



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL – UFFS
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

HELENA RIBEIRO MEIRELLES SALES

APLICAÇÃO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS
SUSCETÍVEIS À POLUIÇÃO HÍDRICA:
ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE ERECHIM, RS

ERECHIM – RS

2021

HELENA RIBEIRO MEIRELLES SALES

**APLICAÇÃO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS
SUSCETÍVEIS À POLUIÇÃO HÍDRICA:
ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE ERECHIM, RS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS –
Campus Erechim, como requisito para obtenção do
título de Bacharela em Engenharia Ambiental e
Sanitária.

Orientadora: Prof.^a Dra. Gean Delise Leal Pasquali Vargas

Coorientador: Dr. Bruno Zucuni Prina

ERECHIM – RS

2021

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Sales, Helena Ribeiro Meirelles

Aplicação de análise multicritério para mapeamento de áreas suscetíveis à poluição hídrica: Estudo de caso do município de Erechim, RS / Helena Ribeiro Meirelles Sales. -- 2021.

80 f.:il.

Orientadora: Dra. Gean Delise Leal Pasquali Vargas

Co-orientador: Dr. Bruno Zucuni Prina

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária, Erechim, RS, 2021.

1. Geoprocessamento. 2. Gestão de Recursos Hídricos. 3. Método AHP. I. Vargas, Gean Delise Leal Pasquali, orient. II. Prina, Bruno Zucuni, co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

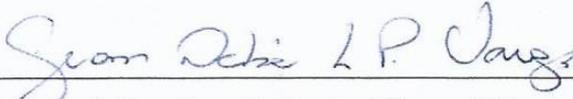
HELENA RIBEIRO MEIRELLES SALES

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA O MAPEAMENTO DE
ÁREAS SUSCETÍVEIS À POLUIÇÃO HÍDRICA:
ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE ERECHIM, RS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como
requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia
Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 17/05/2021

BANCA EXAMINADORA



Prof.ª Dra. Gean Delise Leal Pasquali Vargas

Orientadora



Dr. Bruno Zucuni Prina
Coorientador

Prof. Dr. Paulo Afonso Hartmann
UFFS – Campus Erechim

Me. Lucimara Bragagnolo
UFFS – Campus Erechim

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos a minha professora orientadora Gean Delise Leal Pasquali Vargas, por sempre estar disposta a ajudar e incentivar, com grande empenho e paciência.

Ao meu coorientador Bruno Zucuni Prina, por ter sido não somente um coorientador, mas um parceiro de trabalho disposto a molhar as botas em atividades de campo para realizar este projeto.

Aos meus queridos amigos, em especial à Vinicius Bampi da Silva, Jessica Zanivan, Brenda Ellen de Souza Reis, por me auxiliar sempre que necessário.

Ao Laboratório Interdisciplinar de Formação de Educadores (LIFE), por me ceder equipamentos.

Ao grupo de especialistas que auxiliaram na definição de pesos e critérios importantes para o trabalho.

À Universidade Federal da Fronteira Sul, juntamente dos professores, técnicos e terceirizados que me auxiliaram durante todo decorrer da graduação e que colaboram para minha formação profissional.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, colaboraram para realização do meu trabalho.

RESUMO

Dentre os recursos naturais que mais sofrem com a grande influência da ação humana, destacam-se os recursos hídricos. Para a gestão de tal problemática, uma exímia ferramenta é a utilização das geotecnologias. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise multicritério para o mapeamento de áreas influentes à poluição hídrica do município de Erechim (RS). Para isso, foi utilizada a análise multicritério com combinação linear ponderada baseada nas variáveis de uso e ocupação da terra, proximidade ao curso hídrico, altimetria e declividade. Os critérios foram normalizados com uma escala de 0 a 100 para unificar as escalas de mensuração dos dados. Para determinar a importância relativa de cada critério utilizou-se o método do Processo Analítico Hierárquico (AHP - Analytical Hierarchical Process) através da consulta com um grupo de especialistas. Com esta metodologia foi possível obter a espacialização das áreas com grande potencial de risco à poluição hídrica, de forma a serem classificadas em cinco classes: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. A consolidação dos dados relativos as respostas dos especialistas determinaram a importância dos critérios, sendo: uso e ocupação da terra (49,11%), proximidade ao curso hídrico (34,88%), altimetria (9,625) e declividade (6,15%). Com relação as áreas influentes à poluição hídrica, o estudo apontou que cerca de 2,05 e 17,57% são classificadas como áreas com risco de influência muito alto e alto, respectivamente. Assim, conclui-se, a partir dos resultados, que a utilização de métodos de avaliação multicritérios associadas a técnicas de geoprocessamento, é adequada ao mapeamento das áreas influentes à poluição hídrica, possibilitando a utilização para o gerenciamento dos recursos naturais e apoiando os tomadores de decisão.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Gestão de recursos hídricos. Método AHP.

ABSTRACT

Among the natural resources that suffer most from the great influence of human action, water resources stand out. For the management of such problems, an excellent tool is the use of geotechnologies. Therefore, the objective of this paper was to carry out a multicriteria analysis for the mapping of areas influential to water pollution in the municipality of Erechim (RS/Brasil). For that, we used the methodology of multicriteria analysis with weighted linear combination based on the variables of land use and occupation, proximity to the watercourse, altimetry and slope. The criteria were normalized with a scale from 0 to 100 to unify the measurement scales. To determine the relative importance of each criterion, he used the Analytical Hierarchical Process (AHP) method through consultation with a group of ten specialists. With this methodology, it was possible to obtain the specialization of areas with great potential for water pollution risk, in order to be classified into five classes: very low, low, medium, high and very high. The consolidation of data related to the experts' responses determined the importance of the criteria, namely: land use and occupation (49.11%), proximity to the watercourse (34.88%), altimetry (9.625) and slope (6.15 %). With regard to areas influencing water pollution, the study found that about 2.05 and 17.57% are classified as areas with a very high and high risk of influence, respectively. Thus, it is concluded from the results, that the use of multicriteria assessment methods associated with geoprocessing techniques, is suitable for mapping the areas influencing water pollution, enabling the use for the management of natural resources and supporting decision makers.

Keywords: Geoprocessing. Water resource management. Method AHP.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classes de enquadramento das águas doces e seus respectivos usos.....	21
Figura 2 - Fluxograma das etapas da metodologia.	31
Figura 3 - Mapa de localização do município de Erechim.	32
Figura 4 – Bacias hidrográficas do município de Erechim.	34
Figura 5 - Exemplo de aplicação do método multicritério de combinação linear ponderada pixel a pixel.	44
Figura 6 – Metodologia aplicada a Altimetria.....	45
Figura 7 – Metodologia aplicada a declividade.....	46
Figura 8 – Metodologia aplicada a proximidade ao rio.....	47
Figura 9 – Altimetria da área de estudo.....	49
Figura 10 – Declividade da área de estudo.....	50
Figura 11 - Áreas residenciais dentro da área de preservação permanente e com canalizações.	52
Figura 12 - Espacialização das classes de proximidade ao rio.	53
Figura 13 – Uso e ocupação da terra da área de estudo.....	55
Figura 14 – Mapa de fator relativo ao critério de altimetria.....	56
Figura 15 – Mapa de fator relativo ao critério de declividade.....	57
Figura 16 – Mapa de fator relativo ao critério de proximidade ao curso d’água.	58
Figura 17 – Mapa de fator relativo ao critério de uso e ocupação da terra.	59
Figura 18 – Árvore de decisão para o potencial de risco à poluição hídrica no município de Erechim.....	62
Figura 19 – Distribuição espacial das áreas suscetíveis à poluição hídrica.....	63
Figura 20 – Detalhamento das áreas com maior risco à poluição hídrica no perímetro urbano de Erechim.....	64
Figura 21 – Detalhamento das áreas com maior risco à poluição hídrica.	65
Figura 22 – Classes referentes a áreas influentes à poluição hídrica.....	66

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Escala Fundamental de Saaty para comparação dos critérios	37
Tabela 1 - Ponderação para as classes de uso e ocupação da terra realizada pelos especialistas e os valores normalizados.....	39
Tabela 2 - Matriz de comparação pareada.....	40
Tabela 3 - Valores atribuídos a RI correspondente ao número de critérios.	42
Tabela 4 - Formas de relevo e classes de declividade.	46
Tabela 5 - Bandas do CBERS 4A utilizadas	48
Tabela 6 - Classes de altimetria.....	50
Tabela 7 - Classes de declividade.....	51
Tabela 8 - Classes de uso e ocupação da terra.....	55
Tabela 9 - Resultado das preferências individuais dos especialistas pelo método AHP.....	60
Tabela 10 - Médias das preferências do grupo de especialistas.	60
Tabela 11 - Resultado das preferências individuais dos especialistas para cada classe de uso e ocupação da terra.	61
Tabela 12 – Médias das preferências do grupo especialistas para o uso e ocupação da terra. .	61
Tabela 13 - Resultado das classes das áreas influentes à poluição hídrica.	67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3 JUSTIFICATIVA	14
4 REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1 POLUIÇÃO HÍDRICA	15
4.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA	16
4.3 LICENCIAMENTO AMBIENTAL DOS RECURSOS HÍDRICOS	20
4.4 CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO E URBANIZAÇÃO	22
4.5 GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO	24
4.6 ANÁLISE MULTICRITÉRIO	29
5 METODOLOGIA.....	31
5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
5.2.1 Critérios Quantitativos	35
5.2.2 Critério Qualitativo	36
5.2.3 Critérios Restritivos	36
5.3 DEFINIÇÃO DO GRUPO DE ESPECIALISTAS	36
5.4 NORMALIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS	37
5.4.1 Critérios fatores	38
5.4.2 Critérios restritivos.....	39
5.5 PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS	40
5.6 APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO	43
5.7 OBTENÇÃO DO MAPA DE ÁREAS INFLUENTES À POLUIÇÃO HÍDRICA.....	44
5.7.1 Altimetria	44
5.7.2 Declividade	45
5.7.3 Proximidade aos cursos hídricos	46
5.7.4 Classificação de imagens	47
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
6.1 MAPAS MATRICIAIS REFERENTES AOS CRITÉRIOS.....	49
6.1.1 Altimetria	49
6.1.2 Declividade	50

6.1.3 Proximidade aos cursos hídricos	51
6.1.4 Uso e ocupação da terra	53
6.2 MAPAS MATRICIAIS REFERENTES AOS CRITÉRIOS NORMALIZADOS.....	56
6.2.1 Altimetria	56
4.2.2 Declividade	56
6.2.3 Proximidade aos cursos d'água	57
6.2.4 Uso e ocupação da terra	58
6.3 ORDENAÇÃO DOS CRITÉRIOS E PESOS	59
6.4 MAPA DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À POLUIÇÃO HÍDRICA	62
7 CONCLUSÃO.....	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO - LEVANTAMENTO DE PESOS E NOTAS	
ATRAVÉS DO MÉTODO AHP.	80

1 INTRODUÇÃO

A realidade da contemporaneidade apresenta o homem como o ator principal do processo de degradação do meio ambiente, disso não se pode fugir (DE CARLI, 2010). Dentre os recursos naturais que sofrem grande influência antrópica, se encontram as águas superficiais e subterrâneas. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), cerca de 97,5% da água do mundo é salgada e não é adequada ao consumo direto nem à irrigação da plantação. Dos 2,5% de água doce, a maior parte (69%) é de difícil acesso, pois está concentrada nas geleiras, 30% são águas subterrâneas (armazenadas em aquíferos) e 1% encontra-se nos rios (ANA, 2019).

O Brasil é um país privilegiado em termos de disponibilidade de água, contando com 28% da disponibilidade sul-americana e de 12% das reservas de água do mundo (VICTORINO, 2007). Porém, de acordo com a Conjuntura de Recursos Hídricos Brasil (2019), disponibilizado pela ANA, a demanda por uso da água no Brasil é crescente, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado da água nas últimas duas décadas, e com previsão até 2030 de um aumento de 26%.

Entretanto, as sociedades contemporâneas, naturalmente complexas, têm se deparado com um dilema paradoxal. De um lado, vivenciam o fenômeno do desenvolvimento econômico atrelado à globalização, a qual com o crescimento vertiginoso da tecnologia tem metaforicamente estreitado os espaços geográficos e encurtado os espaços temporais; de outro lado, visam encontrar caminhos de sustentabilidade ambiental, com a criação de instrumentos de proteção ao meio ambiente e de responsabilização por prejuízos causados ao planeta (DE CARLI, 2010).

De acordo com Silveira e Araújo Neto (2014), principalmente nas grandes cidades, a degradação das condições ambientais, sociais e da qualidade de vida tem crescido a níveis alarmantes e se conformado em um contexto de incertezas científicas, riscos irreversíveis dos danos ambientais e conflitos de interesses. Segundo pesquisa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2.263 municípios (40,7% do total de municípios), informaram a ocorrência de alteração ambiental que afetou as condições de vida da população.

A partir do momento em que a própria natureza não consegue retornar ao seu estado original, normas que visam disciplinar a conduta humana para a proteção ambiental e o consumo racional dos recursos naturais são necessárias (BORGES; REZENDE; PEREIRA, 2009). Esses acontecimentos ambientais culminaram na percepção da

necessidade de dedicar maiores esforços à proteção do meio ambiente, e entre seus recursos naturais finitos e mal distribuídos, especialmente a água (CUNHA, 2018).

Atualmente, os padrões de qualidade da água no Brasil são estabelecidos pela Resolução CONAMA 357, de 17/03/2005, que 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”, aos quais foram alterados pela Resolução CONAMA 430/2011. O principal indicador qualitativo usado no país segundo a ANA, é o Índice de Qualidade da Água (IQA), no qual leva em consideração nove parâmetros para uma avaliação, que pode variar de ótima a péssima conforme os resultados obtidos.

A ANA também realiza mapeamentos voltados aos enquadramentos dos recursos hídricos, entretanto o Brasil com sua grande extensão territorial, ainda possui um déficit de mapeamentos que auxiliem na prevenção de poluições hídricas, e outros impactos causados sobre o meio ambiente (FILHO e MACHADO, 2017; MANTIS e VAZ, 2019).

Nesse viés, a utilização de geotecnologias se torna uma exímia ferramenta de gestão. Flauzino (2010) afirma que a utilização das geotecnologias se torna um instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água, destacando-se a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como ferramenta para mapear e obter respostas às várias questões sobre o planejamento e manejo dos recursos naturais existentes.

Para a utilização das geotecnologias, também é necessário utilizar de métodos que auxiliem na tomada de decisão, como por exemplo o Processo de Análise Hierárquica (AHP), a qual segundo Gdoura, Anane e Jellali (2014), Pimenta et al. (2019), Santos (2019), é um dos poucos métodos de tomada de decisão que podem ser integrados com um SIG, pois o processo de análise possui elementos capazes de avaliar as potencialidades ou restrições inerentes ao processo decisório, influenciando positivamente na tomada de ações.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar uma análise multicritério para o mapeamento de áreas suscetíveis à poluição hídrica do município de Erechim (RS).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o uso e ocupação da terra através de classificação supervisionada;
- Definir um conjunto de pesos e notas, junto a especialistas, para sustentar a análise multicritério;
- Identificar os critérios de influência.

3 JUSTIFICATIVA

Nas últimas décadas tem-se observado um aumento gradativo nas preocupações voltadas à preservação do meio ambiente e de seus recursos, sendo, com base nisso, desenvolvidas políticas mundiais que buscam a manutenção destes, em especial das águas. Entre essas políticas pode-se citar o 6º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU), que propõe assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, traçando como meta até 2030, o acesso a saneamento adequado, melhoria da qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejos e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a porção de águas residuais não tratadas (ONU, 2015).

No Brasil, as políticas voltadas à manutenção deste recurso têm sua força acentuada na Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, no Capítulo VI, Art. 225, onde esse coloca que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988). Já conforme a Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), a água é um recurso natural limitado de domínio público e dotado de valor econômico. Dentre os objetivos dessa política, destaca-se a necessidade de preservar a disponibilidade de água de qualidade de acordo com seus respectivos usos, assegurando a qualidade de vida tanto da geração atual como das futuras gerações (BRASIL, 1997).

Em concordância com as diretrizes e objetivos apresentados pelas legislações, estudos de prospecção tecnológica nos quais, de acordo com Teixeira (2013), buscam agregar valor às informações do presente, transformando-as em conhecimento que possa subsidiar os tomadores de decisão e os formuladores de políticas na elaboração de suas estratégias de inovação, se torna uma importante ferramenta no âmbito da gestão de recursos hídricos.

Desta forma, o presente trabalho justifica-se pela busca da criação de um mapeamento de áreas suscetíveis de poluição hídrica que auxilie na gestão de recursos hídricos, utilizando ferramentas de geoprocessamento, processadas em um software livre.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 POLUIÇÃO HÍDRICA

A Lei nº 6.938/1981, em seu art. 3º, apresenta um conceito genérico de poluição, definindo-a como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente, prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população, ou criem condições adversas às atividades sociais e econômicas, que afetem desfavoravelmente a biota, as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente ou lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL, 1981).

Partindo deste pressuposto, a poluição hídrica, é a poluição das águas decorrente de adições de substâncias ou de formas de energia que, diretamente ou indiretamente, alteram as características físicas e químicas do corpo d'água de uma maneira tal, que prejudique a utilização das suas águas para usos benéficos (PEREIRA, 2004).

As fontes de poluição em corpos hídricos podem ser classificadas em pontuais e difusas. Na poluição pontual, os poluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada no espaço, ao contrário da poluição difusa, onde os poluentes adentram o corpo d'água distribuídos ao longo de parte de sua extensão (VON SPERLING, 2005).

Os centros urbanos são uma grande fonte de poluição pontual e difusa, conforme é afirmado nos estudos de Prodanoff (2005), Nascimento & Heller (2005), Guedes (2011); Souto et al. (2019) e Sampaio e Gomes (2020). Segundo esses autores, devido aos lançamentos de efluentes domésticos e industriais, descarte incorreto de resíduos sólidos, escoamento de águas pluviais, entre outras formas e fontes de contaminação, a qualidade das águas em córregos e rios urbanos vem apresentando um alto nível de poluição.

Outro impacto expressivo na qualidade da água de córregos e rios, refere-se à poluição difusa decorrente de áreas rurais, visto que diversas práticas agrícolas impactam negativamente a salubridade ambiental que, somadas à falta de saneamento nas propriedades rurais, acabam por contribuir significativamente para a contaminação de águas superficiais e subterrâneas (BARROS, 2014).

Dentre os corpos d'água em áreas urbanas e rurais no Brasil, no ano de 2010, considerando 1.988 pontos monitorados, observou-se condição “boa” em 75% e “péssima” ou “ruim” em 7%. Porém, quando a análise se restringe aos cursos hídricos em áreas urbanas, 47% dos pontos monitorados apresentaram condições “péssima” ou “ruim”,

apontando um reflexo da alta taxa de urbanização observada no país e dos baixos níveis de coleta e tratamento de esgotos domésticos (ANA, 2012).

Deste modo, os casos de poluição hídrica geraram uma mobilização quanto ao uso da água, em que uma série de conflitos acerca desse bem foi travada, ao passo que a legislação brasileira precisou entender a mudança de paradigmas, como a água sendo um bem esgotável e necessitando de cuidados na sua preservação (STAUDT e BERRETA, 2018).

4.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA

A política ambiental federal brasileira inicia seu delineamento a partir da década de 1930 com o surgimento das primeiras legislações voltadas à administração dos recursos naturais, o Código de Águas (Decreto nº 24.643/1934) e o Código Florestal Brasileiro (Decreto nº 23.793/1934). No primeiro decreto, é considerada necessária a modificação do estado de coisas, dotando o país de uma legislação adequada que, de acordo com a tendência atual, permita ao poder público controlar e incentivar o aproveitamento industrial das águas. No segundo, o intuito era impedir os efeitos sociais e políticos negativos, com o objetivo de promover a preservação ambiental ao criar a figura das florestas protetoras¹.

Porém, enquanto a proeminência do Estado de São Paulo, como cita Ojima (2003), favoreceu a um maior desenvolvimento da gestão na região, criando em 1951 o Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE-SP), em âmbito federal, a criação do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), só ocorre em 1965. Segundo Ojima (2003), a origem do departamento consolidou a ênfase total da gestão dos recursos hídricos em direção à geração de energia elétrica, de modo que os principais investimentos do poder público eram no sentido de aproveitamento hidrelétrico e viabilização do desenvolvimento econômico.

No âmbito da proteção das florestas, novamente em esfera federal só há mudanças em 1965 com a criação de um novo Código Florestal Brasileiro (Lei 4.771/1965), visto que segundo Borges et al. (2011), mesmo que o Código de 1934 se mostrasse conservador e incorporava princípios de proteção não só de formações vegetais, como também dos

¹ Florestas Protetoras: conceito criado para as florestas responsáveis por proteger recursos hídricos, encostas e o solo (RORIZ E FEARNSSIDE, 2015).

recursos hídricos e áreas frágeis, o mesmo se mostrou ineficaz e obsoleto (BREDA; SOUZA; SIQUEIRA, 2011).

Até a década de 1970, as questões relacionadas aos usos da água eram tratadas sobre uma perspectiva da necessidade dos grandes usuários, todavia com a crescente complexidade das questões relacionadas ao uso da água, em 1976, o Ministério de Minas e Energia e o governo do estado de São Paulo, firmaram acordo para a melhoria das condições sanitárias das Bacias do Alto Tietê e Cubatão (ANA, 2011). O êxito da experiência como afirma Porto (2008, apud ANA, 2011), obteve como consequência a criação por meio da Portaria Interministerial nº 090, em 29 de março de 1978, o Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH), que atuou de forma consultiva até o ano de 1983 quando houve o encerramento das atividades.

Em 1981, devido a repercussões negativas na opinião pública internacional, por conta da alta contaminação química oriunda de indústrias altamente poluentes, situadas em Cubatão, São Paulo, o Congresso Nacional aprovou a Lei nº 6.938/81, estabelecendo a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) (RIOS e ARAÚJO, 2005). O documento foi considerado inovador para a época, não somente por tratar de um tema ainda pouco discutido, mas também por seu caráter descentralizador (MOURA, 2016).

