

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO MÉTODO AHP NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS
ADEQUADAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NO MUNICÍPIO DE
RIO CLARO - SP**

Ana Carolina Gonçalves dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Lucas Moreira Furlan

Rio Claro (SP)

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

ANA CAROLINA GONÇALVES DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO MÉTODO AHP NA
IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA A
IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NO MUNICÍPIO DE
RIO CLARO - SP

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro,
da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP

2024

S237a

Santos, Ana Carolina Gonçalves dos

Avaliação da eficácia do Método AHP na identificação de áreas adequadas para a implantação de aterros sanitários no Município de Rio Claro - SP / Ana Carolina Gonçalves dos Santos. -- Rio Claro, 2024

61 p. : il., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Lucas Moreira Furlan

1. Método multicritério. 2. SIG. 3. Gestão urbana. 4. Planejamento ambiental. I. Título.

CONTRIBUIÇÕES AOS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS-ONU)

Este trabalho está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que buscam equilibrar o desenvolvimento humano com a preservação ambiental até 2030. Entre os 17 objetivos propostos pela ONU, destacam-se os seguintes:

- ODS 3 – Saúde e Bem-Estar: A definição adequada de áreas para aterros sanitários previne riscos à saúde pública, evitando contaminações e doenças relacionadas ao descarte inadequado de resíduos.
- ODS 6 – Água Potável e Saneamento: A proteção dos recursos hídricos é garantida ao evitar a instalação de aterros em áreas sensíveis, contribuindo para a qualidade e a disponibilidade da água.
- ODS 7 – Energia Limpa e Acessível: O biogás gerado em aterros sanitários planejados pode ser aproveitado como fonte de energia renovável.
- ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis: Este estudo auxilia no planejamento urbano, evitando impactos negativos em áreas densamente povoadas ou ambientalmente frágeis.
- ODS 13 – Ação contra a Mudança Global do Clima: A instalação adequada de aterros sanitários minimiza as emissões de gases de efeito estufa provenientes da decomposição de resíduos.
- ODS 15 – Vida Terrestre: Preserva a biodiversidade e protege ecossistemas ao considerar áreas ambientalmente sensíveis na análise de localização.
- ODS 17 – Parcerias e Meios de Implementação: Enfatiza a importância de parcerias entre diferentes setores para implementar soluções sustentáveis e alcançar resultados positivos.

CONTRIBUTIONS TO THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS (SDGs-UN)

This study aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs), which aim to balance human development with environmental preservation by 2030. Among the 17 goals proposed by the UN, the following are highlighted:

- SDG 3 – Good Health and Well-Being: Proper selection of areas for sanitary landfills prevents public health risks, avoiding contamination and diseases related to improper waste disposal.
- SDG 6 – Clean Water and Sanitation: Protecting water resources is ensured by avoiding landfill installation in sensitive areas, contributing to water quality and availability.
- SDG 7 – Affordable and Clean Energy: Biogas generated in well-planned sanitary landfills can be utilized as a renewable energy source.
- SDG 11 – Sustainable Cities and Communities: This study supports urban planning by avoiding negative impacts in densely populated or environmentally fragile areas.
- SDG 13 – Climate Action: Proper landfill installation minimizes greenhouse gas emissions resulting from organic waste decomposition.
- SDG 15 – Life on Land: Biodiversity and ecosystems are preserved by considering environmentally sensitive areas in location analysis.
- SDG 17 – Partnerships for the Goals: Highlights the importance of collaboration among various sectors to implement sustainable solutions and achieve positive outcomes.

ANA CAROLINA GONÇALVES DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO MÉTODO AHP NA
IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA A
IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NO MUNICÍPIO DE
RIO CLARO - SP

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro,
da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Lucas Moreira Furlan (orientador)

Francielli Maria Vieira de Carvalho

Luis Renato Joaquim

Rio Claro, 21 de novembro de 2024.

Documento assinado digitalmente
 ANA CAROLINA GONCALVES DOS SANTOS
Data: 29/11/2024 12:31:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura da aluna

Documento assinado digitalmente
 LUCAS MOREIRA FURLAN
Data: 01/12/2024 18:46:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do orientador

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha mais profunda gratidão aos meus pais, que sempre foram minha base e meu maior alicerce. Obrigada por todos os ensinamentos, pelo incentivo constante, pelo carinho incondicional e por me apoiarem mesmo nos momentos mais desafiadores. Sou eternamente grata por tudo o que me deram e continuam me dando. Vocês são o motivo de eu ser quem sou hoje.

