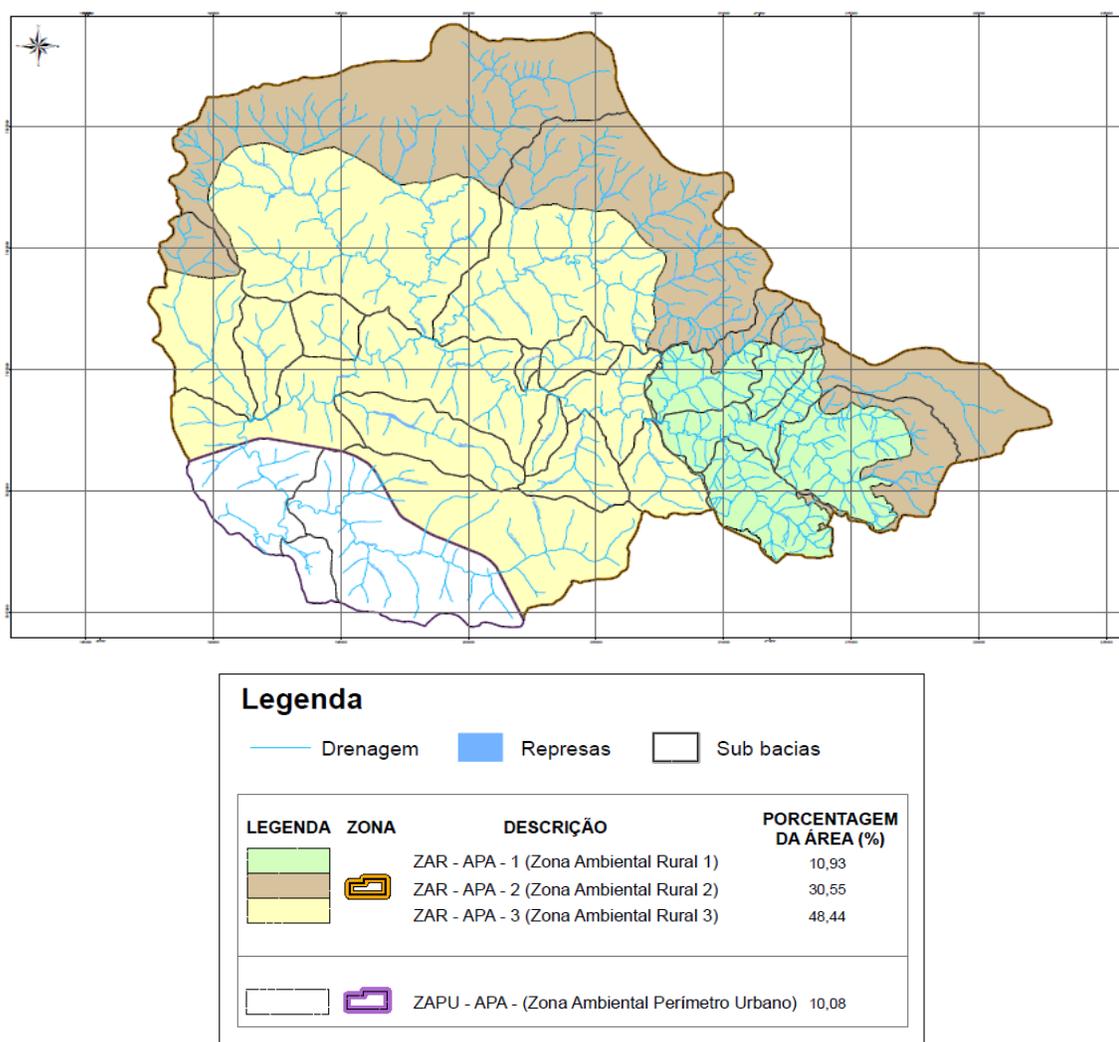
Portanto, assegurar a conservação da APA é, também, assegurar a conservação dos recursos hídricos – superficiais e subterrâneos – para o município de Uberaba. Conforme preconiza a Lei nº 9.985 de 2000, Lei do SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação), em seu artigo 27, as unidades de conservação devem dispor de um Plano de Manejo (PM), regulamentado pelo Decreto Federal nº 4.340 de 2002, o qual estabeleça o seu zoneamento e as normas que devam presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais. O Plano de Manejo da APA do rio Uberaba atualmente vigente foi aprovado, em definitivo, em março de 2022, após um longo histórico de concepção, discussão e apresentação. Antes disso, vigorou no município um Plano de Manejo Emergencial, criado e publicado no ano de 2012.

É um documento técnico, produzido pela Equipe Técnica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM) e da Companhia Operacional de Desenvolvimento, Saneamento e Ações Urbanas (CODAU). Também é ele que orienta as decisões deliberadas ou não pelo conselho gestor da unidade (Conselho Gestor da APA do rio Uberaba) e pelo órgão executor (Secretaria Municipal de Meio Ambiente) na área. Embora tenha sido aprovado em 2022, suas bases cartográficas – mapas morfológicos, de uso e ocupação do solo, de fragilidade ambiental, de zoneamento ambiental, entre outros – foram confeccionadas no ano de 2016.

A APA do rio Uberaba é dividida em quatro macrozonas: Zona Ambiental Rural 1 (ZAR-APA-1), Zona Ambiental Rural 2 (ZAR-APA-2) Zona Ambiental Rural 3 (ZAR-APA-

3) e Zona Ambiental Perímetro Urbano (ZAPU-APA), com características e diretrizes de ocupação específicas (Figura 1). É importante destacar que na ZAR-APA-2 está concentrada uma região de especial interesse ecológico, região dos covoais (ou campos de murunduns), além da nascente do rio Uberaba, e que a ZAPU-APA compreende 10,08% da área da APA. Ou seja, 10,08% do território da APA é preenchido por ocupação urbana (Prefeitura Municipal de Uberaba, 2022).

Figura 1 - Zoneamento na APA do rio Uberaba.



Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Uberaba, 2022.

Ressalta-se que há um arcabouço legal considerável por detrás do assunto. Trata-se do referido Plano de Manejo em vigor da APA do rio Uberaba, da Lei do SNUC e da

sua regulamentação, da Lei Municipal de criação da APA, da Lei Estadual de Criação da APA, do Regimento Interno do Conselho Gestor da APA, do Plano Diretor de Zoneamento do Perímetro Urbano da APA, dentre outras normativas (Brasil, 2002; Minas Gerais, 1999; Prefeitura Municipal de Uberaba, 2005, 2007, 2017, 2022).

### 3.2 Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados à recuperação ambiental

Estudos relacionados às formas de ocupação do território, à evolução temporal da degradação ambiental, às características dos recursos hídricos e ao uso dos mesmos podem adotar, como potente ferramenta, o sensoriamento remoto. Melo *et al.* (2021) consideram uma definição completa deste conceito como sendo:

A utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (Novo, 2010, p. 28).

Desse modo, infere-se que as técnicas de geoprocessamento, da mesma maneira que as de sensoriamento remoto, representam ferramentas estratégicas para o diagnóstico e o estudo de áreas de interesse.

Valle Junior (2008) realizou, para a bacia hidrográfica do rio Uberaba, o diagnóstico do uso potencial da terra, a espacialização do potencial de erosão do solo, do uso e ocupação atual dos solos e do conflito ambiental, através da utilização do SIG *IDRISI*. Concluiu, dentre outros pontos, que a bacia do rio Uberaba apresenta perdas de solo acima do limite de tolerância em 37,42% da sua área total, e que 15,03% da bacia apresenta conflito Classe 1, 1,82% conflito Classe 2 e 0,22% conflito Classe 3.

Silva (2018) estudou o efeito das transformações antrópicas e das características geomorfológicas na qualidade dos recursos hídricos da mesma bacia utilizando o SIG *ArcGis* para extrair dados como o uso e cobertura, o conflito e a vulnerabilidade dos solos e dos recursos hídricos. Observou que as áreas classificadas como as mais vulneráveis à degradação encontram-se, majoritariamente, nas regiões de nascentes, e que o conflito Classe 1 predomina na região.

Siqueira (2019) também fez uso de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento, utilizando o Sistema de Informação Geográfica *ArcGis* para mapear áreas da APA do rio Uberaba com prioridade para conservação. Equacionou a perda de solo por erosão e o potencial natural de erosão, identificando áreas com maior necessidade para a conservação do solo e da água.

Observa-se, portanto, que as geotecnologias disponíveis oportunizam o estudo direcionado à recuperação ambiental. Constituem fator de importante direcionamento para políticas públicas de restauração ambiental.

### 3.3 Uso da terra e cobertura vegetal

O espaço geográfico pode ser utilizado como um recurso de gestão ambiental, onde responsáveis, tomadores de decisões, são capazes de influenciar, de maneira deliberativa, na melhoria da relação entre sociedade e espaço. O geoprocessamento é, portanto, um conjunto de ferramentas utilizadas para estudo deste espaço, reunindo a cartografia, o armazenamento de dados, o tratamento e a análise das informações de maneira integrada através de um Sistema de Informações Geográficas (Sebusiani e Bettine, 2011).

Por meio de técnicas de geoprocessamento, pode-se diagnosticar a ocupação antrópica em certo território, ou seja, quais atividades decorrentes da intervenção humana estão sendo desenvolvidas em certa porção territorial. Na mesma tangente, é possível diagnosticar formas naturais de ocupação dessas regiões, sejam elas os corpos d'água, as florestas e as demais formações naturais não florestais.

Segundo Carvalho Neto (2020), um planejamento adequado para a exploração do uso da terra é essencial para evitar danos à natureza. Nesse contexto, a aplicação das geotecnologias demonstra-se crucial na tomada de decisões relacionadas ao diagnóstico ambiental, facilitando a localização das áreas protegidas por lei e colaborando para a recuperação e conservação dos recursos naturais. Ainda de acordo com o autor, diversas alterações em relação ao uso e ocupação do solo ocorrem no Triângulo Mineiro, região do estado de Minas Gerais, pelo fato de ser uma área com bastante diversificação dos solos e com diferentes monoculturas.

O produto cartográfico que diagnostica a cobertura atual de um território é denominado “Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal” ou ainda, segundo alguns autores, “Mapa de Uso e Ocupação do Solo”. Esse tipo de mapa possui relevância por demonstrar, a partir da interpretação de imagens de satélite, áreas ocupadas por diversas atividades, como pastagem, agricultura, vegetação natural nativa, cursos de rios, dentre outras. Além disso, distinguem variações na paisagem, provocadas de forma natural ou antrópica.