A Lei nº 6.938/81, além do estabelecimento da PNMA que tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, também constituiu o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), o qual é formado pelos órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, é responsável pela proteção, melhoria e recuperação da qualidade ambiental no Brasil.

O SISNAMA, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente², possui em sua estrutura como órgão consultivo e deliberativo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Segundo Villares (2008), o Conselho releva empiricamente sua importância, como local adequado à necessária pactuação, a envolver o Estado, o setor produtivo e as entidades ambientalistas para o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental.

Em concordância com Moura (2016), a Nota Técnica nº 10/2016/DSIS/SCRS/SAIC/MMA, também menciona o caráter inovador da criação SISNAMA, compreendendo que no Brasil não se vigorava a visão de descentralização das

² Disponível em: <https://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/sistema-nacional-do-meio-ambiente>. Acesso: 10/04/2020.

políticas e da gestão e, tão pouco, os municípios contavam com autonomia político-administrativa. Esta visão somente passa a ser estruturada a partir da Constituição Federal de 1988, trazendo para a questão ambiental o status de direito fundamental.

A constituição de 1988, segundo a Nota Técnica nº 10/2016/DSIS/SCRS/SAIC/MMA classifica o meio ambiente como um bem de uso comum do povo, necessário para a qualidade de vida e a sua preservação para as presentes e futuras gerações, um dever de todos (poder público e coletividade), conferindo nova dimensão ao tema e ampliando a responsabilidade de efetivação da Política Nacional do Meio Ambiente.

Estatuindo os estados e municípios a partir do Art. 23, incisos VI e VII, a Constituição de 1988 atribui autonomia para a elaboração de legislações voltadas à preservação do meio ambiente. O Estado do Rio Grande do Sul, a partir da Constituição do Estado em 1989, no Art. 171, institui o sistema estadual de recursos hídricos (Lei nº 10.350/94), integrado ao sistema nacional de gerenciamento desses recursos, adotando as bacias hidrográficas como unidade de planejamento e gestão, observados os aspectos de uso e ocupação do solo, visando promover a melhoria da qualidade dos recursos hídricos, e o regulamento do abastecimento de água às populações urbanas e rurais, às indústrias e aos estabelecimentos agrícolas.

O impulsionamento das legislações estaduais, ocasionou a interação da esfera federal nas demandas no âmbito do legislativo, culminando na promulgação da Lei Federal nº 9.433 de 1997, ao qual institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), regulamentando o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal de 1988 (OJIMA, 2003).

A PNRH, como afirma Wolkmer e Pimmel (2013), é considerada um instrumento orientador da gestão, com caráter de construção permanente, e com aplicabilidade envolvendo uma complexa rede de instituições que atuam nas dimensões nacionais, estaduais e locais. O que torna para Silva (2008), a PNRH avançada e embasada em uma legislação corretamente elaborada com desdobramentos jurídicos e administrativos em órgãos colegiados, deliberativos e normativos em todos os níveis de governo.

Uma dessas redes de instituições em âmbito federal, foi criada no ano 2000 através da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, ao qual dispõem sobre a criação da Agência Nacional de Águas (ANA), entidade federal de implementação da PNRH e integrante do SINGREH.

No ano de 2012, há alteração no que se confere a proteção das florestas, através do novo Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012), ao qual dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e altera a Lei nº 4.771/1965 entre outras.

Historicamente, podemos identificar várias regulamentações de caráter ambiental que objetivava a proteção das áreas de fragilidade ambiental, criando conceitos como área de preservação permanente (APP), considerada segundo o Novo Código Florestal de 2012, como área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

Porém, a Lei de Proteção da Vegetação Nativa ou Novo Código Florestal, mesmo que em partes incorporou as definições e critérios relacionados às delimitações das APP estabelecidas anteriormente pelo Código Florestal de 1965 e outros dispositivos legais complementares, como Resoluções CONAMA e Medidas Provisórias, resultando em alterações que acarretaram na redução drástica da extensão das APP, ocasionando em um grande debate acerca da própria função de manutenção das formações vegetais nativas.

Entretanto, esta discussão vem de muito antes do código de 1965, no qual utilizando como exemplo de tal discussão, no estado do Rio Grande do Sul, o relato do Jornalista Ayrton Centeno, no edital nº.1 da Capatazia dos Portos do Rio dos Sinos, datado de 15 de fevereiro de 1939 e assinado por Roessler, ativista da causa ambiental que posteriormente dá o nome ao órgão de licenciamento ambiental do estado, continha a seguinte colocação: “os proprietários de terrenos marginais deverão deixar o mato em pé numa largura de 15 metros, para evitar a erosão dos barrancos.”, mostrando a preocupação de estipulação de uma metragem de preservação a partir da margem de um curso d’água, conforme citado por Ribeiro (2011).

Contudo, para o perímetro urbano não houve variações comparando com a Lei nº 7.803 de 18 de julho de 1989, que altera as metragens de APP da Lei 4.771/1965, porém em relação as áreas rurais, as modificações do Novo Código Florestal fragilizaram a proteção do meio ambiente e a regularização das infrações já cometidas, conforme citado Rodrigues e Matavelli (2020), a alteração provocou uma redução das áreas de APP às margens de cursos d’água, o que representa uma ameaça à proteção da biodiversidade e dos recursos hídricos.

Por fim, o último marco das legislações ambientais brasileiras foi a promulgação da Lei nº 14.026 de 15 de junho de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico

e atribui a ANA a competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento básico, entre outras alterações.

4.3 LICENCIAMENTO AMBIENTAL DOS RECURSOS HÍDRICOS

O licenciamento é um dos instrumentos de gestão ambiental estabelecidos pela Lei Federal 6.938/81, ao qual o Poder Público controla as atividades que degradam ou simplesmente podem causar algum tipo de degradação. O processo é constituído de três tipos de licenças, a Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO), sendo cada uma exigida em uma etapa do licenciamento (BRASIL, 1981; FARIAS, 2013).

Em 2011, para melhor esclarecer as competências para o licenciamento ambiental atribuídas à união, aos Estados, Distrito Federal e Municípios, foi publicada a Lei Complementar nº 140, de 08/12/2011, onde estabeleceu que é competência dos municípios o licenciamento das atividades de impacto local. Porém, anteriormente, no Rio Grande do Sul, a aprovação do Código Estadual de Meio Ambiente - Lei Estadual nº 11.520 de 03 de agosto de 2000, estabeleceu em seu artigo 69, "cabará aos municípios o licenciamento ambiental dos empreendimentos e atividades consideradas como de impacto local, bem como aquelas que lhe forem delegadas pelo Estado por instrumento legal ou Convênio", ao qual proporcionou que os administradores municipais se responsabilizassem pelo licenciamento ambiental (BRASIL, 2011; FEPAM, 2020; PNLA, 2020).

No Rio Grande do Sul, o órgão ambiental responsável em âmbito Estadual, é a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), instituída pela Lei nº 9.077, de 4 de junho de 1990. Entre as competências da fundação, estão o diagnóstico, acompanhamento da qualidade do meio ambiente, a prevenção, combate e controle da poluição em todas suas formas, e a preconização de programas que visem implementar a Política de Meio Ambiente no Estado.

No âmbito da gestão estadual de recursos hídricos, no Estado do RS, o Art. 5º da Lei nº 10.350/1994 estabelece que o órgão ambiental estadual deve integrar o Sistema de Recursos Hídricos. Conforme disposto no Art. 16 da Portaria FEPAM nº 036/2018, é competência do Departamento de Qualidade Ambiental desse órgão, desenvolver ações de planejamento ambiental e estabelecer diretrizes para ações de proteção ambiental, bem como preparar relatórios de monitoramento da qualidade das águas superficiais e elaborar boletins para divulgação pública (FEPAM 2018; RIO GRANDE DO SUL, 1994).

O monitoramento da qualidade das águas superficiais, segundo a FEPAM (2019), é realizado através de coletas e análises de águas, e interpretação dos resultados com a Resolução nº 357/05 do CONAMA, que fixa o padrão de qualidade que deve ter a água no meio ambiente em função do uso a ela destinada, também através de estatística descritivas e experimentalmente e mediante a análise estatística multivariada, também chamada de análise fatorial, expressa sob a forma de IQA.

A Resolução CONAMA nº 357/05, classifica os corpos d'água em águas doces, salobras e salinas, considerando que o enquadramento dos corpos de água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade. O enquadramento é realizado em 5 (cinco) classes, e para cada classificação estão seus respectivos usos, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Classes de enquadramento das águas doces e seus respectivos usos

USOS DAS ÁGUAS DOÇES	CLASSES DE ENQUADRAMENTO				
	ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas 	Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas 		Classe mandatória em Terras Indígenas			
Recreação de contato primário 					
Aquicultura 					
Abastecimento para consumo humano 	Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário 					
Pesca 					
Irrigação 		Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película	Hortalças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer,	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais 					
Navegação 					
Harmonia paisagística 					

Observação: As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água.

Fonte: ANA, 2020.

Portanto, como descrito no Portal da Qualidade das Águas, os usos da água são condicionados pela sua qualidade. As águas com maior qualidade permitem a existência de usos mais exigentes, enquanto águas com pior qualidade permitem apenas os usos

menos exigentes. Porém, mais que uma simples classificação, o enquadramento deve ser visto como um instrumento de planejamento, pois deve estar baseado não necessariamente na condição atual do corpo d'água, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir ou ser mantidos no corpo d'água para atender às necessidades estabelecidas pela sociedade (ANA, 2020).

Desta forma, uma maneira de otimização de estudos voltados à gestão dos cursos hídricos é o uso do geoprocessamento com análises multicritérios. Conforme cita Corseuil (2006), o uso de sistemas de informações geográficas, enquanto ferramenta de geoprocessamento, aliado à técnica de análise de multicritérios, possibilita a padronização e a integração de dados, que normalmente são provenientes de diversas fontes, permitindo que se realize uma avaliação conjunta dos mesmos, proporcionando mais eficiência e confiabilidade no processo de tomada de decisão.

4.4 CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO E URBANIZAÇÃO

Atualmente um dos principais problemas ambientais situa-se especialmente nas áreas urbanas, onde a ocupação crescente desordenada das chamadas áreas de suscetibilidade ou fragilidade ambiental (beiras de córregos, encostas íngremes, várzeas inundáveis, áreas de proteção de mananciais), por moradias majoritariamente de populacional de baixa renda, acarreta em um aumento significativo na degradação ambiental. Com a ausência de políticas sociais de habitação, trabalho, saúde e educação, a formação dessas ocupações ilegais de baixa renda é consideravelmente ignorada (CHAER, 2007; RIBEIRO, 2011).

Sendo a urbanização um processo de transformação de uma sociedade, ela pode ser estimada pela proporção da população residente na área urbana em relação à população total. Esse processo de migração das áreas rurais para urbana resulta em um novo espaço geográfico, o qual é constantemente modificado pelas variadas formas de ocupação do solo, causando um desequilíbrio na natureza (FEITOSA et al., 2011).

O IBGE constitui a principal fonte de referência para o conhecimento das condições de vida da população em todos os municípios do País e em seus cortes territoriais internos (IBGE, 2021b). Segundo pesquisas realizadas pelo instituto, municípios de médio porte, com populações entre 100 a 500 mil habitantes foram os que mais cresceram em população entre os anos de 2000 a 2010.

De acordo com Jardim e Silveira (2020), esses municípios abrigam um grande potencial para a expansão urbana, densificação e desenvolvimento urbano. Entretanto, com este aumento, tende-se a agravar as desigualdades socioespaciais, o *déficit* habitacional, os quadros de degradação ambiental e a precariedade das infraestruturas. Fato reafirmado por Tucci (2005), onde cita que o crescimento urbano nos países em desenvolvimento tem se realizado de forma insustentável com a deterioração da qualidade de vida e do meio ambiente.

Em função deste crescimento urbano, uma das alterações mais visíveis se dão diretamente nos canais fluviais, onde muitos desses são canalizados com o objetivo de aumento de áreas disponíveis para ocupação e de solucionar problemas ligados às inundações e propagação de doenças de veiculação hídrica (CARVALHO; MARANGON; SANTOS, 2020).

No município de Erechim, local foco do estudo, dentro da malha urbana grande parte dos rios encontra-se canalizados. Segundo o Instituto Sócio Ambiental Vida Verde (2011), o Rio Tigre que se abriga em quase toda sua totalidade dentro da área urbana, encontra-se parcialmente canalizado e impactados pelas atividades urbanas, pois recebem lançamento de esgoto sem tratamento e de resíduos sólidos.

Porém, este não é um problema exclusivo do município, pois, de acordo com Atlas Esgoto (2017), somente 55% da população possui esgoto sanitário adequado no Brasil, sendo desses no Estado do Rio Grande do Sul, 26,24% coletado e tratado e 24,02% com solução individual. Esses dados são alarmantes, visto que em Erechim, ainda segundo Atlas Esgoto, cerca de 66,21% do esgoto é coletado, no entanto é despejado nos cursos hídricos sem tratamento.

Neste viés, o Governo Federal atualizou a norma que regulamenta o Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007), também conhecida como Política Nacional do Saneamento Básico, através da promulgação da Lei nº 14.026/2020, já citada no item 4.2. Essa nova formulação, traz como meta que 90% do esgoto gerado em território nacional seja coletado e tratado até o final do ano de 2033.

O novo marco também inclui na referida política, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e gestão eficiente dos recursos hídricos, os quais devem dialogar com as demais políticas de resíduos sólidos (Lei nº 12.305/2010) e recursos hídricos (Lei nº 9.433/1997).

Entretanto, os problemas não estão resolvidos, pois o estabelecimento de metas não assegura, por si só, o seu cumprimento (SOUSA, 2020). Vasconcelos e Veloso (2020),

ainda apontam que em meio à pandemia causada pelo COVID-19 e tendo em vista as pesquisas científicas que apontam a necessidade de preservação e tutela ambiental a fim de evitar novas pandemias, mais do que nunca são necessários o compromisso e a responsabilidade de todos os setores.

4.5 GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO

Cada vez mais as geotecnologias vêm sendo utilizadas como ferramentas de apoio a procedimentos de estudos, de análises e de simulações em vários campos do conhecimento humano. A aplicação da gestão de recursos hídricos é inquestionável, face à complexidade do ambiente em corpos de águas naturais, especialmente em lagos, reservatórios, estuários e zona costeira adjacente das bacias hidrográficas. (FELGUEIRAS; ROSMAN, 2001).

Nessa mesma tendência, os sistemas de armazenamento, manipulação e apresentação de dados espaciais, conhecidos como SIG, foram criados e estão sendo utilizados no campo das ciências ambientais (FELGUEIRAS, 2001). Burrough e McDonnell (1998, p.11), definem o SIG como “um conjunto poderoso de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e apresentação de dados espaciais do mundo real para um conjunto particular de propósitos”.

Outra forma de monitorar essas mudanças é através da utilização de produtos multi-temporais de sensoriamento remoto, possibilitando utilizar de imagens orbitais na obtenção de classes de uso e ocupação da terra, de modo ágil e com viabilidade econômica (VAEZA et al., 2012; COELHO et al., 2014; FIORIO; NAKAI; BATAGIN, 2019).

Segundo Lillesand e Kiefer (1994), o sensoriamento remoto pode ser definido como a ciência e a arte de obter as informações sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato direto com o objeto, área ou fenômeno sob investigação.

As imagens oriundas do sensoriamento remoto, segundo a Agência Espacial Brasileira (2018)³, podem ser divididas em quatro resoluções, são elas:

³ Disponível em: <http://www.aeb.gov.br/servicos/imagens-de-satelites/>. Acesso em: 23/07/2020.

- a) Resolução espacial: é o tamanho individual do elemento de área imageada no terreno, e determina o tamanho do menor objeto que pode ser identificado em uma imagem;
- b) Resolução espectral: relaciona-se com o número de bandas situadas em diferentes regiões espectrais e com larguras estreitas de comprimentos de onda. É uma medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno. Quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior a discriminação do alvo na cena e melhor a resolução espectral;
- c) Resolução radiométrica: diz respeito à faixa de valores numéricos associados aos pixels, que representam a intensidade da radiância proveniente da área do terreno coberta pelo pixel (nível de cinza). Quanto maior for a capacidade do sensor para medir as diferenças de intensidade dos níveis de radiância, maior será a resolução radiométrica da imagem;
- d) Resolução temporal: está relacionada ao período de tempo em que o satélite volta a visitar uma mesma área.

Em relação ao SIG, é necessário compreender alguns conceitos que envolvem a realidade a ser representada, como o espaço geográfico. Segundo Dolfus (1991), o espaço geográfico define-se em função de suas coordenadas, sua altitude e sua posição relativa. Entretanto, este é modelado em duas visões complementares: os geo-campos e os geo-objetos (WORBOYS, 1995):

- a) Geo-campo: representa a distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica, num dado tempo t . Desta maneira, torna-se possível representar as diferentes cronologias de alguns temas, tais como as mudanças no uso e cobertura do solo (CÂMARA E MEDEIROS, 1999). Ainda segundo os autores, os geo-campos ainda podem ser especializados em:
 - Temático: dada uma região geográfica R , um geo-campo temático associa a cada ponto do espaço um tema de um mapa, como por exemplo a vegetação é caracterizada pelo conjunto de temas (floresta densa, floresta aberta, cerrado),

- Numérico: dada uma região geográfica, um geo-campo numérico associa, a cada ponto do espaço, um valor real, como por exemplo o mapa de altimetria,
 - Dado de sensor remoto: esta classe é uma especialização de numérico, obtida através de discretização da resposta recebida por um sensor de uma área da superfície terrestre,
- b) Geo-objeto: é um elemento único que possui atributos não espaciais e está associado a múltiplas localizações geográficas. A localização pretende ser exata e o objeto é distinguível de seu entorno (CÂMARA E MEDEIROS, 1999).

Outro conceito importante de se compreender é a escala de mensuração, à qual é formada pelo processo de atribuição de números a qualidade de um geo-objeto, segundo regras definidas por Gerardi e Silva (1981).

De acordo com Stevens (1951), Câmara e Medeiros (1999) e Souza e Penaliza (2005), existem quatro escalas de mensuração básicas aplicadas em SIG: nominal, ordinal, intervalar e razão.

- a) Nível nominal: também chamada de categórica ou classificatória, seus elementos (objetos ou pontos) se diferenciam segundo classes distintas. Como por exemplo, classes de cobertura vegetal. Uma característica comum dos níveis nominais é que a classificação dos eventos é feita sem nenhuma ordem inerente e serve apenas para diferenciá-los;
- b) Nível ordinal: os elementos se diferenciam segundo um conjunto ordenado de classes, baseado em critérios como tamanho e altura. Alguns exemplos de variáveis medidas no nível nominal são dados temáticos de classes de drenagem e de erosão. Entretanto as três principais propriedades desta escala, são:
- Cada objeto se atribui um único valor na escala,
 - Existe uma relação de ordem simbolizada por $<$ (menor do que, inferior a, precede a, etc) de modo que sendo A e B dois objetos quaisquer, com medidas respectivamente iguais a x_A e x_B e sendo $x_A \neq x_B$, só vale uma das seguintes afirmações: $x_A < x_B$, equivalente dizer que A mede menos que o objeto B ou $x_B < x_A$, o objeto B mede menos que o objeto A,

- Porém, se há um terceiro objeto qualquer e se sua respectiva medida satisfaz às duas relações $x_A < x_B$ e $x_B < x_C$, então, necessariamente, vale a relação transitiva $x_A < x_C$.
- c) Nível intervalar: é também uma escala ordinal, porém que possui uma unidade de mensuração, de modo que toda a modalidade da escala é um múltiplo dessa unidade. Também podemos dizer que é uma escala de números reais, permitindo atribuir aos elementos valores negativos e positivos. Um exemplo de variáveis medidas no nível intervalar é o equador e o meridiano de Greenwich, o qual são usados como referência na determinação de posições sobre a superfície da terra, de forma que temos a referência zero arbitrária e a localização geográfica em latitude/longitude;
- d) Nível por razão: baseia-se também, em uma escala de números reais, mas tem o propósito de medição, como por exemplo: peso, área, distância, volume dos elementos. Desta forma, o valor zero não é arbitrário, mas determinado por uma condição natural.

Por fim, sendo as feições geográficas modeladas por geo-campo ou por geo-objetos, os dados em geoprocessamento, podem ser classificados em seis tipos (CÂMARA e MEDEIROS, 1999; CÂMARA et al., 2001; CÂMARA e MONTEIRO, 2001):

- a) Dados temáticos: descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, expressa de forma qualitativa, como mapas de pedologia. Esta variável associa a cada ponto, de uma região do espaço geográfico, uma classe, que pode ter níveis de mensuração nominal ou ordinal, de forma que os mapas descrevem fenômenos modelados por geo-campos;
- b) Dados cadastrais: distingue-se de um dado temático, pois cada um de seus elementos é um objeto geográfico, que possui atributos e podem estar associadas a várias representações gráficas. Por exemplo, os lotes de uma cidade são elementos do espaço geográfico que possuem atributos e podem ter representações gráficas diferentes em mapas de escalas distintas;
- c) Redes: são estruturas lineares, formadas por geo-objetos conectados. Sendo que em geoprocessamento, o conceito de “rede” denota informações associadas a redes de drenagem, rodovias por exemplo;

- d) Modelos numéricos de terreno (MNT): ou também denominado Modelo digital de terreno (MDT) é um mapa em três dimensões de um geo-campo. Representa a distribuição espacial de uma variável que associa a cada ponto (x, y) de uma região do espaço geográfico um número real (z). Comumente, os MNT são associados à altimetria, entretanto podem ser utilizados para modelar grandezas geoquímicas. Segundo o Guia de Especificações Básica de dados LIDAR, elaborado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), no Brasil e em alguns países, o MDT é um sinônimo de Modelo digital de elevação (MDE), de forma que pode ser resumido como uma grade de varredura do solo regularmente espaçada e referenciada a um ponto de referência vertical comum;
- e) Imagens: representam formas de captura indireta de informações espaciais e são fontes atualizadas de informações para produção de novos mapas. Podem ser obtidas por satélites, fotografias aéreas ou *scanners* aerotransportados. As imagens são armazenadas no sistema como matrizes, onde cada um de seus elementos (denominados de “*pixel*”), tem uma coordenada e um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente. Descrevem então, fenômenos modelados por geo-campo. Pela natureza do processo de aquisição de imagens, os objetos geográficos estão contidos na imagem, sendo necessário recorrer a técnica de fotointerpretação e de classificação para individualizá-los.