Às Winx (minhas primas e minha irmã), agradeço não pelas implicâncias da infância (e piolhos trocados), mas pelos companheirismos que construímos ao longo da vida. Vocês são parte essencial de quem sou, e espero compartilhar muitas conquistas ao lado de vocês. Afinal, "quando damos nossas mãos nos tornamos poderosas, porque juntas somos invencíveis."

Agradeço também aos amigos que Rio Claro me deu. Morar em uma república foi uma experiência transformadora, e serei eternamente grata à Rep. Na Boa pelos momentos inesquecíveis. Aos amigos que cultivei ao longo desses anos, obrigada por todo acolhimento, pelas risadas, pelos desesperos pré-prova e pelos rolês que tornaram essa jornada muito mais leve. Um agradecimento especial ao meu namorado, que sempre esteve ao meu lado, acreditando em mim e me apoiando.

Ao Professor Furlan, meu orientador, registro minha imensa gratidão por ter aceitado me guiar nesse trabalho e, principalmente, por acreditar tanto em mim durante todo o processo. Seu incentivo foi crucial para que eu conseguisse concluir este TCC e, mais do que isso, para que eu encontrasse um caminho em um momento de dúvidas e incertezas. Hoje sei onde quero chegar, e o mestrado que me espera no próximo ano é fruto desse suporte tão significativo. Estou ansiosa para continuarmos trabalhando juntos.

Por fim, agradeço à Universidade Estadual Paulista (UNESP), que me proporcionou o aprendizado, as oportunidades e as experiências que moldaram tanto minha formação acadêmica quanto meu crescimento pessoal. Este ciclo se encerra, mas levo comigo as memórias e os aprendizados para os desafios que estão por vir.

RESUMO

O presente trabalho avaliou a eficácia do Método de Análise Hierárquica (AHP) combinado com Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na identificação de áreas adequadas para a implantação de aterros sanitários no município de Rio Claro, São Paulo. Utilizando critérios ambientais, sociais e econômicos, como hidrografia, declividade, geologia, pedologia, unidades de conservação, proximidade de aeródromos, núcleos populacionais, vias de acesso e distâncias de áreas de preservação permanente, foram gerados mapas temáticos e aplicadas análises multicritério para classificar a aptidão territorial. Os resultados indicaram que a hidrografia e as unidades de conservação são os fatores mais restritivos, representando 54,89% das áreas inadequadas. A análise comparativa entre os resultados do trabalho e o aterro em operação evidenciou que parte do aterro atual está em áreas classificadas como inadequadas. Conclui-se que o uso do AHP e SIG é eficaz na seleção de locais para aterros, permitindo maior precisão e mitigação de impactos ambientais e sociais, servindo como ferramenta decisória para o planejamento urbano sustentável.

Palavra-chave: Método multicritério. SIG. Gestão urbana. Planejamento ambiental.

ABSTRACT

This study evaluated the effectiveness of the Analytical Hierarchy Process (AHP) combined with Geographic Information Systems (GIS) in identifying suitable areas for the installation of sanitary landfills in the municipality of Rio Claro, São Paulo. Environmental, social, and economic criteria such as hydrography, slope, geology, pedology, conservation units, proximity to aerodromes, population centers, access roads, and distances from permanent preservation areas were used to generate thematic maps and apply multicriteria analyses for territorial suitability classification. The results indicated that hydrography and conservation units are the most restrictive factors, accounting for 54.89% of the unsuitable areas. A comparative analysis between the study's results and the current landfill in operation revealed that part of the existing landfill is located in areas classified as unsuitable. It is concluded that the use of AHP and GIS is effective in selecting landfill sites, enabling greater precision and mitigation of environmental and social impacts, and serving as a decision-making tool for sustainable urban planning.