A interpretação dos dados de uso da terra é uma importante ferramenta de gestão de um espaço e pode ser utilizada por planejadores e legisladores com a finalidade de elaboração de políticas de ocupação de determinada região. Verificar a utilização do solo possibilita, além do mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal, a avaliação de impactos ambientais, a identificação de processos erosivos, o controle de inundações, entre outros levantamentos (Brito e Prudente, 2005).

Outra ferramenta de auxílio ao sensoriamento remoto é o Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil, o MapBiomass, que representa uma ação criada com a finalidade de apresentar resultados sobre o uso e a cobertura do solo no país. Essa plataforma consegue processar conjuntos de dados em grande escala, gerando séries históricas de mapas de cobertura e uso da terra, contribuindo para o aprimoramento de uma metodologia confiável e rápida.

### 3.4 Conflitos de uso do solo

Os conflitos de uso do solo estão entre as principais causas de erosões e de assoreamentos de rios e barragens. Eles ocorrem em duas situações principais: quando a utilização da terra não segue as recomendações baseadas no coeficiente de rugosidade, ou quando a terra é subutilizada, resultando em baixa produtividade devido ao emprego de técnicas inadequadas ou desaconselhadas. O coeficiente de rugosidade orienta a escolha entre atividades como agricultura, pecuária, reflorestamento ou preservação ambiental, de acordo com o potencial de uso da terra, garantindo que as práticas adotadas sejam as mais adequadas para manter o equilíbrio ecológico e a produtividade sustentável (Valle Junior *et al.*, 2013).

Rocha e Kurtz (2001) destacam-se nesse cenário com uma metodologia eficaz para a identificação e mitigação de conflitos de uso do solo. A abordagem integra a análise de dados ambientais com os aspectos socioeconômicos, proporcionando uma visão abrangente sobre o uso da terra. Através da sua aplicação, é possível identificar áreas críticas onde o uso atual da terra contraria o uso potencial e, conseqüentemente, as recomendações técnicas, possibilitando a adoção de medidas corretivas que visem maximizar a produtividade e minimizar os impactos ambientais negativos.

Adicionalmente, o princípio do poluidor pagador é um conceito fundamental na gestão de conflitos de uso do solo. Esse princípio estabelece que aqueles que causam danos ao meio ambiente devem arcar com os custos das medidas necessárias para mitigar esses impactos. Em situações onde o uso inadequado do solo resulta em degradação ambiental, como erosão, assoreamento de rios e perda de biodiversidade, a aplicação do princípio do poluidor pagador assegura que os responsáveis sejam financeiramente responsáveis pela recuperação dessas áreas. Isso não apenas incentiva práticas mais sustentáveis, mas também promove a justiça ambiental (Valera, 2017).

### 3.5 Metodologia AHP - *Analytic Hierarchy Process*

A sobreposição de produtos cartográficos pode gerar resultados passíveis de interpretação, orientando pesquisas e subsidiando tomadas de decisão. Uma análise de multicritérios utiliza um agrupamento de variáveis múltiplas, em ambiente SIG, objetivando o atendimento de problemas ou planejamentos na área ambiental.

A escolha de locais apropriados para um propósito específico é um problema clássico que tem empregado os Sistemas de Informação Geográfica como sua principal solução, especialmente com o aumento da disponibilidade de softwares e linguagens de programação aptas a manipular as bases espaciais presentes em vários bancos de dados, tanto nacionais quanto internacionais (Pimenta et al., 2019).

A metodologia *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, desenvolvida por Thomas Saaty, é usada para a tomada de decisões complexas ao comparar critérios e alternativas, atribuindo pesos baseados em suas importâncias. O AHP é amplamente utilizado em várias áreas, incluindo planejamento urbano, gestão ambiental, engenharia e negócios,

devido à sua capacidade de lidar com decisões multifacetadas e de incorporar tanto critérios quantitativos quanto qualitativos.

O processo de AHP começa com a definição do objetivo da decisão, seguido pela identificação dos critérios que influenciam essa decisão. Esses critérios são então organizados em uma hierarquia, que pode incluir subcritérios para maior detalhamento. Após a estruturação da hierarquia, os decisores realizam comparações pareadas entre os elementos, avaliando-os em uma escala de importância relativa. As comparações são utilizadas para construir matrizes de julgamento, que são posteriormente convertidas em um conjunto de pesos numéricos que refletem a prioridade de cada elemento (Jordão e Pereira, 2006).

A análise de multicritérios, da qual o AHP é um exemplo, é uma abordagem que considera múltiplos critérios na avaliação de alternativas de decisão. Diferentemente de métodos tradicionais que podem focar em um único critério (como custo ou tempo), a análise de multicritérios integra diversos aspectos, permitindo uma avaliação mais abrangente e equilibrada. Essa análise é particularmente útil em contextos onde as decisões têm implicações complexas e multifacetadas, exigindo uma consideração cuidadosa de diversos fatores que podem influenciar o resultado final.

A vulnerabilidade ambiental refere-se à susceptibilidade de um sistema ambiental a sofrer danos devido a pressões externas, naturais ou antrópicas. Identificar áreas mais vulneráveis em uma bacia hidrográfica permite sua melhor gestão, define áreas com prioridade para conservação e direciona áreas adequadas ao seu uso (Silva, 2018). Já a fragilidade ambiental está relacionada à sensibilidade intrínseca de um ambiente a perturbações, destacando as áreas onde os impactos podem ser mais severos devido à delicadeza dos ecossistemas ou à presença de recursos naturais críticos (Anjinho *et al.*, 2021).

O *Analytic Hierarchy Process* oferece uma metodologia robusta para a tomada de decisões em cenários complexos, permitindo a consideração sistemática de múltiplos critérios e suas interações. A análise de multicritérios é ampla e integra diversos fatores na avaliação de alternativas, podendo representar os conceitos de vulnerabilidade e fragilidade ambiental, a depender do objetivo e da metodologia empregadas na

abordagem. Podem fornecer, portanto, estimativas importantes sobre a susceptibilidade e a sensibilidade dos ecossistemas a diferentes tipos de impactos.

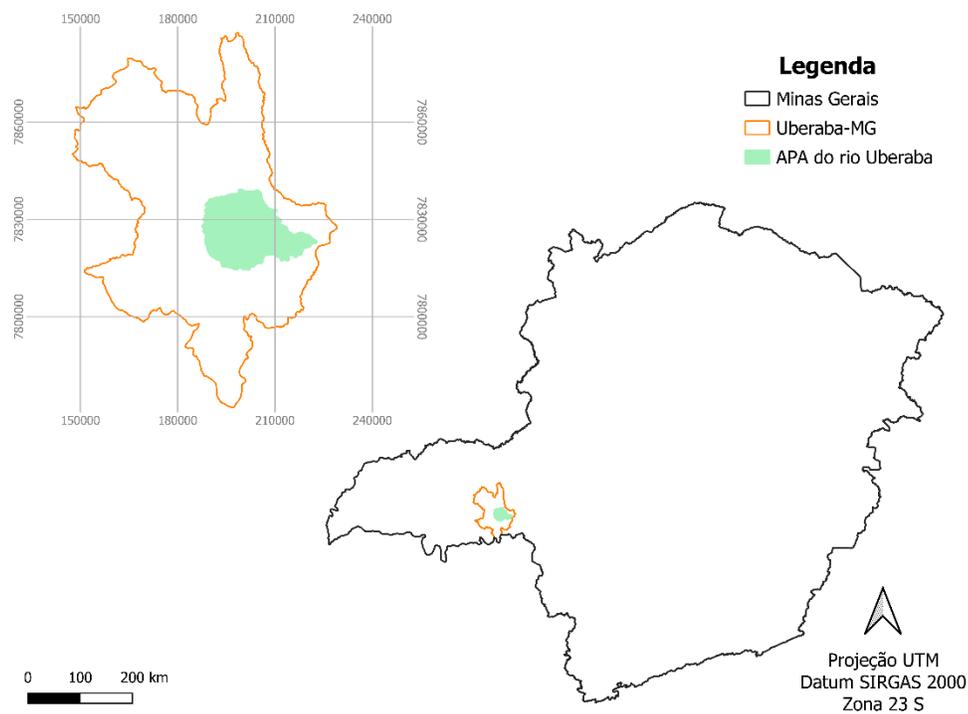
## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Caracterização da área de estudo**

A APA do rio Uberaba fica situada no município de Uberaba, Minas Gerais, possui área equivalente a 528,10 km<sup>2</sup>, é formada pela bacia hidrográfica do rio Uberaba e fica localizada a montante do ponto de captação de águas superficiais para abastecimento público municipal, nas coordenadas geográficas 19°42'54,79" S e 47°56'08,76" O. É composta por dezessete microbacias hidrográficas, das quais: microbacia do córrego Água Santa, do córrego Alegria, do córrego Barreiro, do córrego Bocaina, do córrego Buracão, do córrego da Vida, do córrego Inhame, do córrego Lajeado, do córrego Lanhoso, do córrego Limo, do córrego Mangabeira, do córrego Mutum, do córrego dos Pintos, do Ribeirão Saudade, do córrego Sapecado, do córrego Serafim e, por último, do córrego Tatu (Prefeitura Municipal de Uberaba, 2005). Também é composta pela área de contribuição do rio Uberaba, regiões denominadas Alto Curso, Médio Curso e Baixo Curso.