A partir de toda base conceitual descrita, a utilização do SIG se mostra uma ferramenta poderosa de suporte à tomada de decisões. Entre os principais softwares de geoprocessamento utilizados atualmente estão: ArcGIS, QGIS, Grass GIS, SAGA, SPRING, entre outros.

Para o presente trabalho, será utilizado o *software* QGIS, ao qual é um SIG de código aberto⁴ licenciado segundo a Licença Pública Geral (GNU), e um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo), uma organização sem fins lucrativos, criada no intuito de apoiar o desenvolvimento de *softwares* geoespaciais, como também o uso livre desses.

⁴ O *software* de código aberto e livre é tecnicamente definido como um *software* no qual o código fonte está disponível para modificação e redistribuição pelo público em geral (CORREIA, 2011).

4.6 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Segundo Lira e Cândido (2013), as metodologias relacionadas aos recursos naturais, são de difícil aplicação, visto que, no processo de tomada de decisão, é necessário escolher diversos indicadores, critérios e conflitos. E com a complexidade das últimas décadas devido ao aumento das informações, fez com que surgissem novos métodos de tomadas de decisão, que propiciassem maior assertividade (BRIOZO e MUNETTI, 2015).

Um desses métodos de tomada de decisão é a análise multicritério. De acordo com Guimarães (2012) e Roy (1996), a análise multicritério pode ser entendida como uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas, fundamentada em vários critérios, com o intuito de direcionar a decisão para a escolha mais ponderada. Para tanto, é feito um equacionamento no qual constam fatores a serem considerados, os pesos dados a esses fatores e uma hierarquia entre eles.

Alguns desses sistemas de apoio, tem sido utilizado em ambientes de SIG, potencializando a capacidade destes de análise de dados de natureza espacial, visto que as geotecnologias em conjunto com as técnicas de análise multicritério permitem que se manipulem inúmeras variáveis, de forma a extrair alternativas viáveis para um problema, transformando a combinação em resposta para uma tomada de decisão (GUIMARÃES, 2012; MALCZEWSKI, 2004).

No que se refere aos SIG's, para o processo decisório, é necessário compreender algumas definições (EASTMAN, 2003):

- a) Decisão: é uma escolha entre várias alternativas, fundamentadas num determinado critério o qual representa uma condição que pode ser quantificada ou avaliada;
- b) Critério: representa uma condição que pode ser quantificada ou avaliada;
- c) Critério de natureza restritiva: são aquelas que limitam as alternativas que estão sendo consideradas, excluindo áreas e limitando espacialmente as possibilidades de escolha;
- d) Critério de natureza relativa: também chamado de fatores, são aqueles que apresentam certo grau de aptidão para uma alternativa específica para a atividade que está sendo considerada.

Para cada critério é necessário atribuir pesos e notas que refletem a importância no processo de tomada de decisão, neste caso, na caracterização das potenciais áreas de

poluição hídrica. Desta forma, para o presente trabalho será empregado o Método de Análise Hierárquica (AHP), o qual é um método simples e confiável, que permite a utilização de dados qualitativos e/ou quantitativo mensuráveis, sendo estes tangíveis ou intangíveis, na análise de critério (JORDÃO e PEREIRA, 2005).

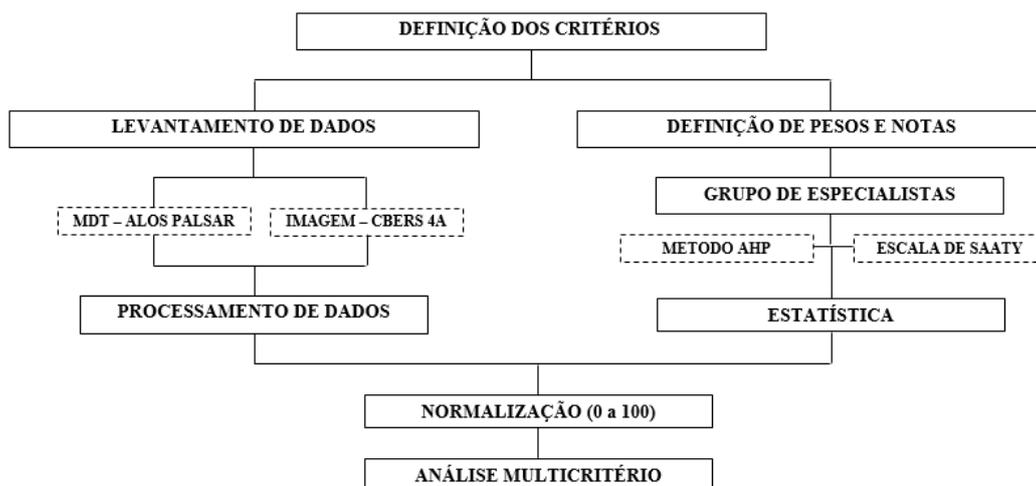
Entretanto, durante o processo de análise dos dados em ambiente SIG, são em diferentes escalas que os critérios são medidos. Assim é necessário que os fatores sejam padronizados, com a utilização de métodos como a Lógica Fuzzy, que resumidamente é uma técnica inteligente que faz uso da representação da forma humana de pensar, transformando valores em formas linguísticas como alto, médio ou baixo, utilizando um domínio contínuo, com graus de pertinência que variem de zero (0) a um (1) ou zero (0) a 255, após a normalização, podendo ser padronizado através de funções linear, sigmoidal ou em forma de J (ZADEH, 1965; EASTMAN, 2003 e BARIN et al., 2010).

Desta forma, similarmente aos estudos de Guimarães (2012), Reis (2018), Mafra (2020) e Paiva Júnior et al. (2020), que utilizaram a análise multicritério para diferentes aplicações, o presente trabalho propôs através do método AHP, realizar a análise para determinar áreas influentes à poluição hídrica.

5 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho foi baseada em trabalhos como de Guimarães (2012) e Mafra (2020). Para melhor compreensão do todo, na Figura 2 é apresentado o fluxograma de trabalho ao qual será descrito nos itens seguintes.

Figura 2 - Fluxograma das etapas da metodologia.



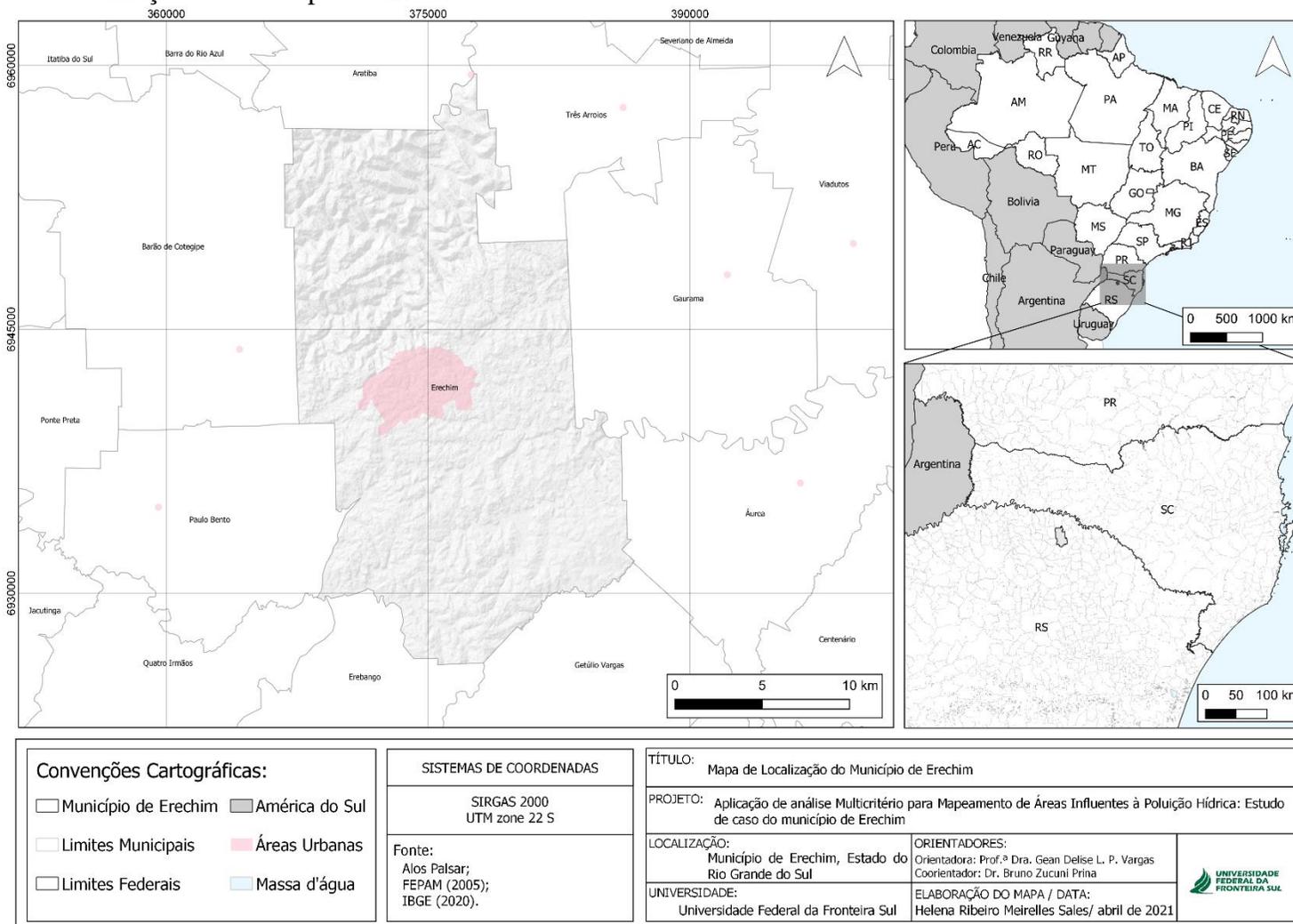
Fonte: Elaborado pela autora.

5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado no município de Erechim, localizado na região norte do estado do Rio Grande do Sul, na região do Alto Uruguai. A cidade é limitada ao norte com os municípios de Aratiba e Três Arroios, ao leste com Gaurama e Áurea, a oeste com Paulo Bento e Barão de Cotegipe e ao Sul com Getúlio Vargas, como é apresentado na Figura 3.

Segundo IBGE (2020a), Erechim possui uma área de aproximadamente 429,164 km², uma população de 106.633 habitantes, e densidade demográfica de 223,11 hab/km² (IBGE, 2010). Segundo Furlan (2016), mais de 90% da população total encontra-se no perímetro urbano.

Figura 3 - Mapa de localização do município de Erechim.



Fonte: Elaborado pela autora.

A região localiza-se em relevo cuja formação é denominado Planalto Meridional Brasileiro, na bacia do Paraná (ROVANI e CASSOL, 2012). Apresenta altimetria entre 445 a 860 metros acima do nível do mar, com superfícies irregulares. E quanto à clinografia, a área em estudo apresenta o relevo fortemente ondulado e moderadamente ondulado com maior predominância, com porcentagens de 29,40% e 23,13%, respectivamente (Figura 9⁵).

O clima da região é subtropical, segundo a classificação de Köppen. A predominância é de um inverno bastante chuvoso entre os meses de maio a setembro, e o verão quente e seco iniciando no mês de novembro e seguindo até abril. Porém, a região tem como característica principal a ocorrência de chuvas regulares e valores térmicos com grande variabilidade sazonal (DE LEMOS, 1973; PAGLIARI e DA SILVA, 2006; ROVANI e CASSOL, 2012).

A área em estudo está inserida na Região Hidrográfica do Uruguai, nas Bacias Hidrográficas dos Rios Apuaê-Inhandava (U010) e Rio Passo Fundo (U020). Esta região se caracteriza por apresentar inúmeros pequenos cursos d'água coletados em sua maioria, pelos rios Passo Fundo, Erechim, Apuaê (Ligeiro) e Várzea. Estas microbacias integram o início da Bacia do Rio Uruguai, que por sua vez, vai integrar a Bacia do Prata (BUTZKE, 1997; CASSOL e PIRAN, 1975 apud PLANO AMBIENTAL MUNICIPAL, 2011).

Segundo o Plano Ambiental Municipal (2011), a rede hídrica de Erechim é formada pelos rios Dourado, Suzana, Leãozinho, Ligeirinho, Campo, Cravo, o arroio Tigre e o Lajeado Henrique. Ainda segundo o Plano, a extensão total dos cursos d'água situados dentro do município corresponde a 618,83 km, representando uma densidade de drenagem de 14,48 m/ha. O maior rio em extensão encontrado no território é o Dourado, com um comprimento de aproximadamente 188 km, e o segundo é o arroio do Tigre com 118 km.

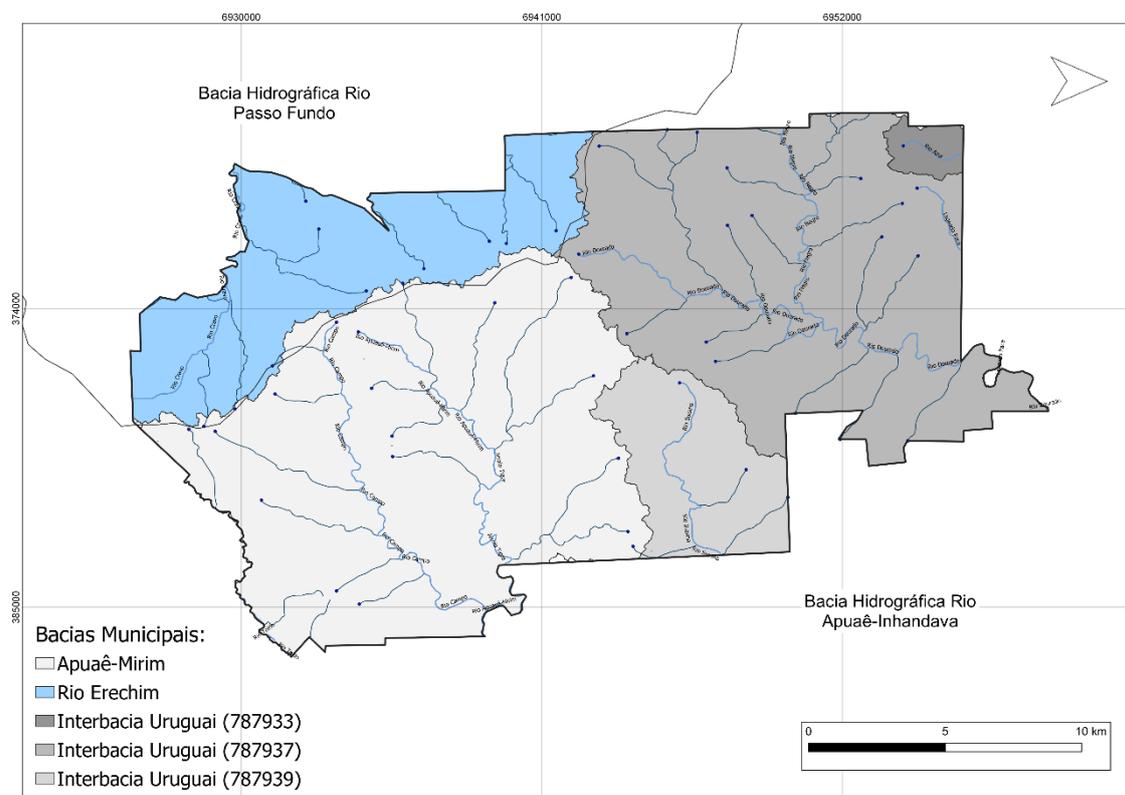
Em função do relevo, o perfil destes rios apresenta sucessivas rupturas de declive. Suas nascentes situam-se entre 700 a 800 m de altitude, e sua foz, distanciada de 150 a 200 km, em altitudes variando entre 400 e 600 metros (PLANO AMBIENTAL MUNICIPAL, 2011).

Na área urbana de Erechim, podem ser delimitadas três bacias hidrográficas (Figura 4): Rio Apuaê-Mirim, Rio Erechim e Interbacia do Rio Uruguai. Com densidade de drenagem na área urbana de 12,65m/ha, os cursos d'água são de pequeno porte, com

⁵ A declividade é um dos critérios do trabalho, de forma que o mapa referente às informações se encontra nos resultados.

suas nascentes localizadas na área urbana, sendo a maioria alimentada pelas águas pluviais (PLANO AMBIENTAL MUNICIPAL, 2011).

Figura 4 – Bacias hidrográficas do município de Erechim.



Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda segundo o Plano Ambiental Municipal, muitas das nascentes dos rios que abastecem Erechim e cidades vizinhas estão localizadas dentro da área urbana, sendo assim os principais problemas associados a elas envolvem a presença de fontes poluidoras, ausência de vegetação no entorno, ampliação das áreas impermeabilizadas, além de represamentos que influenciam negativamente o regime hidrológico, e ainda em muitos casos, os córregos estão canalizados e incorporados ao sistema de esgoto da cidade.

Entretanto, em um contexto geral, segundo o Plano Ambiental Municipal (2011), a qualidade das águas das bacias hidrográficas apresenta classificação de regular a boa, com condição flutuante de acordo com a sazonalidade, em que muitos períodos do ano atingem classificação ruim e péssima, devido à grande carga orgânica que é despejada no leito dos rios.

O município de Erechim, também conta com unidades de conservação (UC), sendo elas: APA dos Rios Ligeirinho e Leãozinho, APA do Rio Suzana, Reserva Biológica do

Distrito Industrial (em processo de recategorização), Parque Natural Municipal Longines Malinowski e Horto Florestal Municipal (em processo de recategorização).

5.2 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS

Tendo como base o objetivo de determinar parâmetros que afetem de forma direta e indireta os cursos d'água, foi realizada uma revisão da literatura, de modo a selecionar os critérios de maior relevância para o presente estudo, visto que como informado na caracterização da área, grande parte dos cursos hídricos que cruzam o perímetro urbano do município de Erechim encontram-se canalizados, e com lançamento de efluentes.

Os critérios foram divididos em critério quantitativos e qualitativos, de natureza relativa e restritiva, conforme descrição dos itens a seguir:

5.2.1 Critérios Quantitativos

- a) Topografia (Altimetria e Declividade): em concordância com Vieira et al. (2008), Guimarães (2012), Magalhães (2017), Mafra (2020), a topografia influencia diretamente na qualidade da água, visto que:
 - As cabeceiras devem possuir melhores condições na qualidade da água, pois se encontram em altitudes elevadas, sem grandes contribuições poluidoras. Já os pontos com altimetria mais baixa, próximos a foz recebem a contribuição de toda a bacia hidrográfica, de forma que todas as poluições causadas no decorrer dos trechos ocasionem piores condições na qualidade da água;
 - Em áreas com grandes declividades, sejam elas naturais ou antrópicas, acarretam no aumento dos processos erosivos.

Desta forma, em relação ao critério de altimetria, as notas serão maiores para menores altitudes, ao contrário da declividade, onde as maiores notas serão para maiores declividades.

- b) Proximidade aos cursos d'água e nascentes: o foco do estudo são as áreas que possuem maior influência à poluição hídrica, desta maneira, um critério primordial, é a proximidade dos cursos d'água e nascentes, em relação às fontes

poluidoras. Desta forma, quanto mais próxima está a área de um curso d'água, maior a chance de causar danos, portanto maior será a nota atribuída.

5.2.2 Critério Qualitativo

Em relação aos critérios que afetam diretamente os cursos hídricos, um dos primeiros pontos que se deve analisar é o uso e ocupação da terra. Para o trabalho, foram divididos os usos em: áreas antrópicas não agrícolas (área urbanizada), áreas antrópicas agrícolas, áreas de vegetação natural (florestal e campestre), água e outras áreas (área descoberta).

Segundo trabalhos desenvolvidos por Corseuil (2006) e Mafra (2020), quando se altera a cobertura do solo, de áreas florestais para usos urbanos, ou atividades rurais, a modificação do meio gera impactos significativos, rompendo o equilíbrio natural, causando a redução da qualidade da água.

Sendo assim, as notas serão atribuídas de acordo com o impacto do uso e ocupação, sendo a menor para áreas florestais, e maiores para áreas urbanizadas.

5.2.3 Critérios Restritivos

Foram definidas como restrição, para o propósito deste trabalho, as áreas espelhos d'água dos açudes e a rede hidrográfica, nas quais não faz sentido qualquer tipo de avaliação para o objetivo proposto.

5.3 DEFINIÇÃO DO GRUPO DE ESPECIALISTAS

Para determinação das importâncias relativas ou pesos referentes a cada critério citado no item anterior, foi criado um grupo de especialistas com 10 integrantes, sendo estes mestres e doutores, que atuam diretamente na área ambiental, em meio acadêmico e profissional.

O grupo foi consultado com a utilização de um questionário, onde é explicado o projeto, os critérios e como prosseguir para determinar os pesos e importâncias a cada ponto solicitado. Foram utilizadas regras de validação e inserção de comentários de forma a impedir que fosse utilizado valores de julgamento inválidos nas células, conforme pode ser observado no Apêndice A.

Para orientar na avaliação das notas, e suas respectivas importâncias, foi utilizado da escala fundamental de Saaty, onde a importância varia de 1 a 9, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Escala Fundamental de Saaty para comparação dos critérios.