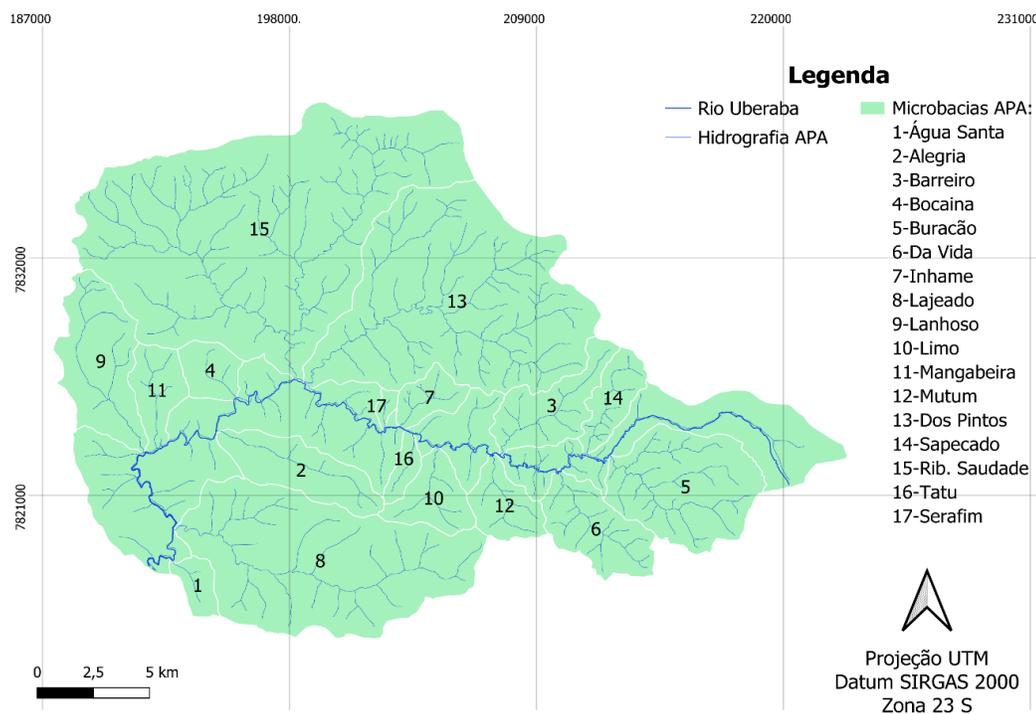
A Figura 2 destaca a localização da unidade de conservação no município de Uberaba e no estado de Minas Gerais, e a Figura 3 identifica suas microbacias, bem como sua hidrografia.

Figura 2 - Localização da APA do rio Uberaba.



Fonte: Da Autora, 2024.

Figura 3 - Identificação das microbacias da APA do rio Uberaba.



Fonte: Da Autora, 2024.

Sua geologia é constituída por rochas sedimentares do grupo Bauru – Formações Marília e Uberaba – e, também, por rochas basálticas do grupo São Bento – Formação Serra Geral. Também apresenta coberturas Dentrítico-Laterítica nas regiões de chapada, onde a altitude varia entre 1000 e 1200 metros (Siqueira, 2019).

O município de Uberaba é conhecido por abrigar unidades geológicas extremamente ricas em fósseis, tendo sido palco de importantes investigações paleontológicas desde a década de 1940 e se tornando, desde então, referência mundial para o estudo da fauna continental que existiu há 80 milhões de anos (Ribeiro, 2014).

De acordo com a Prefeitura Municipal de Uberaba (2022) as chuvas na APA apresentam um comportamento típico do clima tropical que incide na mesma, com duas estações bem definidas, sendo o verão chuvoso e o inverno seco. Além disso, as chuvas ocorrem entre os meses outubro e março, a estiagem entre maio e setembro e, a transição entre as estações acontece no mês de abril. É marcada por uma diversidade de classes de uso do solo (pastagem, floresta, agricultura anual e irrigada, áreas úmidas, corpos d'água, mineração, área urbana, entre outras), sendo predominada por pastagem.

#### 4.2 Escolha dos critérios

Os múltiplos critérios trabalhados neste estudo foram definidos considerando-se as características naturais (geologia, declividade e distância), e antrópicas (conflito e uso) da região. Pereira, Costa e Santos (2021) realizaram uma revisão de literatura e identificaram os principais critérios adotados no diagnóstico de áreas prioritárias para conservação em bacias hidrográficas, o que também foi considerado. Os fatores levantados incluem áreas de captação para abastecimento público, proximidade à rede de drenagem, conexão de fragmentos florestais, suscetibilidade a erosão, distância da malha viária, índice de urbanização e proteção de áreas ecologicamente relevantes.

#### 4.3 Elaboração dos produtos cartográficos

O processamento das imagens foi realizado no *QGIS* versão 3.30. Dados de uso e cobertura da terra foram obtidos do *Google Earth Engine (GEE)* e da Coleção 8 do projeto MapBiomas, ambos de 2022, satélite LANDSAT 8. A declividade foi determinada

a partir do conjunto de dados ALOS PALSAR, de 10 metros de resolução espacial. Os demais produtos cartográficos incluem mapas de aptidão do solo, de conflitos de uso, de geologia e de distância dos cursos d'água.

Os arquivos vetoriais em formato *shapefile* de delimitação do município de Uberaba, bem como da hidrografia da bacia do rio Grande, foram extraídos do IDE-Sisema (Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos), enquanto que a delimitação da APA do rio Uberaba foi obtida através do *site* da Prefeitura de Uberaba.

Em todos os arquivos trabalhados, foram verificados e corrigidos os SRC, Sistema de Referência de Coordenadas, para SIRGAS 2000, UTM e zona 23 Sul. O compilado das bases de dados utilizadas encontra-se na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Base de dados e finalidade das camadas utilizadas.

<b>Camada</b>	<b>Base de dados</b>	<b>Finalidade</b>
<i>Raster</i> - Modelo Digital de Elevação (MDE)	Plataforma <i>Earth Data</i> , da NASA, conjunto de dados ALOS PALSAR, 10m de resolução espacial e cobertura temporal 2006-2011	Delimitação das microbacias da APA e cálculo das características morfométricas
<i>Shapefile</i> – delimitação município de Uberaba	IDE-Sisema, 30m de resolução espacial, LANDSAT 8	
<i>Shapefile</i> – delimitação hidrografia rio Grande	IDE-Sisema, 30m de resolução espacial, LANDSAT 8	Base para elaboração dos mapas gerados neste estudo
<i>Shapefile</i> – delimitação APA do rio Uberaba	Prefeitura de Uberaba	
<i>Shapefile</i> – uso da terra e cobertura vegetal	Plataforma <i>Google Earth Engine</i> (GEE) e Coleção 8 MapBiomas, ano de 2022, LANDSAT 8	Elaboração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal

#### 4.3.1 Uso da terra e cobertura vegetal

Após extrair o arquivo vetorial de uso e cobertura para a APA do rio Uberaba do GEE, o mesmo foi rasterizado e reclassificado por tabela. As classes escolhidas foram as correspondentes à metodologia Valle Júnior (2008), sendo agricultura, pastagem, transição pastagem floresta, e floresta (Tabela 3). As categorias área urbanizada, mineração, rio, lago e oceano não foram classificadas.

#### 4.3.2 Uso potencial do solo ou aptidão do solo

Os MDEs da região de interesse foram recortados e as microbacias hidrográficas foram delimitadas usando a ferramenta *r.watershed*. O coeficiente de rugosidade (RN) foi calculado a partir da densidade de drenagem e da declividade média das microbacias, seguindo a metodologia de Rocha e Kurtz (2001), para determinar a aptidão do solo para diferentes usos (Tabela 10).

Rocha e Kurtz (2001) definiram uma metodologia amplamente utilizada para diagnosticar o uso potencial do solo, ou a aptidão do solo, através do que denominaram “Coeficiente de Rugosidade” (*Ruggdeness Number, RN*). Trata-se de um parâmetro que direciona o uso potencial da terra com relação às suas características para agricultura, pastagem e/ou florestamento. É determinado pelo produto entre a Densidade de drenagem (Dd) e a Declividade Média da Microbacia (DME).

Equação 01

$$RN = Dd \times DME$$

Rocha e Kurtz (2001) ainda citam quatro classes para o RN, descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Classes para o coeficiente de rugosidade.

<b>Classes</b>	<b>Características</b>
A	Solos com aptidão para agricultura (menor valor de RN)
B	Solos com aptidão para pastagem
C	Solos com aptidão para pastagem/florestamento
D	Solos com aptidão para florestamento (maior valor de RN)

Fonte: Adaptado de Rocha e Kurtz (2001).

O RN relaciona-se com a erosão do solo de maneira diretamente proporcional. Quanto maior for o coeficiente de rugosidade obtido para uma determinada área, maior será a ocorrência de erosão na mesma (Costa *et al.*, 2020).

#### 4.3.3 Conflito de uso do solo

Sequencialmente à elaboração do uso potencial da terra, realizou-se a classificação dos pesos do RN, utilizando a metodologia proposta por Valle Junior (2008). As microbacias tiveram seus pesos definidos de 1 a 4 (Tabela 3) para o uso e cobertura, possibilitando a elaboração do mapa de conflitos, conforme metodologia estabelecida pelo autor.

Tabela 3 - Classificação dos pesos referentes às classes de RN e o uso do solo.

<b>Classes RN</b>	<b>Pesos</b>
A – Agricultura	1
B – Pastagem	2
C – Pastagem/Floresta	3
D – Floresta	4

Fonte: Adaptado de Valle Junior (2008).

O conflito de uso do solo é, portanto, calculado através da álgebra de mapas representada na Equação 2. Ademais, as Classes de conflito são interpretadas conforme o disposto na Tabela 4.

Equação 2

$$\text{Conflito} = \text{Aptidão} - \text{Uso}$$

Tabela 4 - Classes de conflito.

<b>Classes de Conflito</b>	<b>RN - Uso Atual (peso)</b>	<b>Recomendação</b>
Classe 1	Ex: $4 - 3 = 1$ $3 - 2 = 1$ $2 - 1 = 1$	Apresentam riscos ou limitações permanentes severas quando usadas para culturas anuais e pastagens, seu uso deve ser norteado pela implementação de técnicas conjuntas de conservação do solo (caráter vegetativo, mecânico).
Classe 2	Ex: $4 - 2 = 2$ $3 - 1 = 2$	Terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagem nativa, reflorestamento ou preservação ambiental
Classe 3	Ex: $4 - 1 = 3$	Terras impróprias para cultivos intensivos e pastagens, mas ainda adaptadas para reflorestamento ou preservação ambiental

Fonte: Adaptado de Valle Junior (2008).

Não se considerou conflito de uso do solo quando os valores resultantes da subtração dos pesos dos mapas foram negativos ou zero, classificando essas áreas como adequadas para expansão agrícola. Essas regiões apresentam potencial para a expansão sustentável da agricultura e/ou pastoreio (Costa *et al.*, 2020).

#### 4.3.4 Geologia

Utilizou-se do Programa de Mapeamento do Estado de Minas Gerais - Projeto Triângulo Mineiro, para a elaboração do mapa geológico da APA do rio Uberaba, com base na folha Uberaba-Igarapava, em escala de 1:100.000 (CODEMIG, 2017).