Escala	Avaliação	Recíproco	Comentário
Igual importância	1	1	Os dois critérios contribuem igualmente
Importância moderada	3	1/3	A experiência e o julgamento favorecem um critério levemente sobre o outro
Mais importante	5	1/5	A experiência e o julgamento favorecem um critério fortemente sobre o outro
Muito importante	7	1/7	Um critério é fortemente favorecido em relação a outro e pode ser demonstrado na prática
Importância extrema	9	1/9	Um critério é favorecido em relação a outro com maior alto grau de certeza
Valores intermediários	2, 4, 6, 8		Quando se procura condições de compromisso entre duas definições. É necessário acordo.

Fonte: Adaptação de Saaty (2005).

5.4 NORMALIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Normalização dos critérios é uma forma de transformar os critérios que possuem escalas diferentes para uma escala de valores comum, de forma a viabilizar o cruzamento de forma imediata. Esta padronização faz com que os fatores sejam levados a uma unidade comum de medida numa escala de mensuração quantitativa do tipo ordinal permitindo a realização de comparações entre os critérios e sua agregação pela aplicação do método multicritério da combinação linear ponderada (GUIMARÃES, 2012).

5.4.1 Critérios fatores

Para os critérios de natureza quantitativa foram utilizadas notas linearmente crescentes para a normalização, enquanto que, para os critérios qualitativos usou-se o processo de associação com valores de cada classe definido por especialistas.

5.4.1.1 Altimetria

Este critério possui escala de mensuração de dados quantitativa, cujos limites adotados foram: o valor mínimo e o máximo encontrados no MDT com recorte de Erechim. Nesse sentido, quanto maior a altitude (áreas mais altas) menor será seu potencial de poluição hídrica, e, portanto, menores serão os valores na escala padrão do mapa desse fator. Ao contrário, menores altitudes proporcionarão maiores riscos à poluição hídrica.

5.4.1.2 Declividade

Este critério possui escala de mensuração de dados quantitativa, cujos limites adotados foram: o valor mínimo e o máximo encontrados no MDT com recorte de Erechim. Nesse sentido, quanto maior a declividade (áreas mais íngremes) maior será seu potencial de poluição hídrica, e, portanto, maiores serão os valores na escala padrão do mapa desse fator. Ao contrário, menores declividades proporcionarão menores riscos à poluição hídrica.

5.4.1.3 Proximidade aos cursos hídricos

O critério de proximidades aos cursos hídricos foi padronizado, de maneira que, quanto mais distantes as áreas estiverem do curso hídrico, menores serão os riscos à poluição hídrica atribuída a estes locais.

A partir da distância limite (500 m), os valores atribuídos à poluição hídrica caem bruscamente até o ponto limite, de modo que as distâncias superiores a este, praticamente não produzam riscos ao meio ambiente.

5.4.1.4 Uso e ocupação da terra

Este critério possui uma escala de mensuração de dados qualitativa (classes: áreas antrópicas não agrícolas (área urbanizada), áreas antrópicas agrícolas, áreas de vegetação natural (florestal e campestre), água e outras áreas (área descoberta)), logo foi feita uma conversão para uma escala quantitativa com valores ponderados pelos especialistas utilizando uma escala de 0 a 100% (Tabela 1).

A normalização foi realizada mediante uma associação entre valores correspondentes aos pesos relativos às várias classes de uso e ocupação da terra e os valores numéricos 0 a 100.

A classe de área urbanizada contribui de forma mais intensa para a degradação ambiental que as outras. Logo, adotou-se para esta o valor de 100, enquanto que aquela que menos contribui é a florestal, sendo a ela atribuído o valor mínimo 1 (um), pois o zero trata-se do valor de restrição. As outras classes compreendidas entre esses limites receberam valores, seguindo uma proporção linear aos seus respectivos pesos (Tabela 1).

Tabela 1 - Ponderação para as classes de uso e ocupação da terra realizada pelos especialistas e os valores normalizados.

Identificador	Classes de uso	Notas (%)	Valor normalizado
1	Florestal	2,42	1
2	Campestre	8,41	18
3	Áreas agrícolas	19,82	42
4	Área descoberta	22,13	47
5	Área urbanizada	47,23	100

Fonte: Elaborado pela autora.

5.4.2 Critérios restritivos

Para os critérios restritivos, atribuiu-se no raster com a classificação de uso e ocupação da terra o valor 0 (zero) aos pixels correspondentes às áreas onde não se admite a possibilidade de qualquer tipo de avaliação dos riscos à poluição hídrica (açudes e rios).

5.5 PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Os critérios fatores foram ponderados utilizando a metodologia do AHP, cuja característica é comparar os fatores aos pares. E na avaliação da importância relativa dos fatores, foi empregada a Matriz de Comparação Pareada (Tabela 3) (GUIMARÃES, 2012).

A determinação dos pesos utilizando o método AHP segue uma rotina de cálculo com sete passos, são eles (RAMOS, 2000; CHAN; KWOK; DUFFY, 2004; GUIMARÃES, 2012):

1. Construção da matriz de comparação pareada

O método AHP fundamenta-se numa matriz quadrada ($n \times n$) de comparação relativa entre os “n” critérios, onde as linhas e as colunas da matriz correspondem aos critérios avaliados (GUIMARÃES, 2012; RAMOS, 2000).

A Tabela 2 representa um julgamento hipotético, apenas para ilustração, de um especialista.

Tabela 2 - Matriz de comparação pareada.

Cré debates	Altimetria	Declividade	Proximidade	Uso e ocupação
Altimetria	1	3	9	7
Declividade	1/3	1	5	3
Proximidade	1/9	1/5	1	5
Uso e ocupação	1/7	1/3	1/5	1

Fonte: Adaptada de Saaty (2005).

Cada componente do grupo de especialistas faz seu julgamento comparando os critérios aos pares, de acordo com a escala fundamental de Saaty (Quadro 1) e preenchendo a parte superior da matriz.

As posições da diagonal sempre serão 1, afinal, um elemento é igualmente importante a ele mesmo. Já para as comparações inversas, na diagonal inferior, coloca-se os valores recíprocos dos da parte superior direita da mesma.

2. Cálculo do autovetor principal

Saaty (1980) e Guimarães (2012), mostram que o autovetor resultante do máximo autovalor da matriz A (matriz de comparação pareada) traduz a prioridade dos fatores e preserva a preferência ordinal entre as alternativas representando os pesos referentes a cada critério.

3. Cálculo do máximo autovalor

O cálculo do máximo autovalor (λ_{\max}) é obtido pela média aritmética dos elementos da matriz D, sendo a matriz D resultante da divisão entre os elementos da matriz C pelos elementos da matriz B (GUIMARÃES, 2012).

$$\begin{array}{ccc} \boxed{\text{Matriz A}} & & \boxed{\text{Matriz B}} \quad \boxed{\text{Matriz C}} \\ \left(\begin{array}{cccc} 1 & 3 & 9 & 7 \\ 1/3 & 1 & 5 & 3 \\ 1/9 & 1/5 & 1 & 5 \\ 1/7 & 1/3 & 1/5 & 1 \end{array} \right) \times \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} \end{array}$$

$$\text{Matriz D} = \begin{pmatrix} a/A \\ b/B \\ c/C \\ d/D \end{pmatrix}$$

λ_{\max} = média aritmética dos elementos da matriz D.

4. Cálculo do índice de consistência (IC)

O cálculo do valor de índice de consistência é obtido através da Equação (1):

$$\text{IC} = \frac{\lambda_{\max} - N}{N - 1} \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo N o número de critérios, portanto 4.

5. Cálculo do índice de aleatoriedade (RI)

O índice de aleatoriedade foi utilizado conforme tabela proposta por Saaty (1991), onde o índice de aleatoriedade foi calculado em laboratório para tamanhos de amostras de 1 a 15, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Valores atribuídos a RI correspondente ao número de critérios.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.50

Fonte: adaptado de Saaty (1991).

Desta forma, para o projeto foi utilizado o valor 0.9, pois são quatro critérios considerados.

6. Cálculo da razão de consistência (RC)

A razão de consistência foi calculada pela Equação 2, a qual utiliza os valores calculados anteriormente.

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad \text{Equação (2)}$$

7. Reavaliação dos julgamentos da matriz caso RC supere o valor 0.1 ou 10%.

A RC indica a probabilidade, com que os valores de julgamento dos critérios foram gerados aleatoriamente, desta forma, como regra geral, se o RC for menor que 0.1 ou 10%, então há consistência para prosseguir com os cálculos do AHP, entretanto se o valor for maior que 0.1 os julgamentos deverão ser refeitos (SAATY, 1991).

Após a consulta com os especialistas, utilizou-se o método estatístico da moda, média expurgada e média normalizada para converter as opiniões individuais em um único julgamento representativo do grupo. A metodologia utilizou a moda para definir o ranqueamento dos critérios, e o valor referente ao peso foi determinado pela média expurgada (FRANCISCO et al., 2008; GUIMARÃES, 2012).

A média expurgada relaciona-se à média dos pesos que satisfazem a seguinte condição:

$$\bar{x} - S \leq \alpha_i \leq \bar{x} + S$$

Onde:

\bar{x} = média de todos os pesos finais;

S = desvio-padrão;

α_i = peso sugerido pelos especialistas.

5.6 APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Para a aplicação da análise multicritério, foi realizada a combinação dos critérios através da aplicação do método de análise multicritério da combinação linear ponderada. Em resumo, essa etapa consiste na multiplicação de cada mapa pelo fator (X_i) padronizado dentro do intervalo de 1 a 100 pelo seu peso ponderado (W_i), de acordo com o seu grau de importância determinado a partir da matriz de comparação pareada e, somando-se em seguida todos os resultados da multiplicação (Equação 3).

$$S = \sum_{i=1}^n W_i \times X_i \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

S = nota atribuída ao fator considerado;

W_i = ponderação do fator;

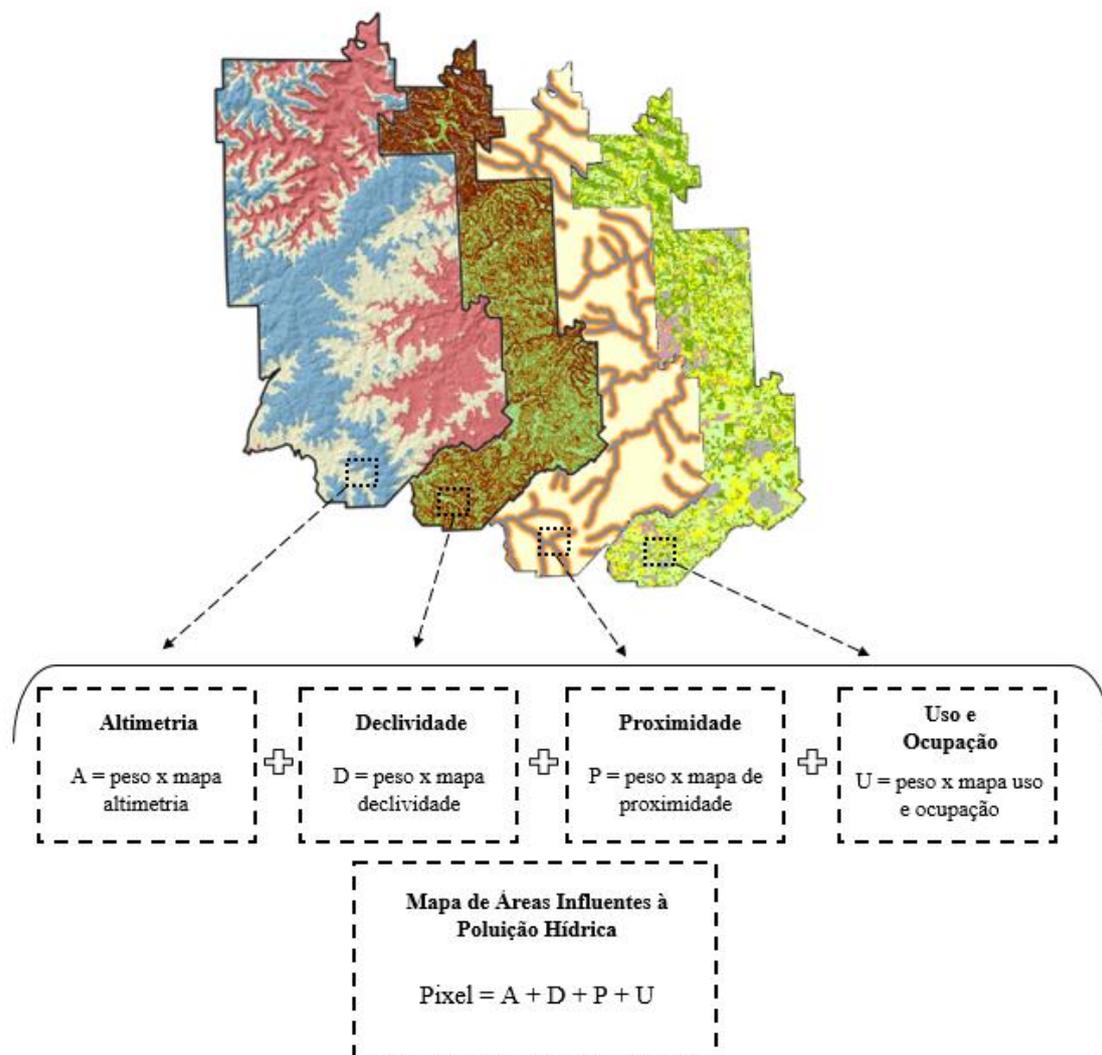
X_i = fator padronizado;

n = número de fatores.

Desta forma, o mapa de locais influentes a poluição hídrica foi determinada pela álgebra de mapas, realizando a operação em cada pixel da imagem raster. Este procedimento seguiu o exemplificado pela Figura 5, onde se usou a seguinte regra de decisão: Influência à poluição hídrica = peso* nota⁶ Altimetria + peso* nota Declividade + peso* nota Proximidade + peso* nota Uso e ocupação.

⁶ A nota refere-se ao valor de cada pixel dos mapas.

Figura 5 - Exemplo de aplicação do método multicritério de combinação linear ponderada pixel a pixel.



Fonte: Elaborado pela autora.

5.7 OBTENÇÃO DO MAPA DE ÁREAS INFLUENTES À POLUIÇÃO HÍDRICA

5.7.1 Altimetria

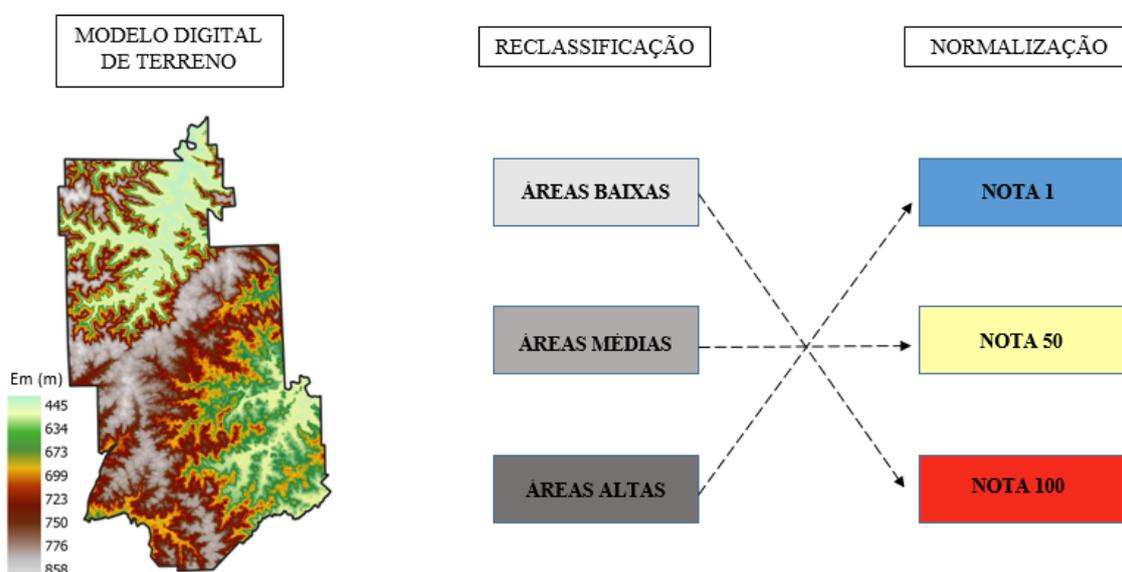
No presente trabalho, foi utilizado para análise da altimetria, o modelo digital de terreno (MDT) do satélite ALOS PALSAR com resolução de 12,5 metros, disponibilizados gratuitamente pela *Alaska Satellite Facility*.⁷

⁷ Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS&zoom=3¢er=-97.493959,39.672786>. Acesso em: 07/03/2021.

O satélite foi lançado pela Agência de Exploração Aeroespacial Japonesa (JAXA), em 24 de janeiro de 2006 e descreve uma órbita circular e heliossíncrona a 692 km de altitude, com um período de revisita de 46 dias (IBGE, 2021c).

Para análise no *software* QGIS, o raster foi recortado utilizando como camada máscara o limite municipal de Erechim. O MDT foi classificado através da renderização banda simples falsa-cor, com interpolação linear, e modo quartil. E reclassificado através da ferramenta “Reclassificar por tabela” dividindo em três classes, e normalizado pela calculadora raster de forma a variar de 1 a 100 (Figura 6).

Figura 6 – Metodologia aplicada a Altimetria.



Fonte: Elaborado pela autora.

5.7.2 Declividade

Para a declividade também foi utilizado para análise, o MDT do satélite ALOS PALSAR com resolução de 12,5 metros, disponibilizados gratuitamente pela *Alaska Satellite Facility*.

Para análise no *software* QGIS, foi utilizado o raster recortado para a altimetria. O MDT foi classificado através da renderização banda simples falsa-cor, com interpolação linear, e modo contínuo. E foi reclassificado através da ferramenta “Reclassificar por tabela”, e normalizado pela calculadora raster de forma a variar de 1 a 100 (Figura 7).

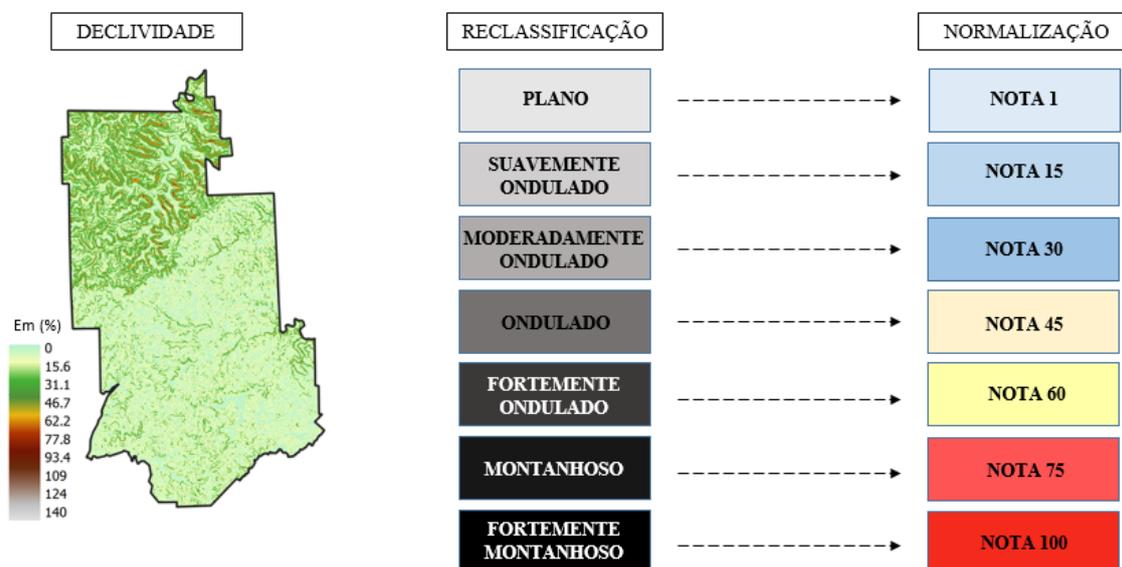
A reclassificação baseou-se nas classes preconizadas por Ramalho Filho e Beek (1995) e Embrapa (1999), onde as formas dos relevos e os respectivos intervalos podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Formas de relevo e classes de declividade.

Relevo	Intervalo de classes de declividade (%)
Plano / praticamente plano	0 a 3
Suavemente ondulado	3 a 8
Moderadamente ondulado	8 a 13
Ondulado	13 a 20
Fortemente ondulado	20 a 45
Montanhoso	45 a 75
Fortemente montanhoso	>75

Fonte: adaptada de Ramalho Filho e Beek (1995).

Figura 7 – Metodologia aplicada a declividade.



Fonte: Elaborado pela autora.

5.7.3 Proximidade aos cursos hídricos

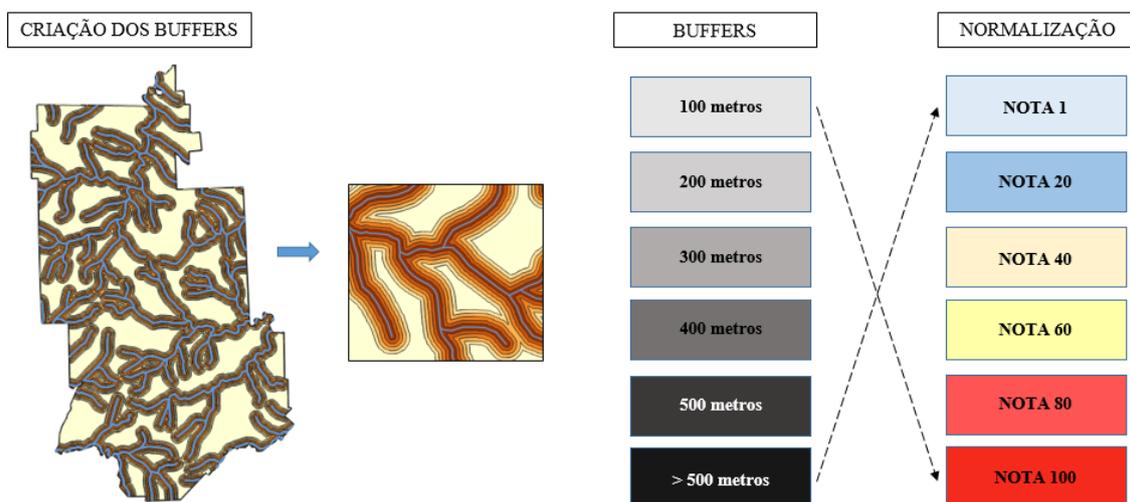
Os cursos hídricos do município de Erechim, teve como base os *shapefile* disponibilizados pela ANA e a FEPAM para comparação com a hidrografia gerada através do MDT do satélite ALOS PALSAR, através da ferramenta do complemento SAGA

“*Channel Network and drainage basins*”, a qual também foi responsável por gerar as nascentes e as bacias hidrográficas.