#### 4.3.5 Distância dos cursos d'água

Foi adotada uma faixa de Área de Preservação Permanente (APP) mínima de 30 metros para toda a APA do rio Uberaba, considerando o que estabelece o Código

Florestal Brasileiro. A ferramenta de geoprocessamento *buffer* foi utilizada para estabelecer essa faixa marginal da camada vetorial de hidrografia da APA. A partir daí, múltiplos *buffers* foram gerados, adotando distância de 15 metros entre eles, até alcançar a distância máxima de 105 metros dos cursos d'água. Para essa etapa, utilizou-se o complemento *MultiDistanceBuffer* do SIG QGIS 3.30.

#### 4.3.6 Declividade

O mapa de declividade foi produzido a partir do Modelo Digital de Elevação da APA do rio Uberaba, reclassificando-se os intervalos de acordo com a EMBRAPA (1979), conforme representa a Tabela 5.

Tabela 5 - Intervalos de classe de declividade e seus relevos correspondentes.

<b>Declividade (%)</b>	<b>Discriminação</b>
0 - 3	Relevo plano
3 - 8	Relevo suavemente ondulado
8 - 20	Relevo ondulado
20 - 45	Relevo fortemente ondulado
45 - 75	Relevo montanhosos
> 75	Relevo fortemente montanhoso

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1979).

#### 4.4 Metodologia AHP - *Analytic Hierarchy Process*

A metodologia AHP foi utilizada para ponderar os critérios e construir um mapa de multicritérios. De acordo com a metodologia proposta por Saaty (1990), após a definição do problema, o mesmo deve ser dividido em critérios hierárquicos equivalentes para facilitar sua compreensão e avaliação. Essa abordagem permite a comparação em pares de todos os critérios, e o autor enfatiza a importância de incluir dados suficientes para obter uma visão abrangente da situação.

A divisão dos critérios, das classes e dos pesos atribuídos neste estudo está descrita na Tabela 6. Os pesos variaram em uma escala de 0 a 255, sendo os maiores valores conferidos às regiões de superior prioridade para recuperação ambiental, cujas atribuições foram fundamentadas em bibliografias relacionadas ao método (Almeida *et al.*, 2020; Leacina, 2017; Martins, 2020; Silva, 2018; Siqueira, 2016; Valera, 2017; Valle Junior *et al.*, 2013, 2014).

Tabela 6 - Critérios escolhidos pela autora, suas classes e os pesos estabelecidos.

<b>Mapas</b>	<b>Classes</b>	<b>Pesos</b>
Conflito de Uso	3	255
	2	175
	1	75
Uso e Cobertura	Agricultura	255
	Pastagem	175
	Floresta	75
Geologia	F. Dentrítico-Laterítico	255
	F. Marília	255
	F. Uberaba	112
	F. Serra Geral	170
Distância dos cursos d'água	0m (rios)	0
	até 30m	255
	30m a 45m	175
	45m a 60m	150
	60m a 75m	100
	75m a 90m	75
	90m a 105m	50
	acima 105m	1
Declividade	até 3%	50
	3% a 8%	75
	8% a 20%	115
	20% a 45%	230
	acima 45%	255

Fonte: Da Autora, 2024.

Seguindo a metodologia de Saaty (1990), os critérios tiveram sua prioridade definida por meio da escala de intensidade de importância (Tabela 7).

Tabela 7 - Escala de intensidade de importância, suas definições e explicações.

<b>Intensidade de importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
1	Importância igual	Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada	Um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial	Um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada	Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema	A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários entre julgamentos	Quando há necessidade de valores intermediários

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

Os valores de importância foram, então, utilizados na construção da matriz comparativa (Tabela 8), em que os valores diagonais sempre equivalem a 1, e os valores vizinhos manifestam a importância entre as variáveis comparadas. A escolha das referidas importâncias foi pautada em Siqueira (2016), que fez uso da mesma metodologia para verificar a vulnerabilidade ambiental dos recursos hídricos e das áreas de influência das rodovias na APA do rio Uberaba.

Tabela 8 - Matriz comparativa AHP com as variáveis do estudo.

	Conflito de Uso	Uso e Cobertura	Geologia	Distância dos cursos d'água	Declividade
Conflito de Uso	1	0,333	0,333	0,2	0,333
Uso e Cobertura	3	1	0,333	0,333	0,333
Geologia	3	3	1	0,333	0,333
Distância dos cursos d'água	5	3	3	1	0,5
Declividade	3	3	3	2	1

Fonte: Da Autora, 2024.

Ainda de acordo com Saaty (1990), na sequência, os valores devem ser normalizados para se obter os pesos ponderados de cada uma das variáveis. Buscando maior confiabilidade, os cálculos de normalização foram realizados por meio do *plugin Easy AHP*, presente no SIG QGIS, versão 2.18 (Tabela 9).

Tabela 9 - Pesos das variáveis normalizados na ferramenta *Easy AHP*.

<b>Crítérios</b>	<b>Normalização dos pesos</b>
Conflito de Uso	0,065
Uso e Cobertura	0,112
Geologia	0,168
Distância dos cursos d'água	0,295
Declividade	0,360

Fonte: Da Autora, 2024.

A construção do mapa de multicritérios foi realizada utilizando a ferramenta “calculadora *raster*”, mediante o cálculo da multiplicação dos mapas pelos seus pesos normalizados, conforme demonstra a Equação 3.

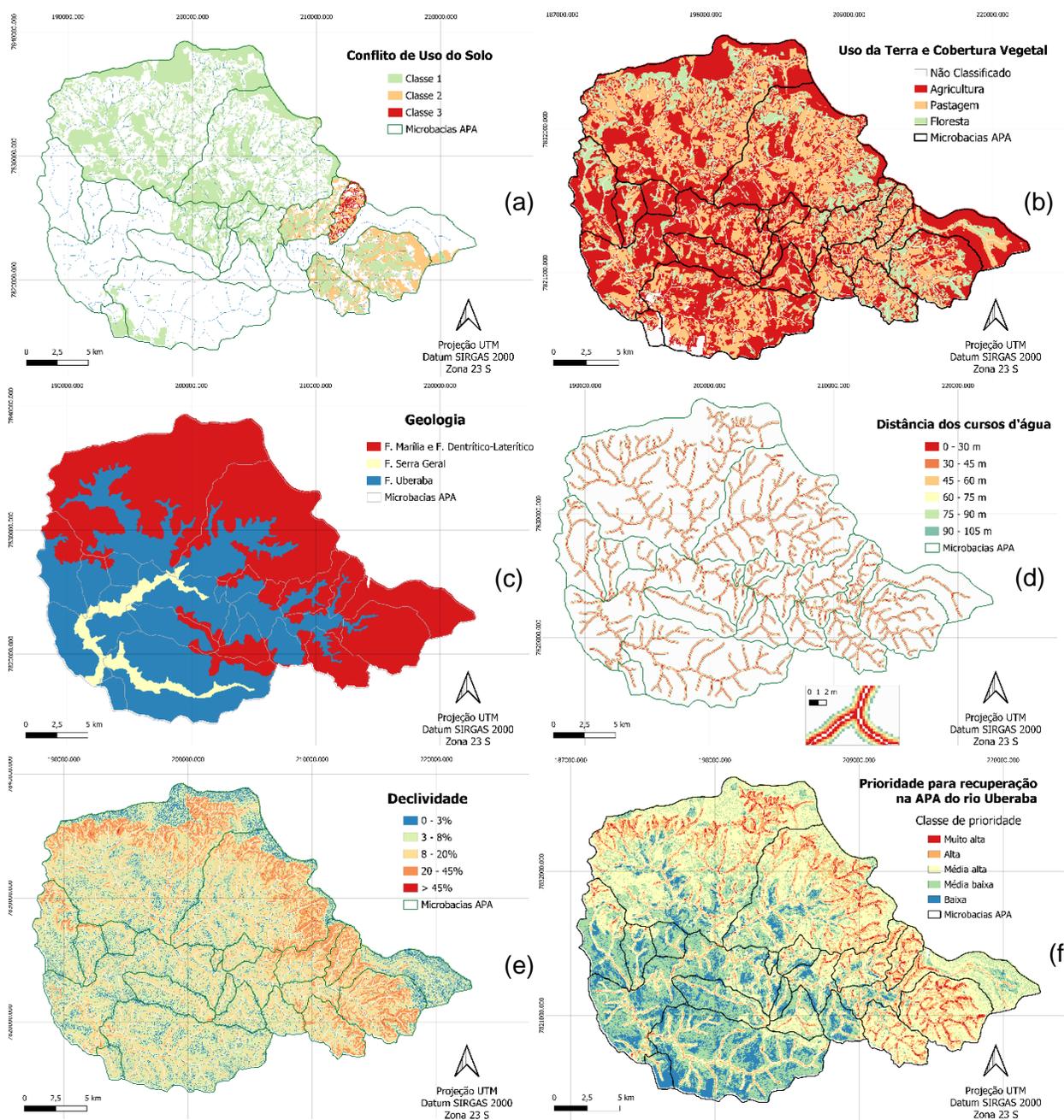
$$\text{Equação 3} \quad \text{Multicritérios} = (\text{Conflito de Uso} * 0,065) + (\text{Uso e Cobertura} * 0,112) + (\text{Geologia} * 0,168) + (\text{Distância dos cursos d'água} * 0,295) + (\text{Declividade} * 0,360)$$

Por fim, o mapa final foi reclassificado nas categorias “Muito Alta”, “Alta”, “Média Alta”, “Média Baixa” e “Baixa” prioridades.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desenvolvimento da metodologia levou à obtenção dos seguintes produtos cartográficos e interpretações. A Figura 4 representa um comparativo entre os mapeamentos obtidos, em que é possível notar a contribuição de cada fator no mapa final (f).

Figura 4 - Mapa de multicritérios (f) para os fatores conflito (a), uso e cobertura (b), geologia (c), distância (d) e declividade (e).



Fonte: Da Autora, 2024.

### 5.1 Mapeamento dos múltiplos critérios

Conforme já apresentado neste estudo, para elaboração do Mapa de Conflito de Uso do Solo foi necessário, em um primeiro momento, estimar os parâmetros morfométricos comprimento dos cursos d'água, declividade, área, densidade de drenagem das microbacias e, finalmente, o coeficiente de rugosidade RN (Tabela 10).

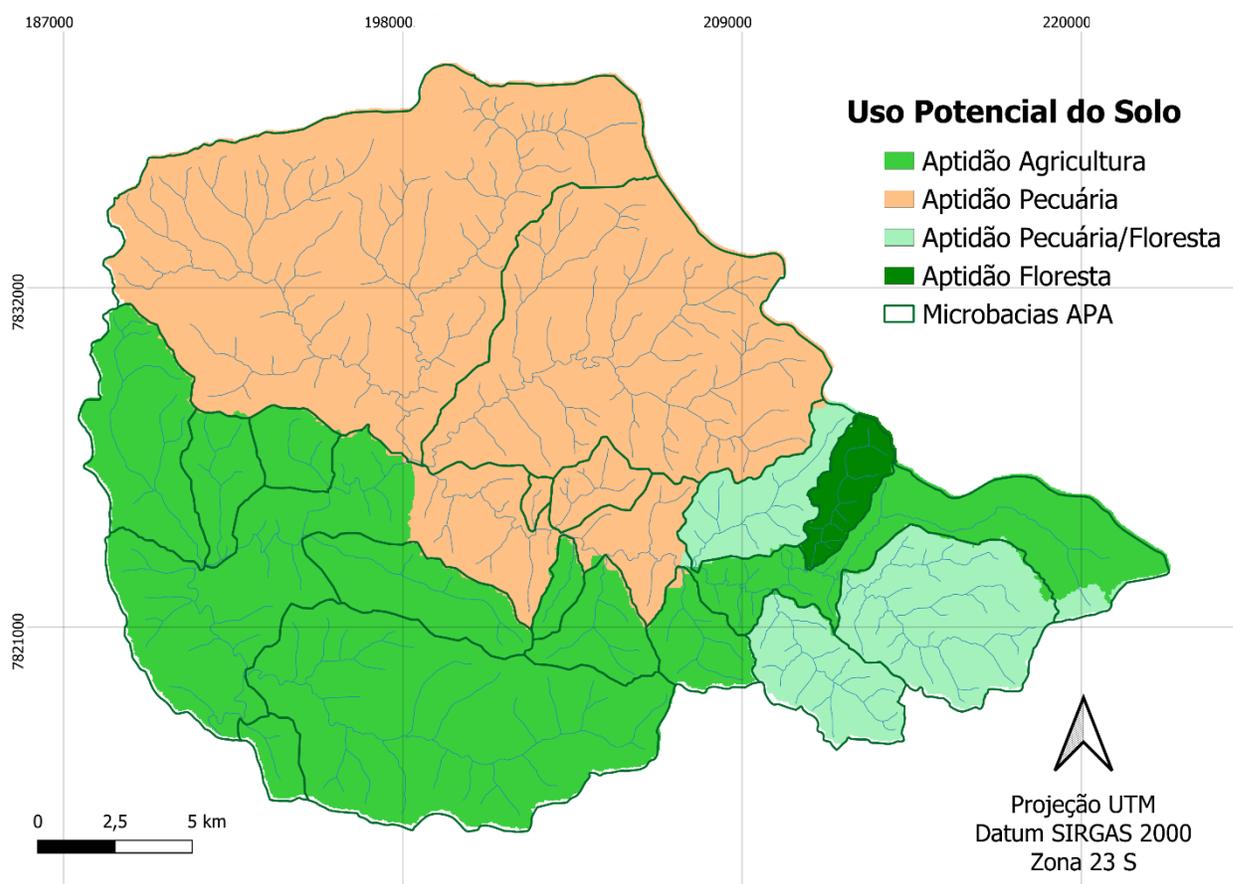
Tabela 10 - Características morfométricas calculadas para as microbacias da APA do rio Uberaba.

<b>Microbacias</b>	<b>Declividade (%)</b>	<b>Comprimento (km)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Densidade Drenagem (km/km<sup>2</sup>)</b>	<b>RN</b>
Água Santa	7,08	2,99	3,41	0,88	6,22
Alegria	6,78	10,26	15,52	0,66	4,48
Alto Curso	8,37	30,23	27,50	1,10	9,20
Baixo Curso	6,83	41,45	39,57	1,05	7,16
Barreiro	14,01	14,86	13,20	1,12	15,77
Bocaina	6,24	4,24	6,30	0,67	4,20
Buracão	15,07	36,99	28,63	1,29	19,47
Da Vida	13,34	20,45	14,06	1,45	19,41
Dos Pintos	11,66	102,53	83,66	1,23	14,29
Inhame	8,72	7,49	5,47	1,37	11,94
Lajeado	6,60	57,49	64,43	0,89	5,89
Lanhoso	8,28	19,68	20,65	0,95	7,89
Limo	6,78	8,62	9,17	0,94	6,37
Mangabeira	7,10	7,72	8,22	0,94	6,67
Médio Curso	8,17	32,82	27,57	1,19	9,72
Mutum	7,93	8,93	7,94	1,12	8,92
Ribeirão Saudade	10,29	132,69	123,36	1,08	11,07
Sapicado	17,05	10,82	7,49	1,44	24,63
Tatu	6,98	2,87	2,87	0,99	6,97

Fonte: Da Autora, 2024.

Os dados foram usados para gerar o Mapa de Uso Potencial do Solo (Figura 5), indicando que 47,62% da APA do rio Uberaba é apta para pecuária, 39,93% para agricultura, 10,95% para transição pecuária-floresta e 1,49% para floresta.

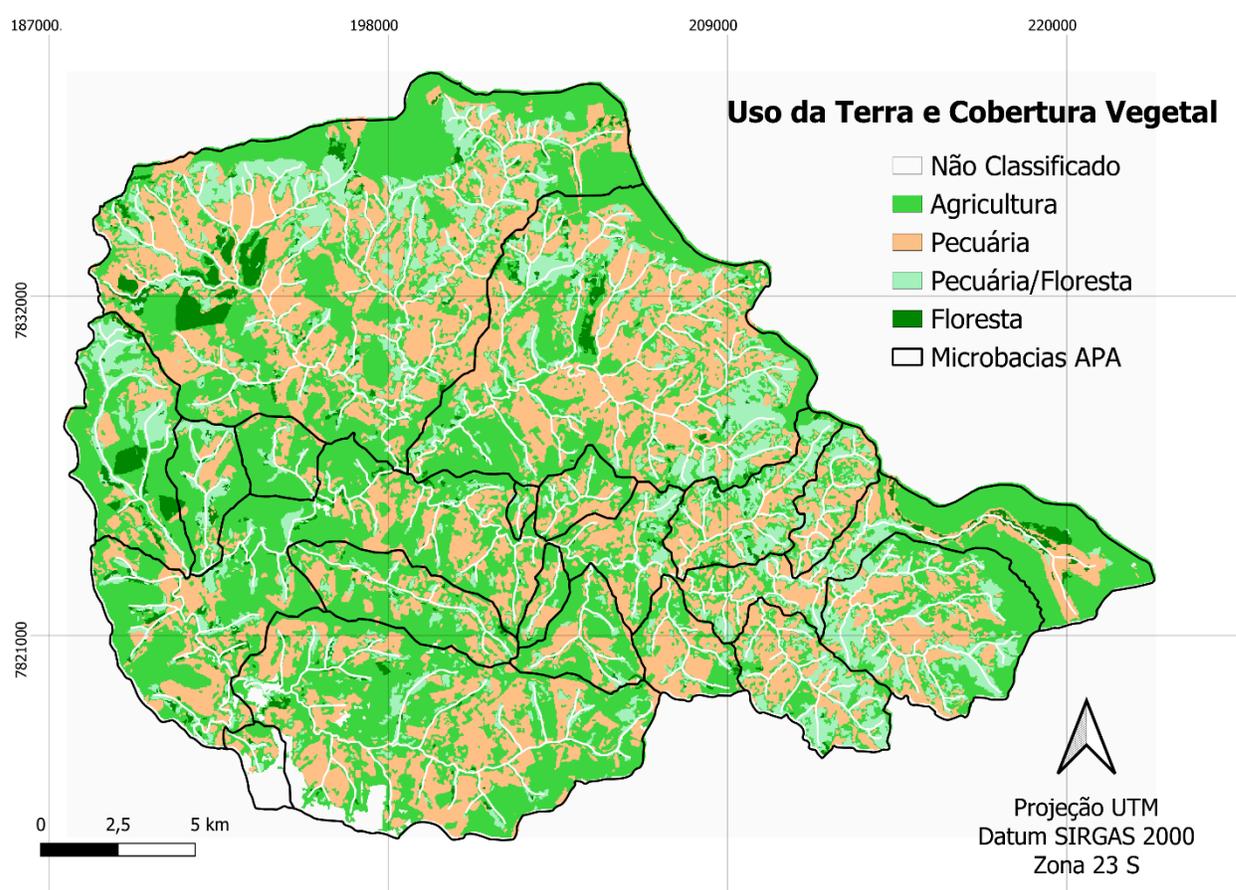
Figura 5 - Mapa de Uso Potencial do Solo.



Fonte: Da Autora, 2024.

A Figura 6 ilustra o uso e cobertura vegetal para o ano de 2022 na região estudada. Sua interpretação concluiu que 47,58% da APA do rio Uberaba possui cobertura agrícola do solo sendo, então, a classe predominante. Seguida pela pastagem (33,05%), pela transição pastagem floresta (15,39%) e pelos fragmentos florestais (2,82%). Os usos não classificados neste mapa, como a zona urbanizada, os corpos d'água e as atividades de mineração, compreenderam 1,16% da APA.