Para o mapa de proximidade aos rios, foi utilizado a ferramenta de *Multi-ring buffer* do QGIS, para construção de áreas de influência que variam de 100 a 500 m, com intervalos de 100, para notas entre 1 a 100, e posteriormente aos 500 metros será considerado que a área não tem quase nenhum impacto sobre o recurso hídrico.

Para finalizar, converteu-se o vetor em raster através da ferramenta rasterizar, e novamente foi normalizado pela calculadora raster de forma a variar de 1 a 100 (Figura 8).

Figura 8 – Metodologia aplicada a proximidade ao rio.



Fonte: Elaborado pela autora.

5.7.4 Classificação de imagens

No presente trabalho, foi utilizada imagem raster do satélite CBERS 4A, para classificação do uso e ocupação da terra. O raster datado de 04 de agosto de 2020, foi disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais⁸ (INPE).

O módulo de carga útil utilizado foi a câmera multiespectral e pancromática de ampla varredura (WPM), com resolução multiespectral de 8 m. Para melhor compreensão das bandas do sensor, na Tabela 5 estão dispostas as respectivas bandas espectrais, resolução espectral e resolução espacial:

⁸ Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Acesso em: 05/04/2021.

Tabela 5 - Bandas do CBERS 4A utilizadas

Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial
B1 - Azul	0,45 - 0,52 μm	8 m
B2 - Verde	0,52 - 0,59 μm	
B3 – Vermelho	0,63 - 0,69 μm	
B4 – Infravermelho próximo	0,77 - 0,89 μm	
B0 - Pancromática	0,45 - 0,90 μm	2 m

Fonte: Adaptação de dados da INPE.

Para a classificação do uso e ocupação da terra, foram utilizadas as classes de floresta, campestre, área antrópica agrícola, área descoberta, área urbanizada e água, e foi utilizado o plug-in *semi automatic classification plugin* no software QGIS, com composição colorida RBG (4-3-2), tendo como base para nomenclaturas e cores o Manual Técnico de Uso da Terra, do IBGE⁹.

Por fim, o raster gerado foi reclassificado através da ferramenta “Reclassificar por tabela”, seguindo uma associação entre as classes de uso e ocupação e os valores referentes a escala contínua de zero (0) a 100, tendo como base a ponderação realizada pelos especialistas.

⁹ Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em 23/07/2020.

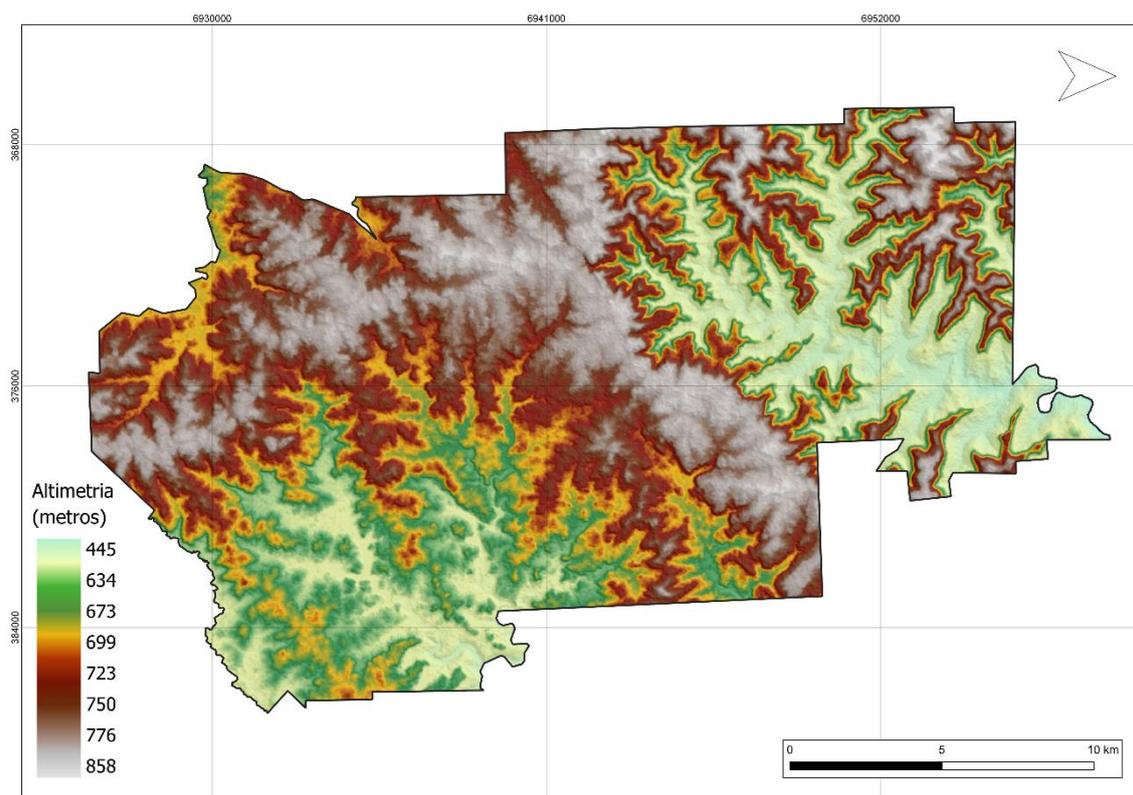
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 MAPAS MATRICIAIS REFERENTES AOS CRITÉRIOS

6.1.1 Altimetria

Conforme detalhado na metodologia, o mapa de altimetria foi elaborado através do MDT com resolução de 12,5 m disponibilizado pelo ALOS PALSAR (Figura 9), no qual se constata que as áreas localizadas ao Sudoeste e Central do município de Erechim possuem as maiores altitudes, atingindo, em algumas áreas, o valor de 858 m. Na região Norte e Sudeste, foram obtidos valores de altitudes próximas a 445 m, gerando uma variação altimétrica de 413 m.

Figura 9 – Altimetria da área de estudo



Fonte: Elaborado pela autora.

Com o objetivo de quantificar as áreas altas, médias e baixas, foi realizado um fatiamento em três intervalos iguais, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Classes de altimetria.

Altimetria (m)	Classe	Área (km ²)	Percentual (%)
0 a 682	Baixa	141,49	32,96
682 a 742	Média	147,17	34,29
742 a 1000	Alta	140,54	32,75

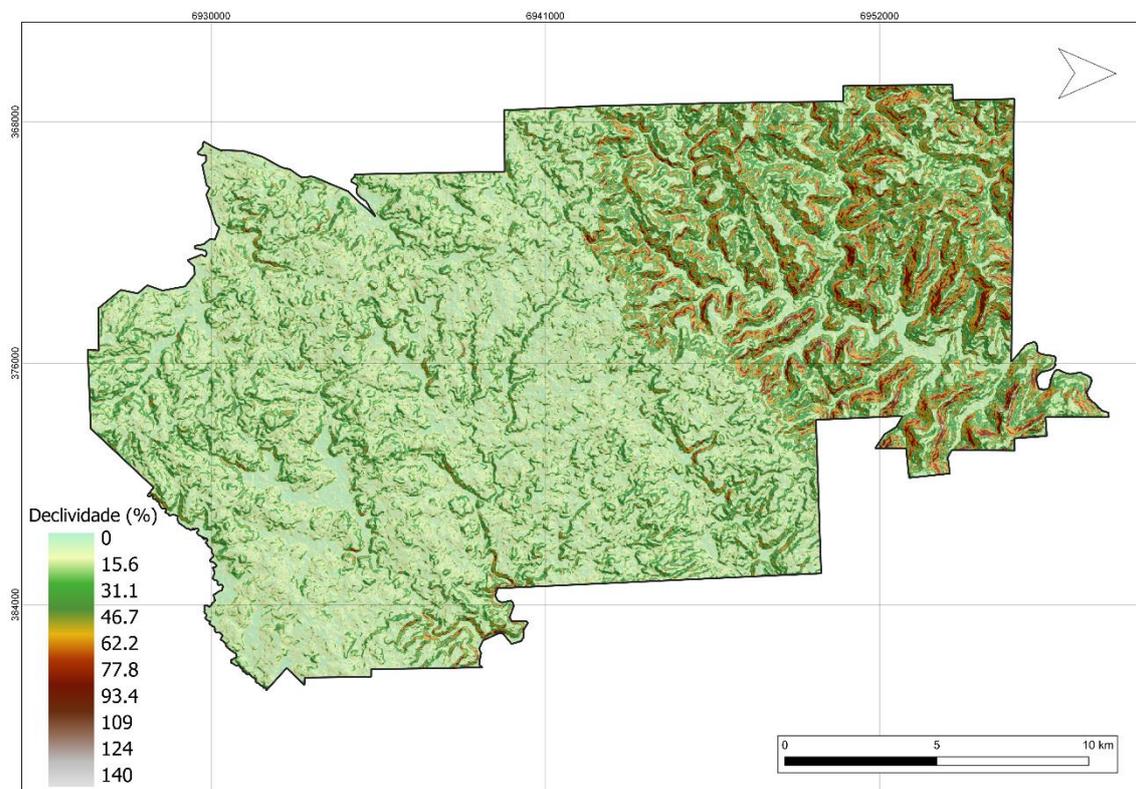
Fonte: Elaborado pela autora.

6.1.2 Declividade

Da mesma forma que a altimetria, a declividade foi obtida através do MDT disponibilizado pelo ALOS PALSAR. A escala de mensuração utilizada para a representação do mapa de declividade do terreno teve como unidade a medida de valores em porcentagem, conforme apresentado na Figura 10.

No mapa no que se refere à declividade, é observado que as maiores declividades estão situadas na parte Norte do município e atingem valores de 140% em alguns pontos, e 0% nas áreas Central e Sul.

Figura 10 – Declividade da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para quantificar o relevo, foi realizado um fatiamento em sete intervalos de classes conforme metodologia da Embrapa (1999). As classes de relevo e os limites de declividades, estão apresentados na Tabela 7, bem como a porcentagem da área ocupada por cada classe.

Tabela 7 - Classes de declividade.

Declividade (%)	Descrição do Relevo	Área (km²)	Percentual (%)
0 a 3	Plano / praticamente plano	13,61	3,18
3 a 8	Suavemente ondulado	80,00	18,72
8 a 13	Moderadamente ondulado	98,85	23,13
13 a 20	Ondulado	92,23	21,58
20 a 45	Fortemente ondulado	125,57	29,40
45 a 75	Montanhoso	16,66	3,90
> 75	Fortemente montanhoso	0,36	0,084

Fonte: Elaborado pela autora.

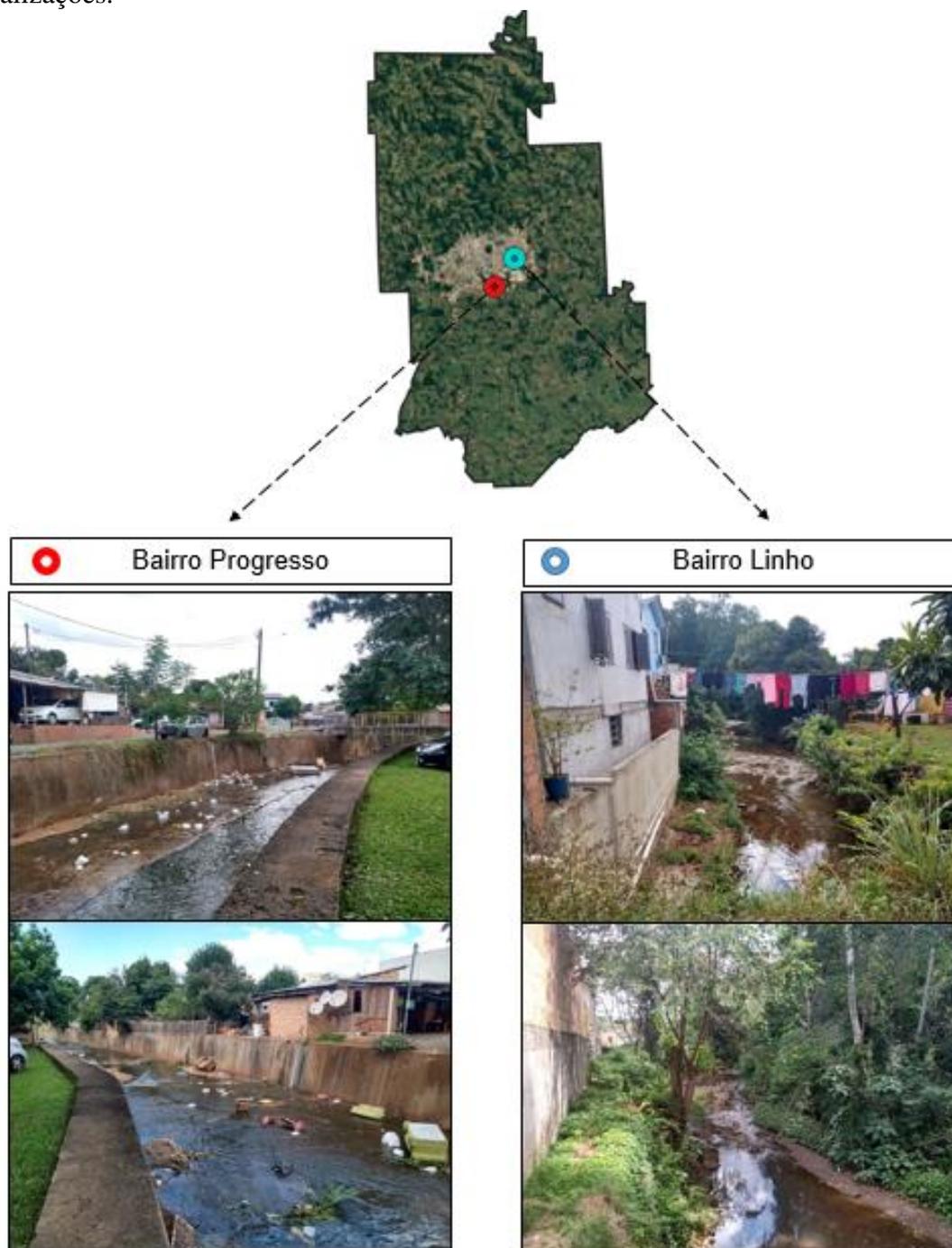
Com o fatiamento em classes, foi verificado que o município de Erechim, predomina um relevo fortemente ondulado e moderadamente ondulado, ocupando respectivamente 29,40% e 23,12% da área.

6.1.3 Proximidade aos cursos hídricos

Os principais cursos hídricos do município de Erechim, conforme citado no item 5.1, são os rios Dourado, Suzana, Leãozinho, Ligeirinho, Campo, Cravo, o arroio Tigre e o Lajeado Henrique.

De acordo com verificações realizadas em campo, alguns cursos d'água que se encontram dentro da malha urbana possuem residências nas áreas que seriam destinadas as APP, além de canalizações em grande parte do perímetro (Figura 11).

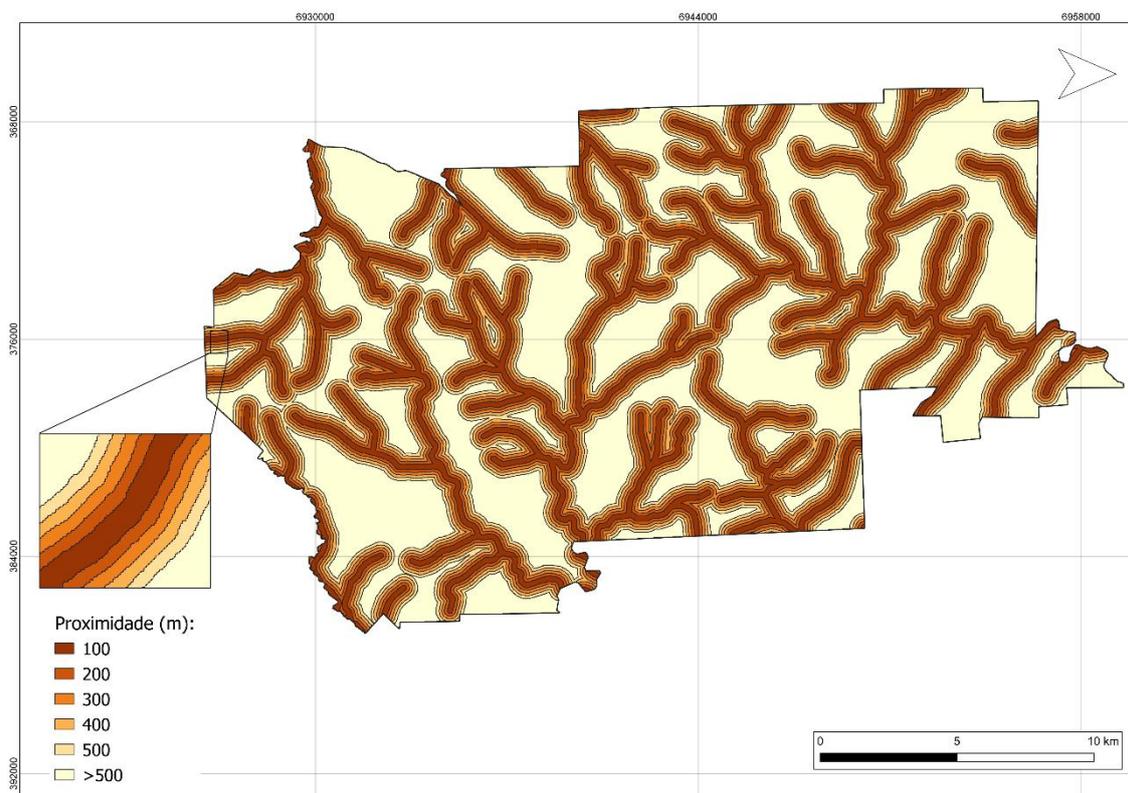
Figura 11 - Áreas residenciais dentro da área de preservação permanente e com canalizações.



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir da metodologia citada anteriormente, verifica-se através do mapa de proximidade aos cursos hídricos, que as maiores proximidades em relação às fontes de poluição se encontra dentro da malha urbana (Figura 12).

Figura 12 - Espacialização das classes de proximidade ao rio.

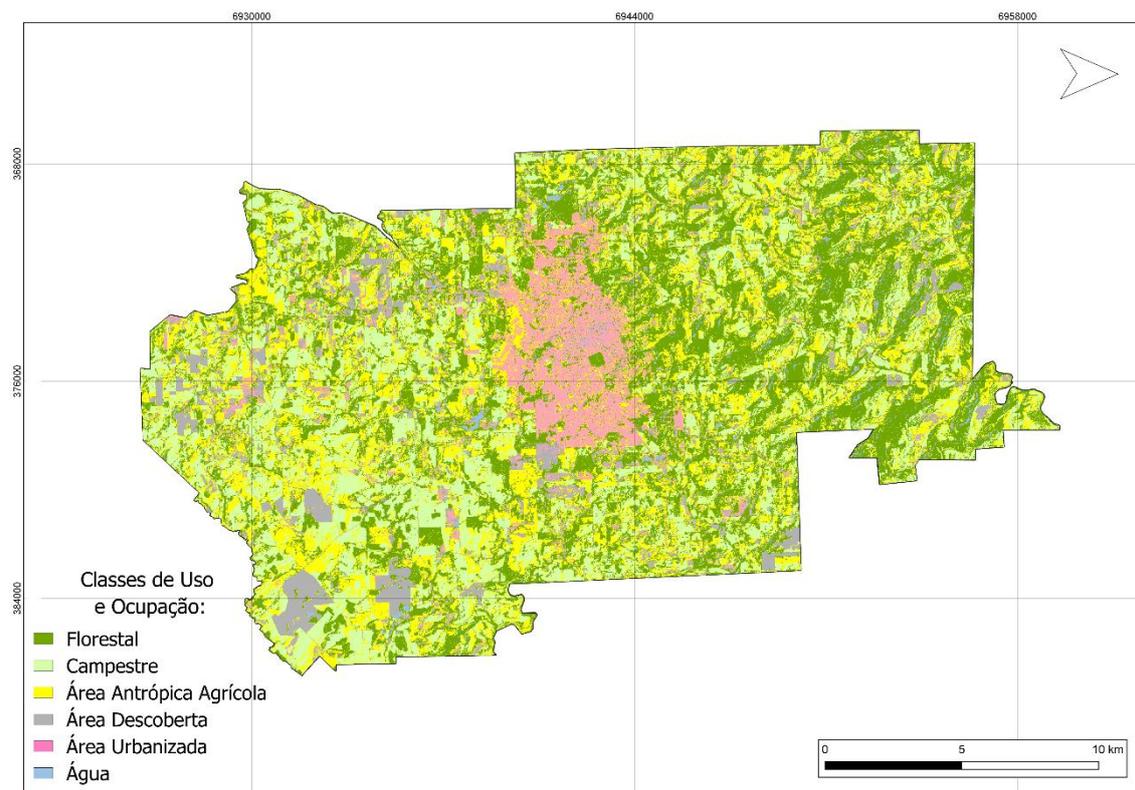


Fonte: Elaborado pela autora.

6.1.4 Uso e ocupação da terra

Conforme apresentado na metodologia descrita no item 5.7.4, foi elaborado o mapa de uso e ocupação da terra do município de Erechim (Figura 13). Baseada neste, observa-se que as áreas classificadas como ocupadas por áreas florestais e agrícolas apresentam a maior porcentagem da área, com 32,55 e 25,19% respectivamente.