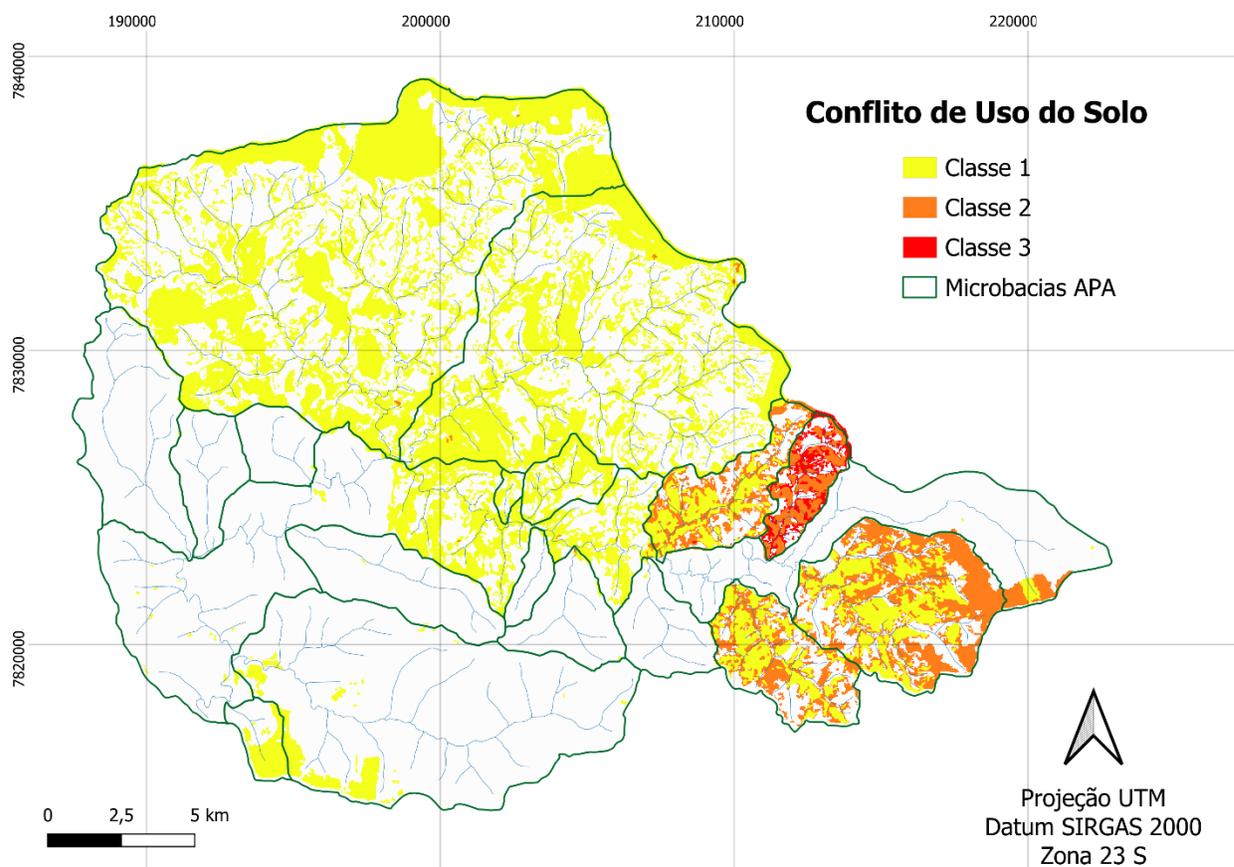
Figura 6 - Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal.



Fonte: Adaptado de MapBiomas (2022).

O Conflito de Uso do Solo foi obtido subtraindo o Uso da Terra e Cobertura Vegetal do Uso Potencial do Solo. A APA do rio Uberaba apresentou, na maior parte da sua extensão, conflito Classe 1 (27,14%), seguido dos conflitos Classe 2 (4,99%) e Classe 3 (0,49%), respectivamente (Figura 7).

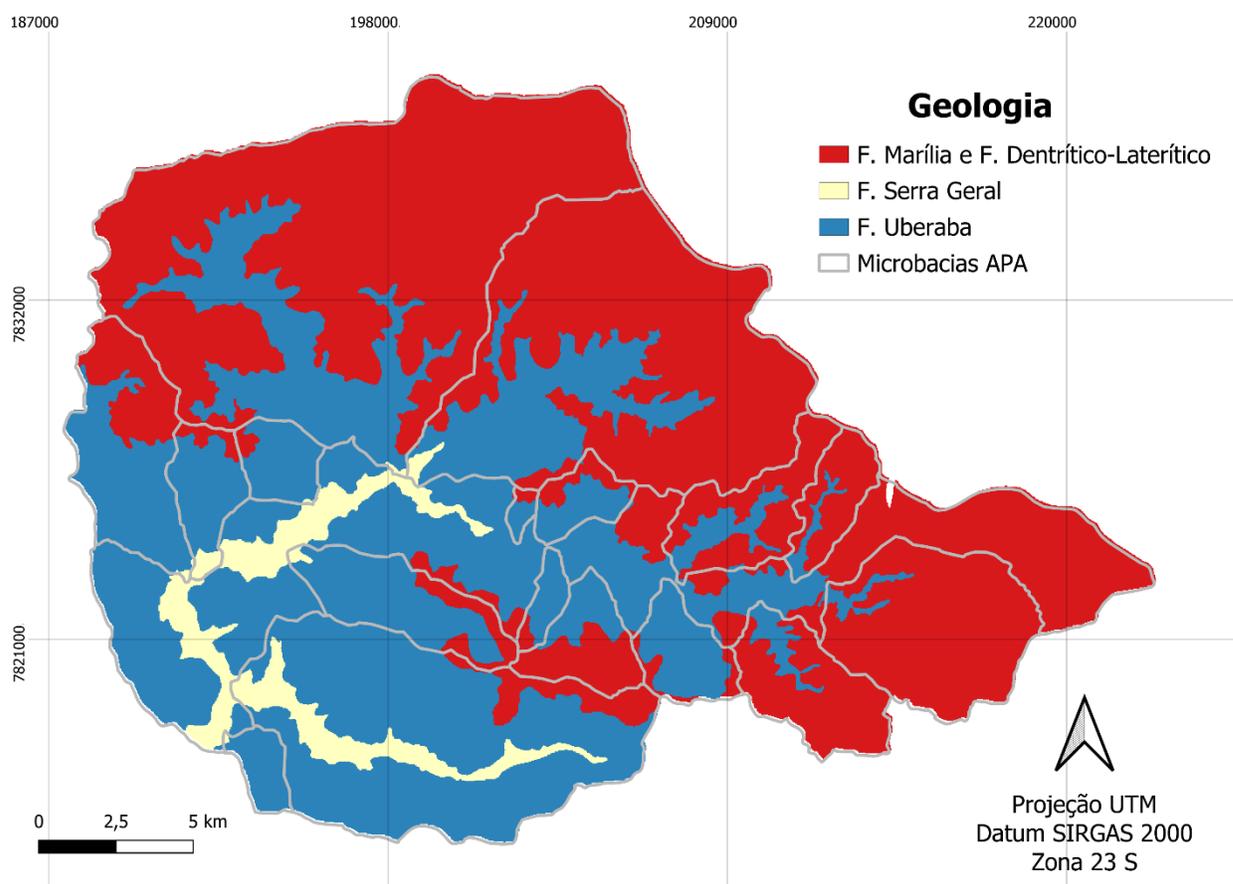
Figura 7 - Mapa de Conflito de Uso do Solo.



Fonte: Da Autora, 2024.

As Formações Marília e Dentrítico-Laterítico dominam a geologia da APA do rio Uberaba, com 282,83 km<sup>2</sup>, seguidas pela Formação Uberaba com 222,52 km<sup>2</sup> e a Formação Serra Geral com 22,58 km<sup>2</sup> (Figura 8).

Figura 8 - Mapa Geológico.

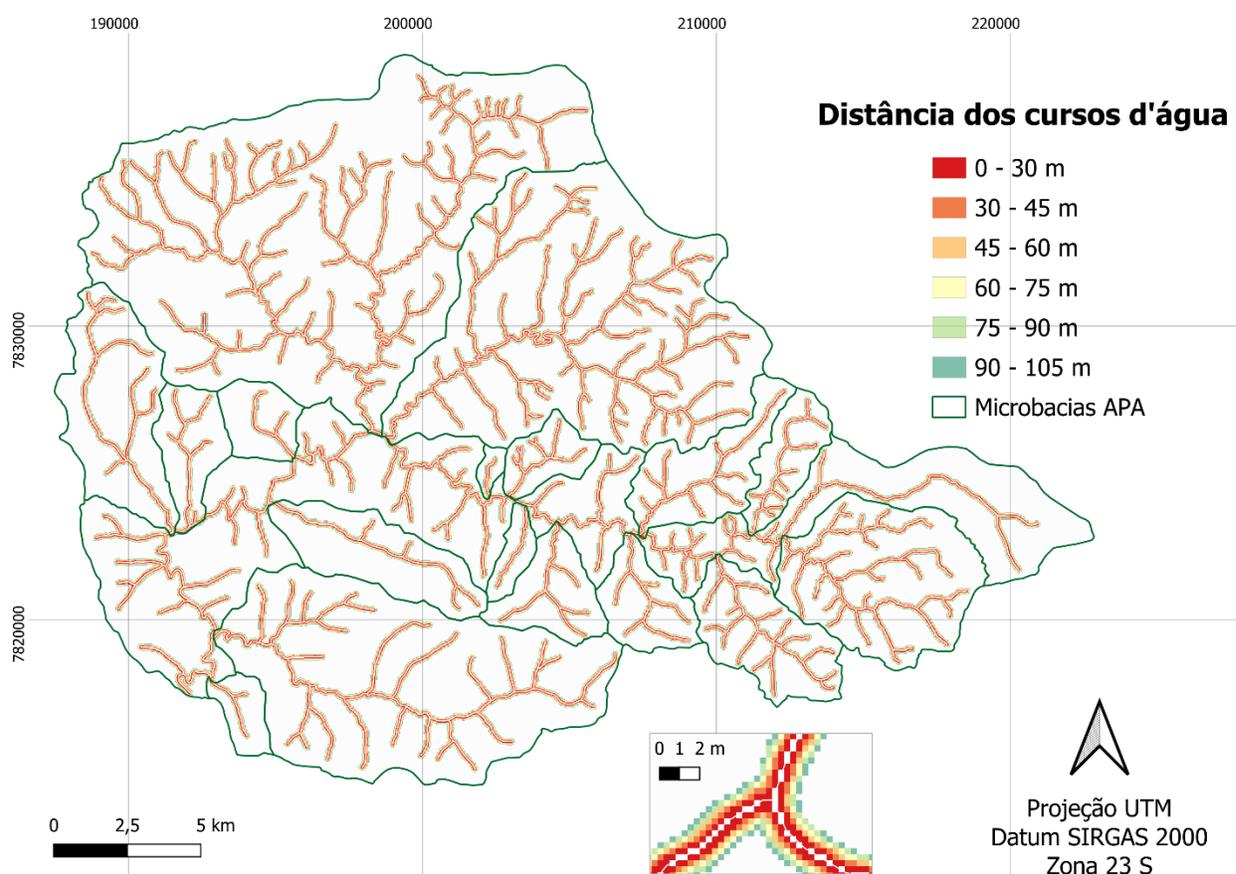


Fonte: Adaptado de CODEMIG (2017).

Atribuiu-se, também, importâncias distintas às diferentes faixas de APP para elaboração do Mapa da distância dos cursos d'água (Figura 9) respeitando o que preconiza o Código Florestal Brasileiro e o que apresenta o Plano de Manejo da APA. Portanto, a maior ponderação de peso (255) deu-se para distâncias até 30 metros – excluindo os recursos hídricos – e a menor (50) para as distâncias entre 90 e 105 metros.

O PM sugeriu a adoção voluntária de uma faixa marginal de proteção aos cursos d'água equivalente a 100 metros. Denominada ZPAR, sua função seria desempenhar a função de zona de amortecimento para o escoamento superficial e os sedimentos até as Áreas de Preservação Permanentes, evitando o assoreamento dos rios (Prefeitura Municipal de Uberaba, 2022).

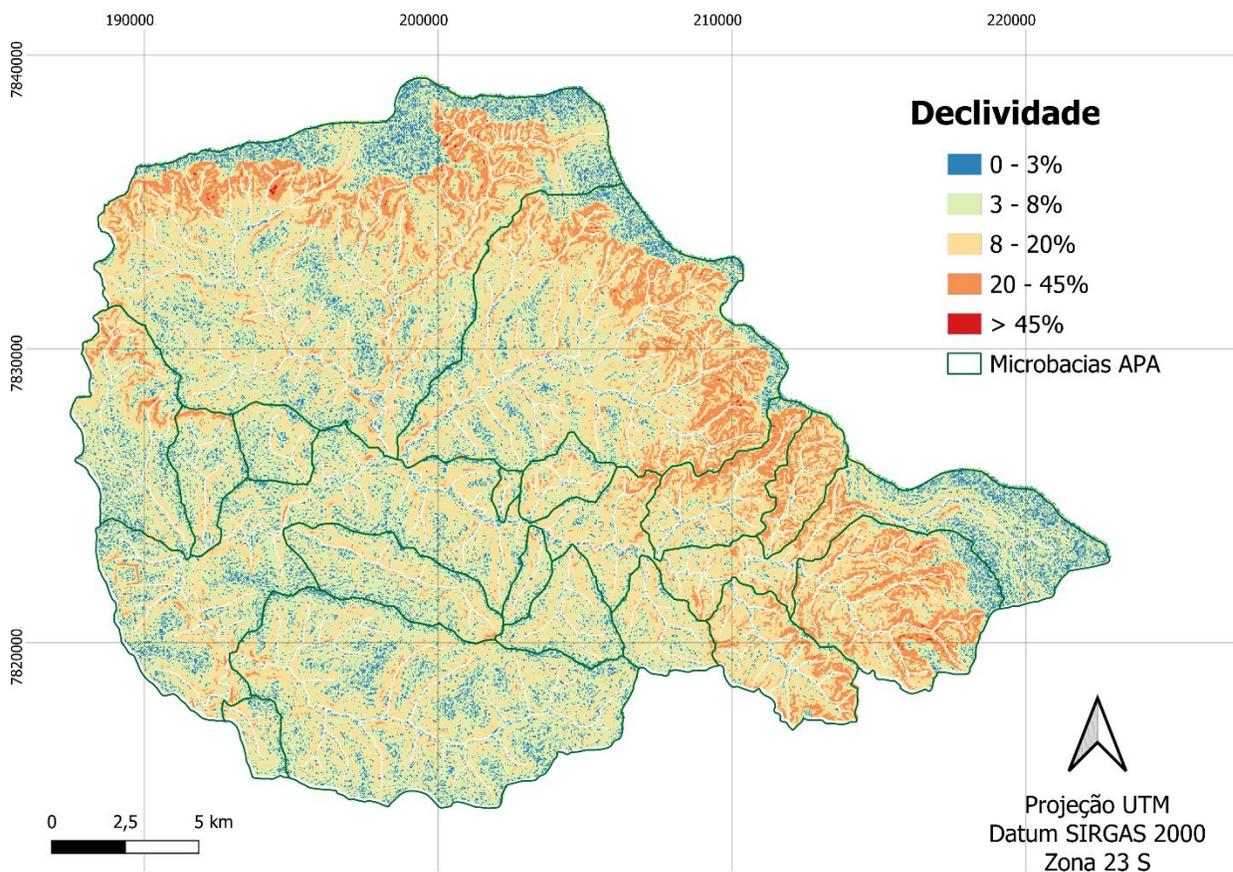
Figura 9 - Mapa da distância dos cursos d'água.



Fonte: Da Autora, 2024.

A principal nascente do rio Uberaba está localizada em região de declividade entre 0 e 3%. Essa faixa de declividade representa 17,90% da extensão da APA. Pelo Mapa de Declividade, Figura 10, pode-se constatar que os maiores valores de declividade encontrados na APA (acima de 20%) são aqueles localizados na ZAR-APA-1 e ZAR-APA-2, regiões que abrigam a maioria das nascentes de córregos que alimentam o rio Uberaba, o equivalente a 7,77% da área da unidade de conservação. A maior porção territorial da APA, cerca de 44%, contém o relevo suavemente ondulado, ou seja, a declividade classificada entre 3% e 8%.

Figura 10 - Mapa de Declividade.

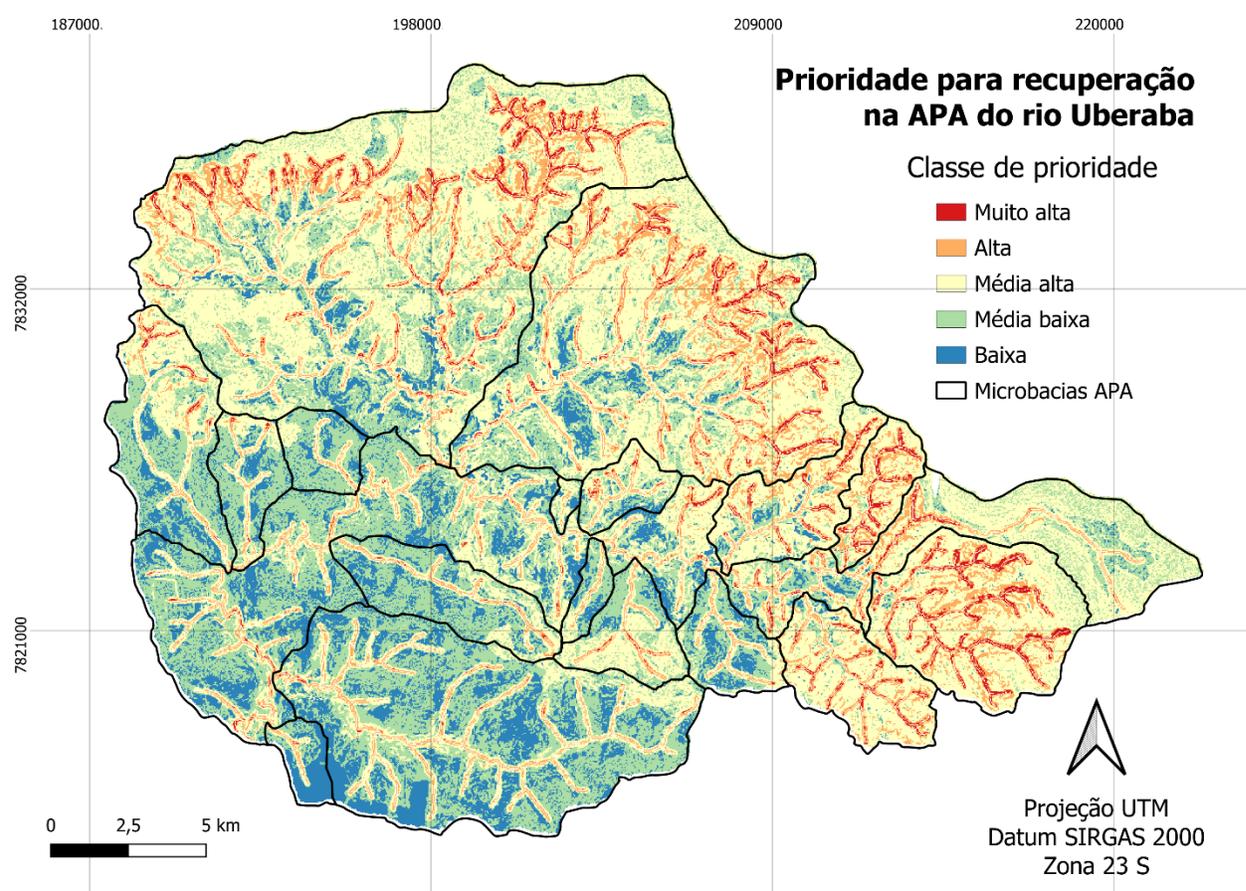


Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1979).

## 5.2 Mapa de Multicritérios: microbacias prioritárias para recuperação

As análises espaciais do conflito do solo, do uso da terra e cobertura vegetal, da geologia predominante nas microbacias, da declividade e da distância dos cursos d'água foram indicativos que definiram as microbacias prioritárias para recuperação ambiental na Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba. Finalmente, a análise de multicritérios através da metodologia AHP resultou no mapa da Figura 11 com os dados da Tabela 11.

Figura 11 - Mapa de microbacias prioritárias para recuperação na APA do rio Uberaba.



Fonte: Da Autora, 2024.

Tabela 11 - Área ocupada por cada classe de prioridade na APA.

<b>Classe de prioridade</b>	<b>Área ocupada na APA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área ocupada na APA (%)</b>
Muito alta	12,59	2,44
Alta	57,95	11,27
Média alta	226,14	43,98
Média baixa	152,52	29,66
Baixa	65,01	12,64

Fonte: Da Autora, 2024.

Observa-se que as microbacias que se apresentaram, expressivamente, como muito alta e alta prioridades para conservação são aquelas que foram segmentadas na Zona Ambiental Rural 1 e na Zona Ambiental Rural 2, das quais: microbacia Ribeirão Saudade, dos Pintos, Barreiro, Sapecado, Alto Curso (nascente do rio Uberaba), Buracão, da Vida e Lanhoso. Essa região da unidade de conservação concentra uma significativa parte das nascentes de córregos contribuintes para o rio Uberaba, os covaais e a própria nascente do rio Uberaba.

Ao diagnosticar áreas prioritárias para conservação do solo e da água na APA do rio Uberaba através do cálculo das perdas de solo (EUPS), Siqueira (2019) obteve, como áreas classificadas como extremamente alta, a mesma região deste estudo, classificada como muito alta prioridade. Silva (2018) especializou a vulnerabilidade dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Uberaba e obteve, como regiões extremamente vulneráveis, as áreas de nascentes na cabeceira da bacia, as quais compreendem, também, a ZAR-APA-1 e ZAR-APA-2.