Figura 13 – Uso e ocupação da terra da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 8, estão definidas as classes de uso e ocupação da terra, bem como suas respectivas áreas e porcentagens que cada uma ocupa em relação à área total do município de Erechim.

Tabela 8 - Classes de uso e ocupação da terra.

Uso e Ocupação	Área (km²)	Percentual (%)
Florestal	139,65	32,55
Campestre	107,26	25,00
Áreas agrícolas	108,07	25,19
Área descoberta	36,97	8,62
Área urbanizada	29,35	6,84
Água	7,71	1,80

Fonte: Elaborado pela autora.

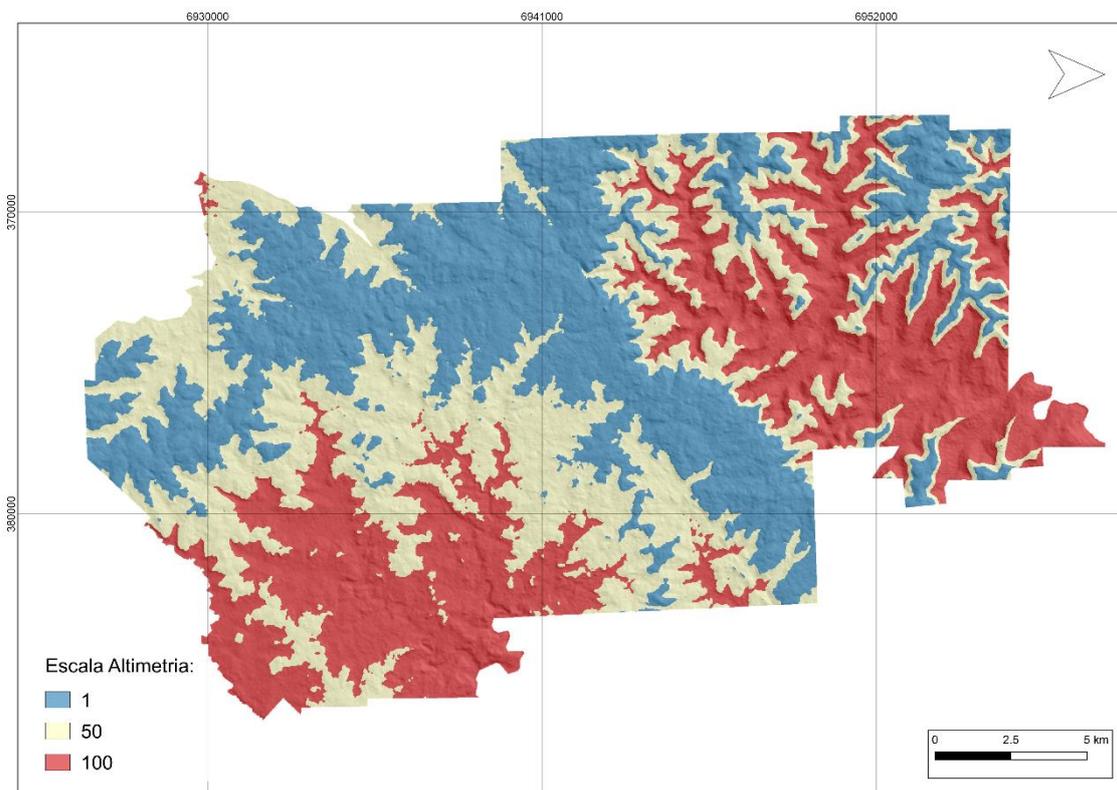
6.2 MAPAS MATRICIAIS REFERENTES AOS CRITÉRIOS NORMALIZADOS

6.2.1 Altimetria

O mapa relativo ao fator de altimetria, foi normalizado com escala contínua de 1 a 100 variando do mais baixo para o mais alto potencial de risco à poluição hídrica, conforme apresentado na Figura 14.

Entende-se que quanto mais elevada a área, menor é o potencial de causar poluição ao recurso hídrico, portanto, o valor da escala de mensuração (1) pertence à maior altitude, enquanto as áreas mais baixas possuem um valor crescente até o valor 100, pois esses representam um maior potencial de poluição.

Figura 14 – Mapa de fator relativo ao critério de altimetria.



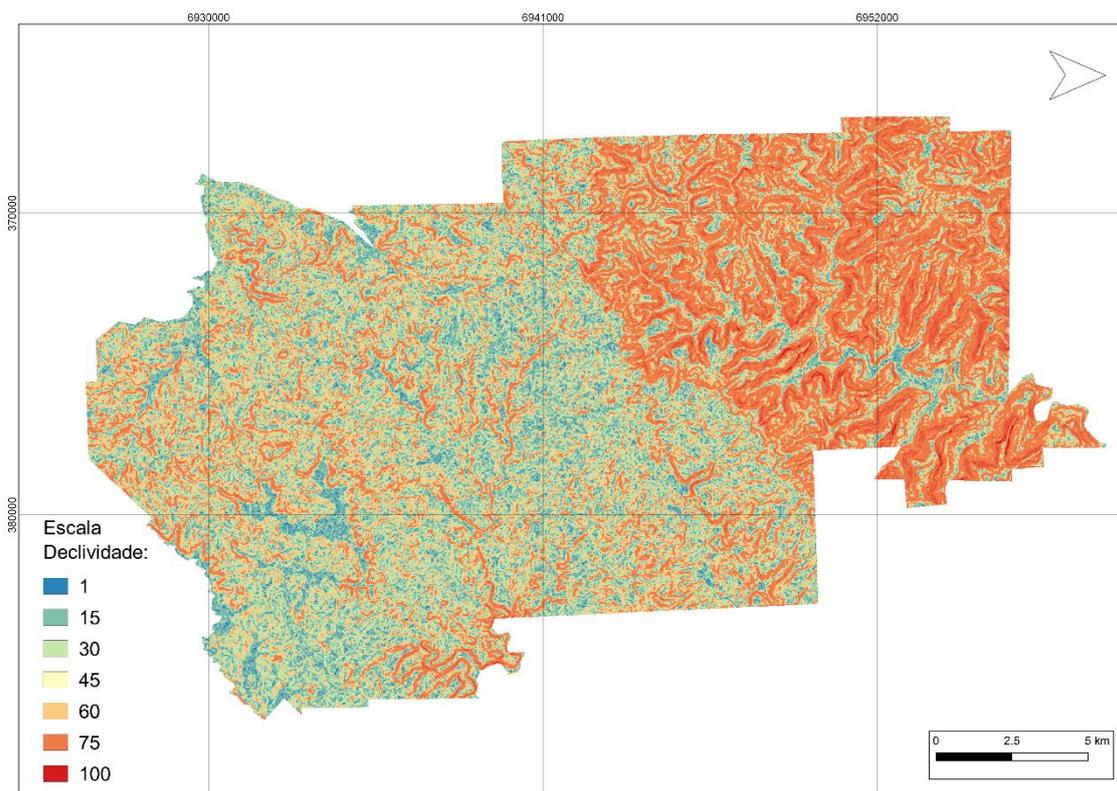
Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.2 Declividade

O mapa relativo ao fator de declividade, foi normalizado com escala contínua de 1 a 100 variando do mais baixo para o mais alto potencial de risco à poluição hídrica, conforme apresentado na Figura 15.

Entende-se que quanto maior a declividade, maior o potencial de causar poluição, portanto, o valor da escala de mensuração (100) pertence a maior declividade, enquanto as áreas menos declivosas possuem valores decrescentes até 1, pois, esses possuem menor potencial de poluição.

Figura 15 – Mapa de fator relativo ao critério de declividade.



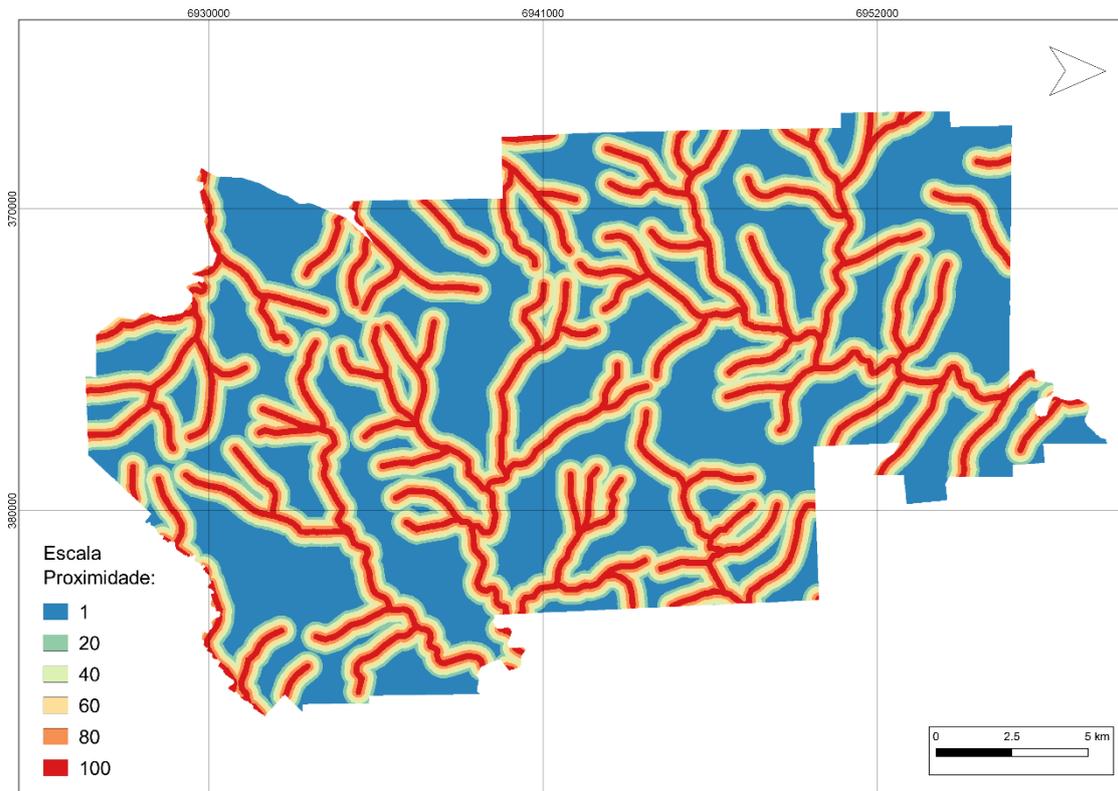
Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.3 Proximidade aos cursos d'água

O mapa relativo ao fator de proximidade ao curso d'água, foi normalizado com escala contínua de zero 1 a 100 variando do mais baixo para o mais alto potencial de risco à poluição hídrica, conforme apresentado na Figura 16.

Entende-se que quanto mais próxima está a área do curso hídrico, maior será seu potencial de causar poluição, portanto, o valor da escala de mensuração (100) pertence aos primeiros 100 metros, enquanto as áreas mais longínquas possuem um valor atribuído 1.

Figura 16 – Mapa de fator relativo ao critério de proximidade ao curso d'água.



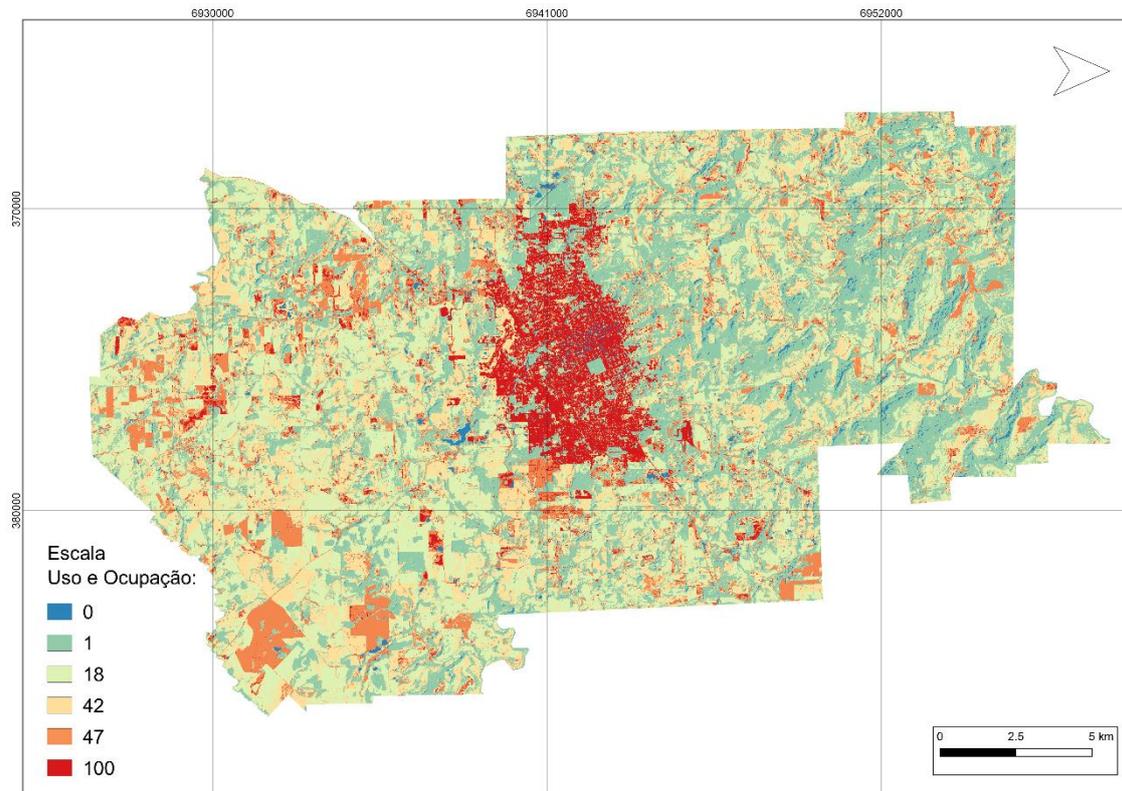
Fonte: Elaborado pela autora.

6.2.4 Uso e ocupação da terra

O mapa relativo ao fator de uso e ocupação da terra foi normalizado por associação entre as classes de uso e ocupação e os valores referentes à escala contínua de zero (0) a 100, tendo como base a ponderação realizada pelos especialistas, conforme apresentado na Figura 17.

Entende-se que as áreas classificadas como área urbanizada são aquelas que apresentam maior potencial de risco à poluição hídrica, portanto, o valor da escala de mensuração (100). Já a classe florestal apresenta menor potencial ao risco de poluição, de forma que lhe é atribuído o valor 1, pois o valor zero (0) é relativo ao critério restritivo água.

Figura 17 – Mapa de fator relativo ao critério de uso e ocupação da terra.



Fonte: Elaborado pela autora.

6.3 ORDENAÇÃO DOS CRITÉRIOS E PESOS

Para o levantamento dos pesos referentes a cada critério, foi encaminhado um questionário em formato de planilha, aos 10 especialistas, conforme metodologia descrita anteriormente, sendo essas todas respondidas baseadas na metodologia AHP.

A Razão de Consistência (RC) dos pesos referente ao estudo foi menor que 10%, indicando que o julgamento apresentou consistência aceitável. Os valores extremos obtidos foram, respectivamente 0,2% e 8,3%. Desta maneira, em concordância com Saaty (1977), as opiniões foram consistentes e dentro dos valores aceitáveis de aleatoriedade.

Na Tabela 9 são apresentados os resultados referentes à opinião do grupo de especialistas, bem como seus respectivos RCs em relação aos pesos de cada critério.

Tabela 9 - Resultado das preferências individuais dos especialistas pelo método AHP.

Especialista	Altimetria (%)	Declividade (%)	Proximidade ao rio (%)	Uso e Ocupação (%)	RC (%)
1	6	5	44	44	0,2
2	12	4	42	42	5,1
3	9	12	40	40	0,9
4	9	9	24	58	1,5
5	11	5	25	58	2,8
6	11	6	26	57	8,3
7	9	5	25	61	7,3
8	5	21	11	63	8,2
9	7	4	59	30	8,1
10	18	5	38	38	7,4

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme explanado na metodologia, os resultados referentes à opinião do grupo de especialistas foram agrupados a partir da média expurgada para eliminação dos valores discrepantes referentes aos pesos. Além disso, realizou-se a média normalizada para que a ponderação dos valores resultasse em 100%, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10 - Médias das preferências do grupo de especialistas.

	Altimetria	Declividade	Proximidade ao rio	Uso e Ocupação
Média	9,70	7,67	33,82	48,80
Média Expurgada	9,25	6,15	33,55	47,23
Média Normalizada	9,62	6,39	34,88	49,11

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 11 são apresentados os resultados referentes à opinião do grupo de especialistas em relação aos pesos para cada classe de uso e ocupação da terra.

Tabela 11 - Resultado das preferências individuais dos especialistas para cada classe de uso e ocupação da terra.

Especialista	Floresta (%)	Campestre (%)	Áreas agrícolas (%)	Área descoberta (%)	Área urbanizada (%)
1	5	5	25	25	40
2	1	14	14	10	60
3	5	10	17	28	40
4	0	2	10	8	80
5	4	10	15	25	45
6	0	10	25	50	15
7	0	5	25	10	60
8	0	5	22	23	50
9	5	10	30	25	30
10	10	10	15	25	40

Fonte: Elaborado pela autora.

Da mesma maneira, os resultados referentes à opinião do grupo de especialistas para o uso e ocupação da terra foram tratados pela média expurgada e normalizada como mostra a Tabela 12.

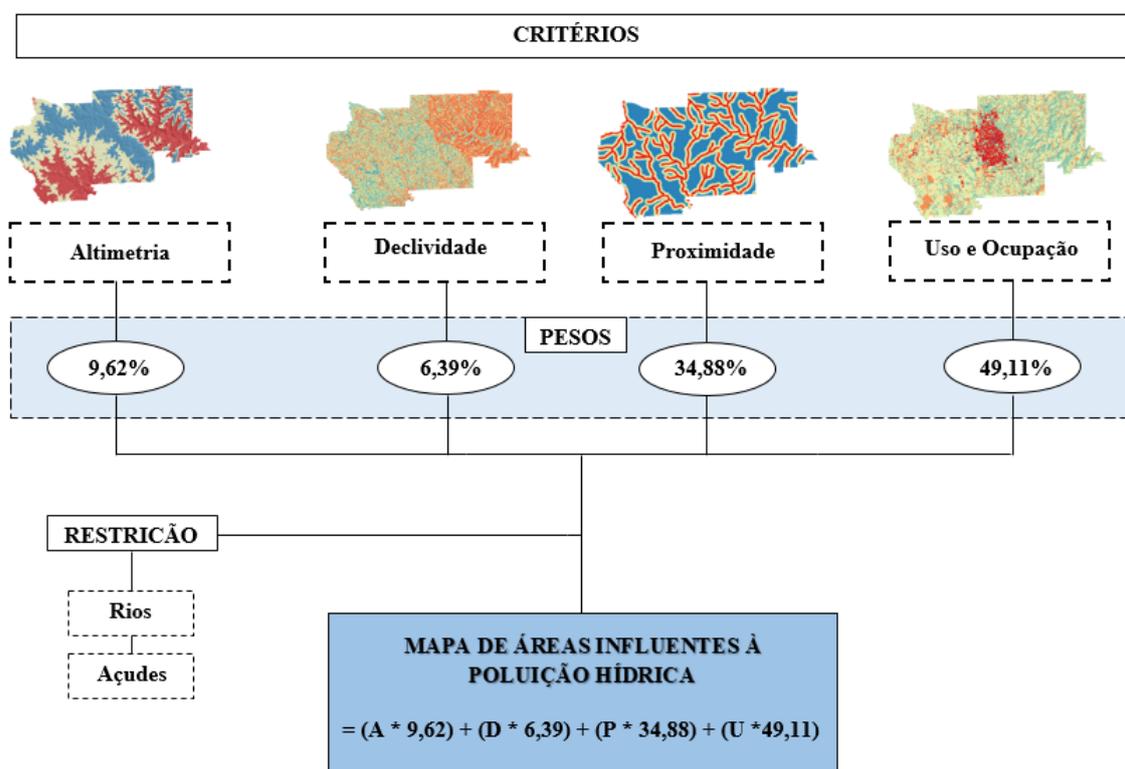
Tabela 12 – Médias das preferências do grupo especialistas para o uso e ocupação da terra.

	Florestal	Campestre	Áreas agrícolas	Área descoberta	Área Urbanizada
Média	3,10	8,10	19,90	22,90	46,00
Média Expurgada	2,33	8,13	19,14	21,38	45,63
Média Normalizada	2,42	8,41	19,82	22,13	47,23

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos resultados apresentados anteriormente, foi determinado a ordem de preferências, pesos e notas (Figura 18). De forma simplificada, o uso e ocupação da terra equivale a quase 50%, em termos de importância relativa à poluição hídrica, o que significa que nas áreas com cobertura julgadas também pelos especialistas com maior nota, essas serão consideradas as mais propícias à poluição hídrica.

Figura 18 – Árvore de decisão para o potencial de risco à poluição hídrica no município de Erechim.