Assim, é possível afirmar que áreas de nascentes são as mais sensíveis deste estudo e devem ter suas bordas preservadas, respeitando o que determina o Código Florestal Brasileiro no que tange aos limites das áreas de preservação permanentes. Destaque merece ser dado às áreas classificadas como de média alta e média baixa prioridades, uma vez que ocuparam as maiores porções da APA do rio Uberaba, compreendendo 43,98% e 29,66% da mesma, respectivamente.

Tais regiões devem apresentar uma ocupação planejada, com técnicas de manejo do solo conservacionistas e adequadas, para que não evoluam para uma classificação

de alta ou muito alta prioridade para recuperação no futuro (Martins, 2020). Valera (2017) preconiza que práticas agropecuárias com o manejo visando à conservação do solo e dos recursos hídricos nas APPs devem ser consideradas na condução dos sistemas de produção, a fim de conciliar a ocupação humana na APA e a utilização dos seus recursos naturais.

É importante que as atividades e os empreendimentos instalados nessa região tenham seus equipamentos de controle ambiental acompanhados e monitorados pelo poder público, através de licenciamento ambiental e fiscalização, a fim de coibir o avanço da degradação do solo, dos recursos hídricos e das suas faixas marginais. Adicionalmente, a adoção, pelos produtores rurais, de políticas de incentivo à preservação de áreas com restrição ambiental, como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), se demonstra uma maneira de mitigar os impactos existentes. As mesmas ponderações são realizadas para a porção da APA classificada como baixa prioridade para recuperação.

Sabe-se que as características geomorfológicas de uma bacia hidrográfica, incluindo a rede de drenagem, forma, área, relevo e tipos de solo, juntamente com a cobertura vegetal, influenciam o comportamento hidrológico da bacia (Valle Junior et al., 2013). Portanto, a manutenção da cobertura vegetal e o uso da terra adequados à aptidão do solo devem ser previamente considerados em qualquer expansão no interior da APA do rio Uberaba.

## **6 CONCLUSÕES**

A combinação dos critérios conflito, uso e cobertura, geologia, distância dos cursos d'água e declividade oportunizou o mapeamento das microbacias prioritárias para recuperação ambiental na APA do rio Uberaba: Ribeirão Saudade, dos Pintos, Barreiro, Sapecado, Alto Curso (nascente do rio Uberaba), Buracão, da Vida e Lanhoso. Foram classificados 43,98% da área total da APA como de média alta prioridade para recuperação, 29,66% média baixa, 2,44% muito alta prioridade, 11,27% alta e 12,64% como baixa prioridade.

Concluiu-se que as áreas de nascentes são as mais sensíveis da APA do rio Uberaba e devem ter suas margens preservadas, respeitando o que determina o Código Florestal Brasileiro no que tange aos limites das áreas de preservação permanentes.

Além disso, também foi possível concluir que a metodologia AHP demonstrou ser uma potente ferramenta para analisar múltiplos critérios de interesse em um estudo, permitindo a integração de diversos fatores ambientais na identificação de áreas prioritárias para recuperação ambiental.

Os objetivos específicos deste estudo, como a elaboração dos mapas de uso da terra, de aptidão do solo, de conflitos de uso, de geologia, de distância dos cursos d'água e de declividade foram atingidos através do uso de geotecnologias avançadas no SIG *QGIS*, o que proporcionou uma fonte de dados sólida para diagnósticos ambientais e para o planejamento de políticas públicas de recuperação ambiental na Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba.

Embora haja produções científicas com objetivo similar ao deste trabalho, a escolha dos critérios e a espacialização dos mesmos, através de bases de dados atualizadas, proporcionou fonte adicional de informações, que podem representar instrumento de apoio a decisões visando, principalmente, assegurar a manutenção do abastecimento público no município de Uberaba-MG.

Futuras pesquisas poderiam explorar os instrumentos normativos existentes e capazes de contribuir com a recuperação ambiental, e expandir a avaliação para outras regiões com características e demandas similares. Além disso, a inclusão de monitoramento contínuo pode melhorar a precisão dos diagnósticos e a eficácia das políticas públicas implementadas.

## REFERÊNCIAS

- ABDALA, V. L.; NISHIYAMA, L.; TORRES, J. L. R. **Uso do solo e cobertura vegetal na bacia do alto curso do rio Uberaba, Triângulo Mineiro, sudeste do Brasil.** 2011.
- ALMEIDA, F. C. DE *et al.* **Análise multicritério na definição de áreas prioritárias para recuperação florestal na bacia do Rio Doce, em Minas Gerais.** *Nativa*, v. 8, n. 1, p. 81–90, 2020.
- ANJINHO, P. DA S. *et al.* **Environmental fragility analysis in reservoir drainage basin land use planning: A Brazilian basin case study.** *Land Use Policy*, v. 100, 1 jan. 2021.
- BRASIL. Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002. **Regulamenta artigos da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, e dá outras providências.**
- BRITO, J. L. S.; PRUDENTE, T. D. **Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal do município de Uberlândia-MG, utilizando imagens CCD/CBERS 2.** *Caminhos de Geografia*, v. 13, n. 15, p. 144–153, 2005.
- CARVALHO NETO, L. M. (2020). **Uso e Ocupação do solo da Área de preservação permanente (APP) da microbacia do Córrego Barreiro, Uberaba (Minas Gerais).** *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.1, n.2, p.29-41.
- Companhia de Desenvolvimento Econômico do Estado de Minas Gerais – CODEMIG. 2017. <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa>.
- COSTA, R. C. A. *et al.* Conflito de uso e indicadores morfométricos para a gestão de política de uso do solo. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, n. 3, p. 467–476, jun. 2020.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1979) **Súmula da 10ª reunião técnica de levantamento de solos.** Rio de Janeiro, 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).
- INSTITUTO TRATA BRASIL. Ranking do saneamento 2024 (SNIS 2022) – **100 maiores cidades do Brasil.** Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-2024/>. Acesso em 19 jun. 2024.
- JORDÃO, B. M. DA C.; PEREIRA, S. R. **A ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA TOMADA DE DECISÃO - O Método Analítico Hierárquico de T. L. Saaty.** 2006.

LEACINA, M. M. **Definição de áreas prioritárias à conservação ambiental no município de Içara, SC.** Criciúma: Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, 2017.

MARTINS, M. S. DE M. **Índice de vulnerabilidade natural para a conservação da área de proteção ambiental do rio Uberaba-MG.** 2020.

MELO, D. H. C. T. B. *et al.* **Evolução da observação da terra por Sensoriamento Remoto.** n. 2, p. 2–24, 2021.

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

MINAS GERAIS. Lei nº 13.183, de 20 de janeiro de 1999. **Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba - APA do Rio Uberaba e dá outras providências.**

Na pior seca em 91 anos, Uberaba decide fechar todos os reservatórios. *In:* ESTADO DE MINAS GERAIS. Notícias gerais. 20 set. 2021. Disponível em: [https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2021/09/20/interna\\_gerais,1307406/na-pior-seca-em-91-anos-uberaba-decide-fechar-todos-os-reservatorios.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2021/09/20/interna_gerais,1307406/na-pior-seca-em-91-anos-uberaba-decide-fechar-todos-os-reservatorios.shtml). Acesso em 20 jun. 2022.

NOVO, E. M. L. M. 2010. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** 4ª ed. São Paulo: Edgard Blucher.

PIMENTA, L. B. *et al.* **Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais.** Interações (Campo Grande), p. 407–420, 5 jul. 2019.

PEREIRA, J. O. A.; COSTA, D. A.; SANTOS, L. F. U. **Crerios para a seleção de áreas prioritárias para a conservação em bacias hidrográficas.** Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 12, 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERABA. Lei nº 9.892, 28 de dezembro de 2005. **Cria a Área de Proteção Ambiental Municipal de Uberaba – APA do Rio Uberaba – e dá outras providências.** Diário Oficial do Município: Porta-Voz nº 605, Uberaba, MG, p. 11, 28 dez. 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERABA. Decreto nº 2.547/2007. **Aprova o Regimento Interno do Conselho Gestor da APA Rio Uberaba.**

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERABA. Lei Complementar nº 561/2017. **Institui o Plano Diretor de Zoneamento do Perímetro Urbano da Área de Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba - APA Rio Uberaba e dá outras providências.**

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERABA. Portaria nº 04/2022. **Dispõe sobre aprovação e homologação do Plano de Manejo da APA do Rio Uberaba.** Diário Oficial do Município: Porta-Voz nº 2053, Uberaba, MG, p. 41, 18 mar. 2022.

RIBEIRO, L. C. B. **Geoparque Uberaba - Terra dos Dinossauros do Brasil.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2014.

SAATY, T. L. **How to make a decision: The analytic hierarchy process.** *European Journal of Operational Research*, v. 48, n. 1, p. 9–26, 1990.

SEBUSIANI, H. R. V.; BETTINE, S. DO C. Metodologia de análise do uso e ocupação do solo em micro bacia urbana. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, p. 256–285, 2011.

SILVA, M. M. A. P. DE M. **Efeitos naturais e antrópicos na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Uberaba-MG utilizando técnicas de geoprocessamento.** Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista - UNESP, 2018.

SIQUEIRA, H. E. **Identificação de áreas para conservação do solo e da água nas Áreas de Proteção Ambiental do rio Uberaba com geoprocessamento.** 77 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Unesp, Jaboticabal, 2019.

VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnóstico de Áreas de Risco de Erosão e Conflito de Uso dos Solos na Bacia do rio Uberaba.** Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias UNESP, Jaboticabal, SP, FCAV-UNESP, Brasil. 2008.

VALLE JUNIOR, R. F. *et al.* **Diagnóstico do Conflito de Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Rio Uberaba.** *Global Science and Technology*, v. 6, n. 1, p. 40–52, 30 abr. 2013.

VALLE JUNIOR, R. F. *et al.* **Environmental land use conflicts: A threat to soil conservation.** *Land Use Policy*, v. 41, p. 172–185, 2014.

VIEIRA, D. M. DA S. *et al.* **Avaliação quantitativa das características geomorfológicas das microbacias hidrográficas que compõem a área de proteção ambiental do rio uberaba.** 2012.

VALERA, C. A. (2017). **Avaliação do novo código florestal: as áreas de preservação permanente – APPs, e a conservação da qualidade da água superficial.** 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia (Ciência do Solo), Unesp, Jaboticabal.