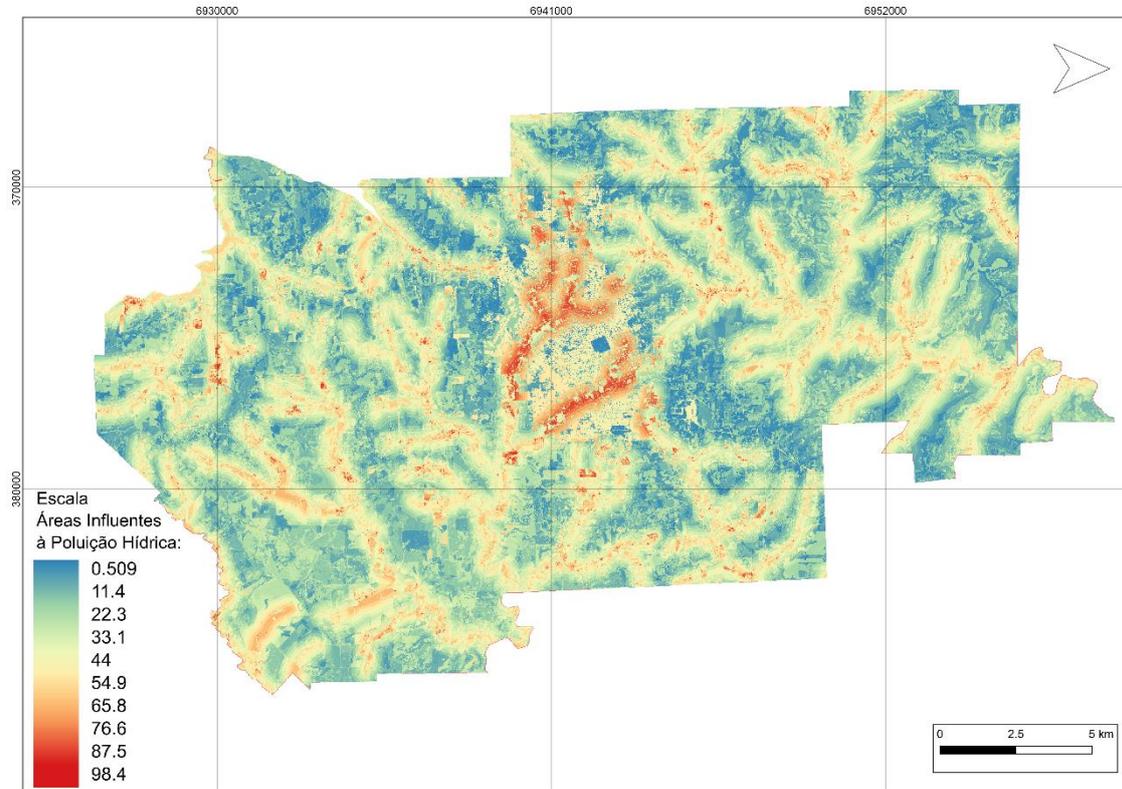
Fonte: Elaborado pela autora.

6.4 MAPA DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À POLUIÇÃO HÍDRICA

Determinados os pesos e elaborados os mapas referentes aos critérios normalizados, foi obtido o mapa de áreas suscetíveis à poluição hídrica (Figura 19). Para tal, foi utilizado o método da combinação linear ponderada para a agregação dos critérios, de forma que o mapa representa uma superfície contínua que mostra as áreas de suscetibilidade de poluição hídrica do município de Erechim, com medidas associadas à escala padrão de 0 a 100.

Na escala de mensuração, os valores menores indicam baixa suscetibilidade à poluição hídrica, e ao contrário, os valores elevados caracterizam áreas com grande potencial.

Figura 19 – Distribuição espacial das áreas suscetíveis à poluição hídrica.

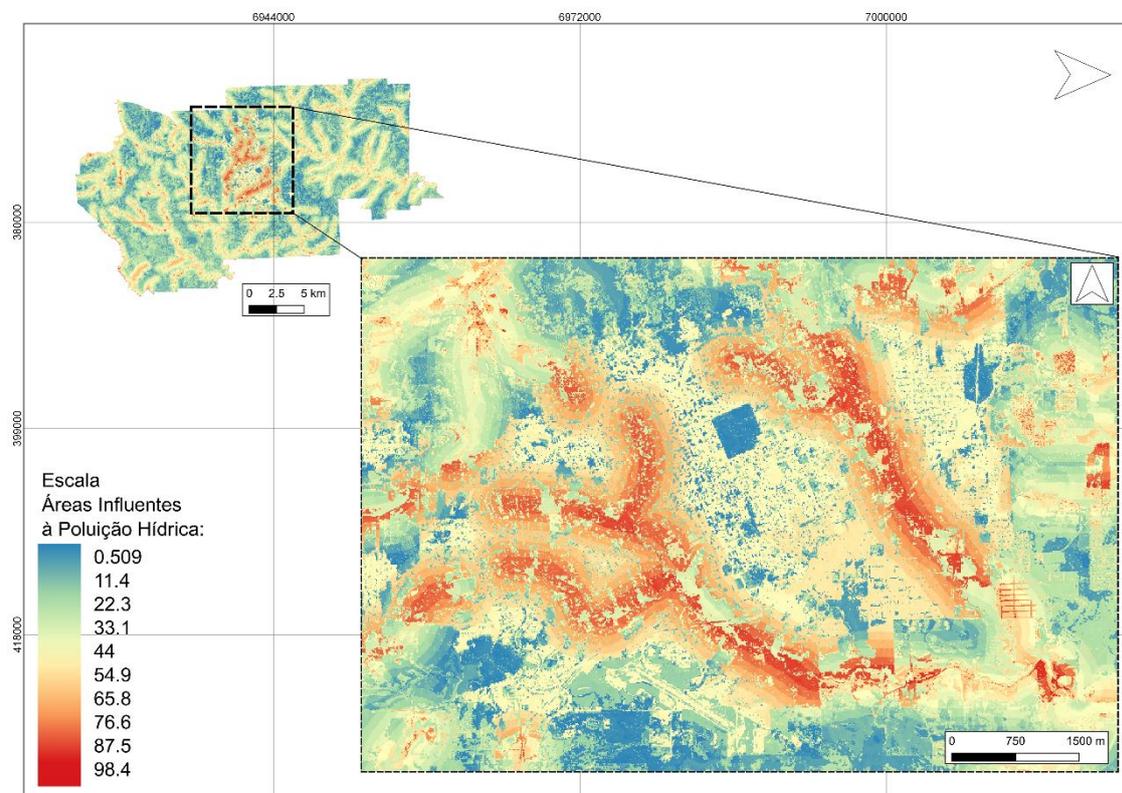


Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados obtidos na avaliação das áreas suscetíveis à poluição hídrica variam de 0,509 a 98,4, de forma a mostrar que não há áreas com a suscetibilidade máxima de 100 e com a mínima de 0.

As áreas contidas dentro da área urbana possuem os valores mais elevados de suscetibilidade à poluição hídrica (Figura 20), este fato agrava-se quando retomada a discussão do item 6.1.3, onde são mostradas as áreas de preservação permanente ocupadas por residências, com acúmulos de resíduos sólidos dentro dos rios canalizados. Além disso, conforme citado anteriormente, o município de Erechim não possui nenhum tratamento de efluentes, de forma que estes são lançados nos corpos hídricos sem nenhum tratamento.

Figura 20 – Detalhamento das áreas com maior risco à poluição hídrica no perímetro urbano de Erechim.

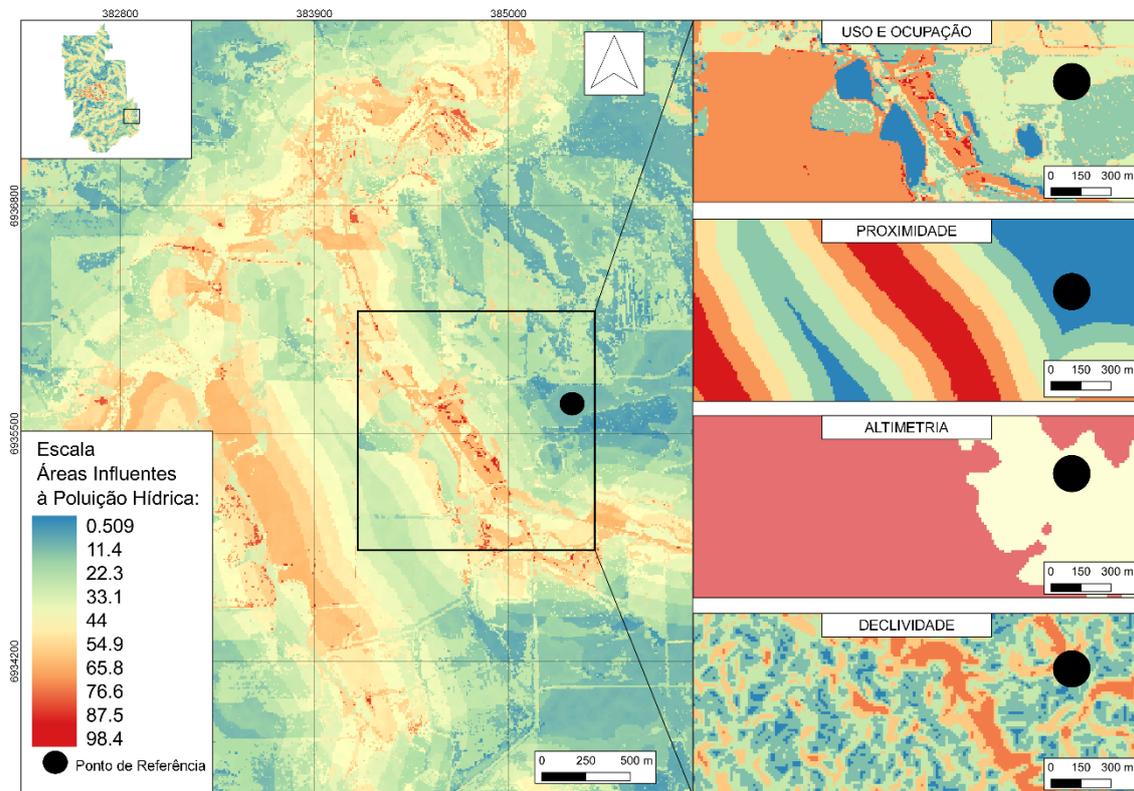


Fonte: Elaborado pela autora.

O critério de maior contribuição para o risco à poluição hídrica, foi o uso e ocupação da terra, correspondendo a 49,11%. Este critério é consoante aos trabalhos de Campelo, Souza e Dray (2020), Santos et al. (2020) e Silva et al. (2020), os quais observaram que as atividades antrópicas, o avanço da ocupação urbana e o desenvolvimento das atividades agropecuárias estão influenciando de forma intensa os corpos hídricos.

Outras áreas com grande e médio potencial, são áreas próximas aos rios que possuem grande declividade, baixas altimetrias e uso e ocupação classificadas como áreas urbanas, agrícolas ou áreas descobertas (Figura 21).

Figura 21 – Detalhamento das áreas com maior risco à poluição hídrica.



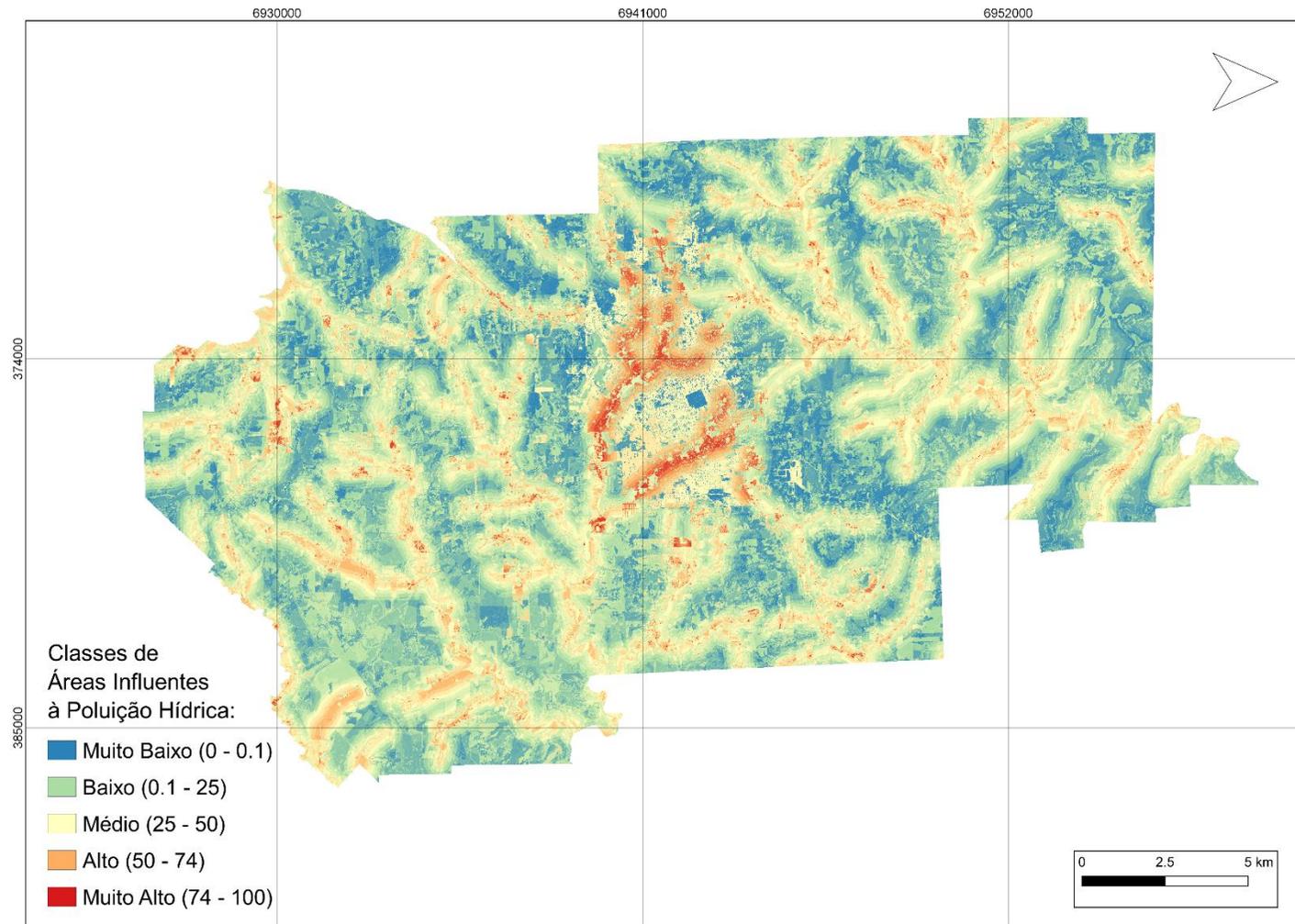
Fonte: Elaborado pela autora.

As áreas de menor influência na poluição hídrica são as áreas com cobertura vegetal de floresta e as áreas com distância superior a 500 m dos cursos de água, conforme é possível observar nas Figuras 20 e 21.

Um ponto importante a ser observado, é que nas áreas com grandes declividades e baixas altitudes, que se encontram em usos diferentes ao urbano e descoberto, e com distância maiores que 500 m, essas não apresentam quase nenhuma influência à poluição hídrica. Este fato é ocasionado devido ao baixo peso atribuído aos critérios pelos especialistas.

Para quantificação das áreas de suscetíveis à poluição hídrica, o mapa final foi classificado em 5 classes de influência: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, conforme apresentado na Figura 22.

Figura 22 – Classes referentes a áreas influentes à poluição hídrica.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados da quantificação das áreas referentes a cada uma das 5 classes estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultado das classes das áreas influentes à poluição hídrica.

Classes	Limites	Área (km²)	Percentual (%)
Muito Baixo	0 – 0.1	0,56	0,13
Baixo	0.1 – 25	154,74	36,21
Médio	25 – 50	188,18	44,04
Alto	50 – 74	75,08	17,57
Muito Alto	74 – 100	8,75	2,05

Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando conjuntamente as informações dispostas na Tabela 13 e na Figura 22, observa-se que a classe com maior influência para a poluição hídrica classificada como “Muito Alto” ocupa uma área de 8,75 km², o que corresponde a apenas 2,05% do município de Erechim, e de forma mais intensa na área urbana próxima aos cursos d’água que cruzam a cidade.

As áreas classificadas como “Alta”, representam 17,57% e estão distribuídas em todo limite municipal, entretanto, estão concentradas nas áreas próximas aos rios que apresentem usos de área descoberta ou agrícola, altas declividades e baixas altitudes, visto que as áreas longínquas não apresentam um risco eminente a poluição direta aos rios, os demais usos da terra não apresentam influência considerável, bem como baixas declividades e altas altimetrias.

A classe de maior predominância foi a de média influência à poluição hídrica, com uma área de 188,18 km², equivalente a um percentual de 44,04%, estando as regiões concentradas nos limites de 500 m em torno de todos os rios.

7 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos através da análise multicritério, para o levantamento das áreas suscetíveis a poluição hídrica do município de Erechim, foi possível elaborar as seguintes conclusões:

Os critérios de maior contribuição para o risco à poluição hídrica, foram o uso e ocupação da terra e a proximidade ao curso hídrico, com 49,11 e 34,88% respectivamente.

Em um contexto geral, os resultados estão atrelados a pesos e notas, porém estes encontram-se ligados diretamente ao grupo de especialistas que realizaram o julgamento dos mesmos, bem como as características da área de estudo. Este ponto serve como reflexão para a análise crítica dos resultados obtidos através do método de análise hierárquica (AHP) pois, para a área de estudo em questão, os critérios de altimetria e declividade apresentaram no resultado final uma contribuição mínima, visto que os pesos atribuídos foram de 9,62 e 6,39% respectivamente, e as questões topográficas não apresentavam grandes problemáticas.

Desta forma, para futuros trabalhos é possível observar que os valores atribuídos não são e não devem ser seguidos como um padrão de importância para tais critérios, pois dependem fortemente das características da área de estudo.

Entretanto, podemos concluir que a metodologia de análise multicritério em ambiente SIG é adequada para a determinação e espacialização de áreas suscetíveis a poluição hídrica, e pode ser utilizada para auxiliar nas tomadas de decisão para o melhoramento da qualidade ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. **Imagens de Satélite**: Resoluções das Imagens. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2018. Disponível em: <http://www.aeb.gov.br/servicos/imagens-de-satelites/>. Acesso em: 23 jul. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (Brasil). **ATLAS ESGOTO**: Despoluição de Bacias Hidrográficas. ANA, 2017. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 1 mai. 2020.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: informe anual / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019.

_____. **Indicadores de qualidade - Índice de qualidade das águas (IQA)**. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 1 mai. 2020.

_____. **O Comitê de Bacias Hidrográficas: o que é e o que faz?** / Agência Nacional de Águas. Brasília: SAG, 2011. 64 p.: il. (Cadernos de capacitação em recursos hídricos; v.1) ISBN 978-85-89629-76-8.

_____. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012** / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2012.

BARIN, A. et al. Seleção de fontes alternativas de geração distribuída utilizando uma análise multicriterial baseada no método AHP e na lógica Fuzzy. **Revista Controle & Automação**, v. 21, n. 5, setembro e outubro 2010.

BARROS, R. M. F. **Saneamento básico no meio rural**: Soluções locais e atitudes coletivas como estratégias de desenvolvimento local sustentável. Orientador: Lívia de Souza Lima. 2014. 52 p. Monografia (Especialista em Gestão de Políticas Públicas) – Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo, São Paulo, SP, 2014.

BORGES, L. A. C.; REZENDE, J. L. P. de; PEREIRA, J. A. A. Evolução da Legislação Ambiental no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 2, n. 3, p. 447-466, 2009.

BORGES, L. A. C. et al. Áreas de preservação permanente na legislação brasileira. **Ciência Rural**, v. 41, n. 7, p. 1202-1210, 2011.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 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. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília - DF, p. 58-63, 17 mar. 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 27 mar. 2020.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Brasília - DF, 13 maio 2011. Disponível em:

<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 27 mar. 2020.

BRASIL. [(Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidente da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 27 mar. 2020.

_____. **Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934**. Aprova o Código Florestal. Rio de Janeiro - RJ, 23 jan. 1934. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/d23793.htm. Acesso em: 01 mar. 2021.

_____. **Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934**. Decreta o Código de Águas. Brasília - DF, 10 jul. 1934. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643.htm. Acesso em: 26 mar. 2020.

_____. **Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965**. Institui o novo Código Florestal. Brasília – DF, 15, set. 1965. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4771.htm#art50. Acesso em: 01 mar. 2021.

_____. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília – DF, 31, ago. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm. Acesso em: 26 mar. 2020.

_____. **Lei nº 7.803, de 18 de julho de 1989**. Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis nºs 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986. Brasília – DF, 18, jul. 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7803.htm. Acesso em: 01 mar. 2021.

_____. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, 08 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 26 mar. 2020.

_____. **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Brasília - DF, 17 jul. 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9984.htm. Acesso em: 27 mar. 2020.

_____. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília - DF, 05 jan. 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm. Acesso em: 03 mar. 2021.

_____. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília - DF, 02 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 03 mar. 2021.

_____. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília – DF, 25, maio. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 01 mar. 2021.

_____. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Brasília – DF, 15, jul. 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 01 mar. 2021.

_____. **Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011.** Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Brasília - DF, 8 dez. 2011. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LCP/Lcp140.htm. Acesso em: 27 mar. 2020.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Estratégia e mecanismos de articulação do Sistema Nacional do Meio Ambiente - Sisnama, para a gestão descentralizada, democrática e eficiente. **Nota Técnica nº 10/2016/DSIS/DCRS/SAIC/MMA.** Brasília - DF, 10 maio 2016. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80296/MMA%20Sisnama%20Nota%20Tecnica%2010%202016.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2020.

_____. Portal Nacional de Licenciamento Ambiental - PNLA. O que é Licenciamento Ambiental?. *In*: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Licenciamento Ambiental.** [S. l.], 2020. Disponível em: <http://pnla.mma.gov.br/o-que-e-licenciamento-ambiental>. Acesso em: 22 abr. 2020.

BREDA, M.; SOUZA, M. E. R. de; SIQUEIRA, J. A reforma do Código Florestal: reflexão, inovações e perspectivas. **Informativo STPC**, v. 14, p. 15-18, 2011.

BRIOZO, R. A.; MUNETTI, M. A., Método multicritério de tomada de decisão: aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento-UPA 24h. **Gestão & Produção**, v. 22, n. 4, p. 805-819, 2015.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. New York: Oxford University Press, 1998. 333p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Modelagem de dados em geoprocessamento. In: Assad, E. D. & Sano, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas. Aplicação na agricultura**. Brasília: **Embrapa**, 1999.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. São José dos Campos, **INPE**, 2001, n. 2, revista e ampliada, [online]. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em: 06/03/2021.

CÂMARA, G. et al. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos, **INPE**, 2001, n. 2, revista e ampliada, [online]. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em: 06/03/2021.

CAMPELO, F. R.; SOUZA, J. C. R. de; DRAY, W. T. Impactos do uso e ocupação do solo e do curso d'água no lago Macurany. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 81618-81631, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n10-550.

CARVALHO, J. W. L. T. de; MARANGON, F. H. S.; SANTOS, I. dos. Recuperação de rios urbanos: da interdependência e sincronicidade dos processos de desnaturalização em rios e bacias hidrográficas urbanas. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 40, p. 163-174, 2020. DOI: 10.11606/rdg.v40i0.162247.

CHAER T. M. S. **Regularização Fundiária em Área de Preservação Permanente: Uma contribuição à gestão urbana sustentável**. Orientador: Prof.^a Dra. Maria do Carmo Lima Bezerra. 2007. 178 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.

CHAN. A. H. S.; KWOK, W. Y.; DUFFY, V. G. Usando AHP para determinar a prioridade em um Sistema de gerenciamento de segurança. *Gestão Industrial e Sistema de Dados*, **Emerald Group Publishing Limited**, v. 104, n. 5, p. 430-445, 2004. DOI: 10.1108/02635570410537516;

COELHO, V. H.R., et al. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2014.

Conjunto de dados: © **JAVA / METI ALOS PALSAR**, L1.0 2010. Acessado por meio de ASF DAAC em 07 de mar. 2021.

CORREIA, J. S. **Concepção e Implementação de um WebSIG no Parque Nacional da Gorongosa usando software de código aberto e livre**. Orientador: Dr. Pedro da Costa Brito Cabral. 2011. 92 p. Dissertação (Mestre em Ciência e Sistemas de

Informação Geográfica) - Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2011.

CORSEUIL, C. W. **Técnica de geoprocessamento e de análises de multicritério na adequação de uso das terras**. Orientador: Prof. Dr. Sérgio Campos. 117 p. Tese (Doutorado em agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2006.

CUNHA, Estela Pamplona. O direito à água e ao meio ambiente ecologicamente equilibrado na ordem constitucional brasileira. **Revista do CNMP: Água, Vida e Direitos Humanos**, Brasil, ano 2018, n. 7, ed. 7, p. 37-58, 2018.

DE CARLI, A. A. Um breve olhar sobre a importância da água potável para o homem, demais seres vivos e para a natureza. **Revista Paradigma**, n. 19, 2010.

DE LEMOS, R. C. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. **Embrapa Solos-Séries anteriores (INFOTECA-E)**, 1973.

DOLFUS, O. O espaço geográfico. Rio de Janeiro, **Bertrand Brasil**, 1991.

EASTMAN, J.R. **Idrisi Kilimanjaro: guide to GIS and image processing - version 14.0**. Worcester, MA: Clark University, 2003

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informações, 1999. XXVI, 412p. CDD 631.44.

FARIAS, T.; MACHADO, P. A. L. **Licenciamento Ambiental: Aspectos Teóricos e Práticos**. 4. ed. Belo Horizonte: Fórum, 2013. 208 p. ISBN 978-85-7700-683-0.

FEITOSA, S. M. R. et al. Consequência da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina - Piauí. **Revista da sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, n. 2, p. 58-75, 2011.

FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem Ambiental com Tratamento de Incertezas em Sistemas de Informações Geográficas: o paradigma geoestatístico por indicação**. Orientador: Dra. Suzana Druck Fuks e pelo Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro. 2001. 212 p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, 1999.

FILHO, Raul Ruiz; MACHADO, Vinicius Barreto. **Mapeamento de suscetibilidade à liquefação de solos de Imbituba-SC a partir de interferências sísmicas: Uma proposta metodológica aplicando a Lógica Fuzzy**. Orientador: Prof. Ismael Medeiros. 2017. 83 p. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, SC, 2017.

FIORIO, P. R.; NAKAI, É. S.; BATAGIN, B. Análise Temporal do Uso e Ocupação do Solo da Microbacia Hidrográfica em Piracicaba (SP), Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 1, p. 179-187, 2019.

FLAUZINO, F. S. *et al.* Geotecnologias aplicadas à gestão dos recursos naturais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba no cerrado mineiro. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 1, p. 75-91, 2010.

FRANCISCO, C. E. da S. *et al.* Análise multicriterial na seleção de bacias hidrográficas para recuperação ambiental. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p. 1-13, 2008.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER - FEPAM (Rio Grande do Sul). **Relatório da Qualidade da Água Superficial no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: [s. n.], mai. 2019. 11 p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER - FEPAM (Rio Grande do Sul). **Relatório da Qualidade da Água Superficial no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: [s. n.], mac 2020. 76 p.

FURLAN, A. R. **Urbanização e Risco Socioambientais em Erechim-RS**. 2016. 122 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Geografia - Licenciatura, Erechim, 2016.

GDOURA, K.; ANANE, M.; JELLALI, S. Geospatial and multi-criteria analysis to rank suitable sites of shallow aquifer recharge with reclaimed water: Application to Nabeul - Hammamet groundwater. Laboratório de Tratamento de Águas Residuais, Centro de Pesquisa e Tecnologia de Água. Borj Cédria. 2014.

GERARDI, L. H. O.; SILVA, B. C. N. Quantificação em Geografia. São Paulo, **DIFEL**, 1981.

GUEDES, J. A. A. Poluição de rios em áreas urbanas. **Ateliê Geográfico**, v. 5, n. 2, p. 212-226, 2011.

GUIMARÃES, C. L. **Análise multicritério na determinação dos riscos à degradação ambiental da bacia hidrográfica do açude cachoeira dos Alves**, Itaporanga-PB. 2012. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Orientador. Prof. Dr. João Miguel de Moraes Neto. Campina Grande, 2012.

HEIDEMANN, H. K. Lidar base specification. **U.S. Geological Survey Techniques and Methods**, book 11, chap. B4, 101 p., 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE)a. **Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/erechim.html>. Acesso em: 07/03/2021.

_____. b. **Estatística de Gênero**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/snig/v1/?loc=0,0U&cat=-1,1,2,-2,-3,128&ind=4710>. Acesso em: 03 mar. 2021.

_____. c. **Imagem ALOS/PALSAR**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/alos/>. Acesso em: 07/03/2021.

_____. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p. n. 7. ISBN 978-85-240-4307-9. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2020.

_____. **Pesquisa de informações básicas municipais: perfil dos municípios brasileiros.** Gestão 2005. Rio de Janeiro: IBGE; 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Divisão de geração de imagens.** CBERS 4A. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore>. Acesso em: 05/04/2021.

INSTITUTO SÓCIO AMBIENTAL VIDA VERDE – ELOVERDE. **Projeto Revitalização dos Rios de Erechim:** Relatório final. Erechim, 2011. Disponível em: <https://www.eloverde.org.br/uploads/artigos/Relatorio%20Final%20BAIXA%20Qualidade%2003.09.13.pdf>. Acesso: 03 mar. 2021.

JARDIM, F. T.; SILVEIRA, R. L. L. da. Crescimento demográfico e urbanização em municípios de porte médio: alterações na dinâmica urbana regional do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 16, n. 3, p. 90-107, set-dez/2020. Taubaté, SP.

JORDÃO, B. M. da C.; PEREIRA, S. R. **Análise Multicritério na tomada de decisão – O Método Analítico de T. L. Saaty:** Desenvolvimento do método com recurso à análise de um caso prático explicado ponto a ponto. Instituto Politécnico de Coimbra, 2005.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and image interpretation.** New York, John Wiley, n. 3, 1994.

LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A. Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa. Campina Grande. **Editora da Universidade Estadual da Paraíba (EDUEPB)**, 325p. 2013, ISBN 9788578792824.

MAFRA, R. C. **Definição de áreas prioritárias à recuperação florestal em bacia hidrográfica a partir de análise multicritério.** Orientador: Dr^a. Ana Paula Marques Ramos. 2020. 53 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, SP, 2020.

MAGALHÃES, S. F. C. **Avaliação dos fatores que influenciam na dinâmica de nutrientes, material particulado e vazão em pequenas bacias.** Orientador: Maurício Mussi Molisani; Coorientador: Marcos Sarnet Moreira de Barros Salomão. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambientais e Conservação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação, Macaé, 2017.

MALCZEWSKI, Jacek. Análise de adequação do uso da terra baseada em GIS: uma visão crítica. **Progresso no planejamento**, v. 62, n. 1, pág. 3-65, 2004.

MOURA, A. M. M. de. Trajetória da política ambiental federal no Brasil. *In*: BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). **Governança ambiental no Brasil:** instituições, atores e políticas públicas. Brasil: [s. n.], 2016. cap. 1, p. 13-43.

MANTIS, Alexia Bondioli; VAZ, Jhonnes Alberto. Mapeamento de áreas de risco de alagamento do município de Guarujá - SP utilizando método de análise hierárquica. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIX., 2019, Santos, SP. **Anais [...]**. Tubarão, SC: INPE, 2019. p. 320-323.

NASCIMENTO, N. de O.; HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 10, n. 1, p. 36-48, 2005.

OBJETIVO 6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. *In*: NAÇÃO UNIDAS BRASIL - ONU (Brasil). **6 Água Potável e Saneamento**. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods6/>. Acesso em: 5 maio 2020.

OJIMA, R. **Instituições Políticas e Mudança Ambiental**: os novos arranjos institucionais na gestão de recursos hídricos e suas interfaces políticas. Orientador: Leila da Costa Ferreira. 2003. 167 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Campinas, 2003.

PAGLIARI, V.; DA SILVA, C. A.. O Professor de Geografia e o Uso de Multimeios: Estudo De Caso-Aratiba-Rs. **Revista de Ciências Humanas**, v. 7, n. 9, p. 133-146, 2006.

PAIVA JUNIOR, E. *et al.* Estratificação automática de áreas prioritárias para controle da dengue utilizando o Model Builder do QGIS em uma análise multicritério. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 29, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5123/S1679-49742020000200004>.

PEREIRA, R. S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**. IPH-UFRGS. v.1. n. 1. p. 20-36. 2004.

PIMENTA, L. B., BELTRÃO, N. E. S., DA SILVA GEMAQUE, A. M., & TAVARES, P. A. Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. **Interações (Campo Grande)**, v. 20, n. 2, p. 407-420, 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ERECHIM. **Plano Ambiental Municipal**. Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 1 ed., 2011.

PRODANOFF, J. H. A. **Avaliação da poluição difusa gerada por enxurradas em meio urbano**. 2005. 264 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. L. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa – CNPS, 1995.

RAMOS, R. A. R. **Localização Industrial**: um modelo especial para o noroeste de Portugal. Orientador: Prof. José Fernando Gomes Mendes. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2000.

REIS, T. R. **Geoprocessamento aplicado à análise do potencial urbanizador das áreas do município de Icapuí/CE**. Orientador: Paulo César Moura da Silva. 2018. 46 f. Monografia (Graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, Mossoró, RN, 2018.

RIO GRANDE DO SUL. [Constituição (1989)]. **Constituição do Estado do Rio Grande do Sul**: Texto constitucional de 3 de outubro de 1989 com as alterações adotadas pelas Emendas Constitucionais de n.º 1, de 1991, a 78, de 2020.. Porto Alegre: [s. n.], 1989. Disponível em: http://www2.al.rs.gov.br/dal/LinkClick.aspx?fileticket=9pX_3esaNg%3D&tabid=3683&mid=5358. Acesso em: 5 maio 2020.

_____. **Lei nº 9.077, de 4 de junho de 1990**. Institui a Fundação Estadual de Proteção Ambiental e dá outras providências. Porto Alegre, 4 jun. 1990. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/FileRepository/repLegisComp/Lei%20n%C2%BA%2009.077.pdf>. Acesso em: 5 maio 2020.

_____. **Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994**. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 30 dez. 1994. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/10.350.pdf>. Acesso em: 5 maio 2020.

_____. **Lei nº 11.520, de 3 de agosto de 2000**. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. Porto Alegre, 3 ago. 2000. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Lei/2000/lei_11520_2000_instituicodigoeestadualmeioambiente_rs_regulamentada_dec_46519_2009.pdf. Acesso em: 5 maio 2020.

_____. **Portaria nº 36, de 25 de maio de 2018**. Aprova o Regimento Interno da Fundação Estadual de Proteção Ambiental – Henrique Luiz Roessler – FEPAM. Porto Alegre, 25 de maio de 2018. Disponível em: <http://www.diariooficial.rs.gov.br/diario?td=DOE&dt=2018-06-01&pg=714>. Acesso: 5 maio 2020.

RIBEIRO, G. V. B. A origem histórica do conceito de Área de Preservação Permanente no Brasil. **Revista Thema**, v. 8, n. 1, 2011.

RIOS, A. V. V.; ARAÚJO, U. Política Nacional do Meio Ambiente. In: RIOS, A. V. V.; IRIGARAY, C. T. H. **O direito e o desenvolvimento sustentável**: Curso de direito ambiental. São Paulo: Fundação Peirópolis, 2005. p. 149-166. ISBN 85-7596-051-2.

RODRIGUES, A. R.; MATAVELLI, C. J. As principais alterações do Código Florestal Brasileiro. **Revista Brasileira de Criminalística**, v. 10, n. 1, p. 64-71, 2020.

RORIZ, A. C. R.; FEARNSSIDE, P. M. A construção do Código Florestal Brasileiro e as diferentes perspectivas para a proteção das florestas. **Novos Cadernos NAEA**, v. 18, n. 2, p. 51-68, jun-set, 2015. ISBN 1516-6481 / 2179-7536.

ROSMAN, P. C. C. Um Sistema Computacional de Hidrodinâmica Ambiental. In: Rosman, P. C. C., Mascarenhas, F.C.B., Miguez, M. G. el al., **Métodos Numéricos em Recursos Hídricos** 5, 1 ed., capítulo 1, Rio de Janeiro, RJ, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.

- ROVANI, F. F. M.; CASSOL, R. Cartografia temática: uma contribuição na análise geográfica do município de Barão de Cotegipe/RS. **Ateliê Geográfico**, v. 6, n. 2, p. 33-54, 2012.
- ROY, Olivier. **O fracasso do Islã político**. Harvard University Press, 1996.
- SAATY, T. L. Método de análise hierárquica. **Makron Books do Brasil Editora Ltda. E Editora McGraw-Hill do Brasil**, Rio de Janeiro, 1991.
- SAATY, T. L. The analytical hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. New York. **McGraw-Hill**, 1980.
- SAATY, T. L. Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits opportunities, costs, and risks. **RWS publications**, 2005. ISBS 978-1-8886031-6-3 (ebook).
- SAMPAIO, S. A.; GOMES, R. L. O Saneamento Básico de Ipiaú e sua Influência na Qualidade das Águas do Rio de Contas. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 74, p. 68-86, 2020.
- SANTOS, Marianne Silva. **Análise da suscetibilidade e vulnerabilidade aos processos erosivos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco no Estado do Sergipe**. Orientador: Paulo Sérgio de Rezende Nascimento. 2019. 27 p. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) (Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, 2019.
- SANTOS, M. V. dos et al. Uso e ocupação do solo e da qualidade da água do Rio Crato no município de Humaitá-AM, Brasil. **Revista Valore**, Volta Redonda, v. 5, e-5040, 2020.
- SILVA, I. R. da. et al. Influência da precipitação e do uso e ocupação do solo na qualidade da água da Bacia do Ribeirão Espírito Santo – Juiz de Fora/MG. **Revista de Estudos Ambientais** (Online), v. 22, n. 1, p. 35-51, jan/jun. 2020. DOI: 10.7867/1983-1501.202022n1p35-51.
- SILVA, S. de M. **Avaliação ambiental estratégica na Política Nacional de Recursos Hídricos-PNRH**. Orientador: Avaliação ambiental estratégica na Política Nacional de Recursos Hídricos-PNRH. 2008. 175 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável, área de concentrações em Políticas e Gestão Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2008.
- SILVEIRA, M.; ARAÚJO NETO, M. D. de. Licenciamento ambiental de grandes empreendimentos: conexão possível entre saúde e meio ambiente. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, p. 3829-3838, 2014.
- SOUTO, C. K. B. et al. Fatores antrópicos de poluição hídrica na bacia do tucunduba em Belém-PA/Anthropic factors of water pollution in the tucunduba basin in Belém-PA. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 9, p. 13824-13834, 2019.
- SOUSA, A. C. A. de. O que esperar do novo marco do saneamento?. **Cadernos da Saúde Pública**, 2020. DOI: 10.1590/0102-311X00224020.

- SOUZA, J. de.; PEÑALOZA, R. A. de. S. **Mensuração**. 2005. Disponível em: https://www.ufrgs.br/ppge/wp-content/themes/PPGE/page/textos-para-discussao/pcientifica/2005_02.pdf. Acesso em: 06/03/2021.
- STAUDT, B.; BERRETA, M. dos S. R. Recursos Hídricos: um olhar quanto ao desenvolvimento da legislação brasileira. *In*: LADWIG, N. I.; SCHWALM, H. **Planejamento e Gestão Territorial: A Sustentabilidade dos Ecossistemas Urbanos**. Criciúma, SC: EDIUNESC, 2018. cap. 13, p. 296 - 315. ISBN 978-85-8410-095-8.
- STEVENS, S. **Handbook of Experimental Psychology**. New York, Wiley, 1951.
- TEIXEIRA, L. P. Prospecção tecnológica: importância, métodos e experiências da Embrapa Cerrados. **Embrapa Cerrados-Documents (INFOTECA-E)**, 2013.
- TUCCI, C. E. M. Gestão das águas pluviais urbanas. Ministério das Cidades/Global Water Partnership – World Bank, **Unesco**, 2005.
- VAEZA, R. F. et al., Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, v. 17, n. 1, p. 23-29, 2012.
- VASCONCELOS, P. E. A.; VELOSO, L. L. O novo marco legal do saneamento e o racismo ambiental: efetivação do ODS nº 06?. **Direito em Movimento**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 166-188, 2020.
- VICTORINO, C. J. A. Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos. **EdiPUCRS**, 2007.
- VIEIRA, E. M. et al., Avaliação da influência topográfica na qualidade da água na Bacia PN1 (IGAM). **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Belo Horizonte, MG, 2008.
- VILLARES, Luiz Fernando. O poder normativo do CONAMA. **Revista Jurídica da Presidência**, v. 10, n. 90, p. 01-11, 2008.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.1)
- WOLKMER, M. de F. S.; PIMMEL, N. F. Política Nacional de Recursos Hídricos: governança da água e cidadania ambiental. **Sequência (Florianópolis)**, n. 67, p. 165-198, 2013.
- WORBOYS, M. F. GIS: A Computing Perspective. London, **Taylor and Francis**, 1995.
- ZADEH, L. A. Informação e Controle. **Fuzzy sets**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO - LEVANTAMENTO DE PESOS E NOTAS ATRAVÉS DO MÉTODO AHP.

APLICAÇÃO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À POLUIÇÃO HÍDRICA

Uso e ocupação da terra
 Para o trabalho, foram divididos os usos em: vegetação arbórea, gramíneas ou pastos, plantio, solo exposto e área urbana. Os pesos serão atribuídos de acordo com o impacto do uso e ocupação, sendo a **menor nota para áreas com vegetação arbórea, e notas maiores para áreas urbanas.**

Proximidade ao Rio
 Quanto mais próximo a área está de um curso d'água, maior a chance de causar danos, portanto maior será o peso atribuído.

Altimetria
 As cabeceiras devem possuir melhores condições na qualidade da água, pois se encontram em altitudes elevadas, sem grandes contribuições poluidoras. Já os pontos mais baixos próximos a foz recebem a contribuição de toda a bacia, de forma que todas as poluições causadas no decorrer dos trechos ocasionem piores condições na qualidade da água.

Declividade
 Em áreas com grandes declividades, sejam elas naturais ou antrópicas, acarretam no aumento dos processos erosivos. Portanto maiores declividades maiores notas, menores declividades menores notas

- Mapa Uso e Ocupação da Terra
- Mapa Proximidade ao Rio
- Mapa Altimetria
- Mapa Declividade

Preencher cada uso com a porcentagem correspondente ao impacto na qualidade da água.
 IMPORTANTE: A

Uso e Ocupação	
Vegetação arbórea	0%
Gramínea / Pasto	0%
Plantio	0%
Solo Exposto	0%
Área Urbana	0%
Soma	0%

Caixa de sugestão ou observação:

Para avaliação da pontuação, deverá ser utilizada a tabela de Saaty. Desta forma, utilizando com base no comentário, a Matriz abaixo deve ser comparada aos pares para determinar a importância.

Escala	Avaliação	Recíproco	Comentário
Igual importância	1	1	Os dois critérios contribuem igualmente
Importância moderada	3	1/3	A experiência e o julgamento favorecem um critério levemente sobre o outro
Mais importante	5	1/5	A experiência e o julgamento favorecem um critério fortemente sobre o outro
Muito importante	7	1/7	Um critério é fortemente favorecido em relação a outro e pode ser demonstrado na prática
Importância extrema	9	1/9	Um critério é favorecido em relação a outro com maior alto grau de certeza

Para o preenchimento da matriz de comparação pareada: alternar as células em laranja, comparando os **critérios das linhas com os critérios das colunas**, nessa ordem. Por exemplo, o uso e ocupação do solo em relação a proximidade ao rio é de igual importância.

	Critérios	Uso Ocupação	Proximidade	Altimetria	Declividade
Use somente os valores de avaliação da tabela de Saaty	Uso Ocupação	1	1	1	1
	Proximidade	1	1	1	1
	Altimetria	1	1	1	1
	Declividade	1	1	1	1

razão de consistência: 0.0% Se > 10% refazer

A **razão de consistência** indica a probabilidade, com que os valores de julgamento dos critérios foram gerados aleatoriamente, desta forma, como regra geral, se o RC for menor que 0.10 ou 10%, então há consistência para prosseguir com os cálculos do AHP, entretanto se