Keywords: Multicriteria method. GIS. Urban management. Environmental planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do Município de Rio Claro.	18
Figura 2 - Localização do Aterro Sanitário.	19
Figura 3 - Fluxograma das etapas da pesquisa.	24
Figura 4 - Hidrografia do município de Rio Claro e APP.	28
Figura 5 - Classificação da declividade do município de Rio Claro segundo a EMBRAPA.	29
Figura 6 - Classificação da declividade do município de Rio Claro segundo a ABNT.	30
Figura 7 - Geologia do município de Rio Claro.	31
Figura 8 - Pedologia do município de Rio Claro.	32
Figura 9 - Unidades de Conservação presentes no município de Rio Claro.	33
Figura 10 - Aeródromos e suas áreas de influência no município de Rio Claro.	34
Figura 11 - Núcleos populacionais e suas áreas de influência no município de Rio Claro.	35
Figura 12 - Rodovias e suas áreas de influência no município de Rio Claro.	36
Figura 13 - Mapeamento da adequação das áreas para a localização de aterro sanitário.	38
Figura 14 - Distribuição das classes de adequação em Rio Claro.	49
Figura 15 - Distribuição das classes de adequação como foco no aterro sanitário de Rio Claro. .	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de julgamento.....	24
Tabela 2 - Escala de relativa importância.....	25
Tabela 3 - Índices de consistência aleatória (RI).....	26
Tabela 4 - Notas de adequação e descrições adotadas.....	37
Tabela 5 - Notas de adequação para os critérios avaliados.	37
Tabela 6 - Hidrografia e áreas para cada intervalo adotado.	39
Tabela 7 - Distribuição das classes de declividade (ABNT).	40
Tabela 8 - Descrição geológica do município de Rio Claro.....	40
Tabela 9 - Distribuição das formações geológicas.	42
Tabela 10 - Descrição pedológica do município de Rio Claro.....	42
Tabela 11 - Distribuição das classes pedológicas.....	44
Tabela 12 - Distribuição das UC's e ZA's de Rio Claro e áreas de adequação.....	45
Tabela 13 - Distribuição das áreas de influência dos aeródromos.	45
Tabela 14 - Distribuição das áreas de influências dos núcleos populacionais.	46
Tabela 15 - Distribuição das áreas de influência das rodovias.....	46
Tabela 16 – APP e áreas para cada intervalo adotado.	47
Tabela 17 - Matriz de julgamento final.	47
Tabela 18 - Prioridades (pesos) finais dos critérios.....	48
Tabela 19 - Distribuição das classes de adequação final para áreas de Rio Claro.	50

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	OBJETIVO	15
2.1	Geral	15
2.2	Específicos.....	15
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1	Caracterização da Área de Estudo	16
3.1.1	Bioma	16
3.1.2	Geologia	17
3.1.3	Hidrografia.....	17
3.2	Aterro Sanitário	17
3.3	Aspectos Legais e Normativos	20
3.3.1	Constituição Federal de 1988	20
3.3.2	Política Nacional do Meio Ambiente	20
3.3.3	Política Nacional de Resíduos Sólidos	21
3.3.4	Política Estadual de Resíduos Sólidos.....	21
3.3.5	Áreas de Conservação e Preservação Ambiental	21
3.3.6	Áreas de Proteção dos Mananciais	21
3.3.7	Áreas de Proteção de Aeródromos	21
3.3.8	Normas Técnicas	22
3.4	Aplicações do Método AHP	22
4.	METODOLOGIA.....	24
4.1	Fluxo de trabalho	24
4.2	Cálculo do Método AHP	24
4.3	Definição dos Critérios	26
4.3.1	Hidrografia.....	27

4.3.2	Topografia (declividade)	28
4.3.3	Geologia	30
4.3.4	Pedologia	31
4.3.5	Unidades de Conservação.....	32
4.3.6	Distância de Aeródromos	33
4.3.7	Distância de núcleos populacionais.....	34
4.3.8	Distância das vias de acesso (Rodovias)	35
4.3.9	Distância de APP	36
4.4	Atribuição das classes para cada critério.....	36
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
5.1	Critérios individuais	39
5.2	Multicritérios	47
5.3	Comparando os resultados obtidos com o local do aterro em operação.....	50
6.	CONCLUSÃO.....	53
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
	APENDICE I	60

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico, o crescimento populacional, a urbanização, as mudanças nos padrões de consumo e demanda por bens e serviços contribuem significativamente para o aumento da geração de resíduos sólidos (Júnio, *et al.*, 2022). Consequentemente, a gestão desses resíduos nas áreas urbanas tornou-se uma questão global, já que a destinação inadequada representa um dos principais desafios relacionados à poluição ambiental e podendo gerar impactos socioeconômicos adversos (Araújo, *et al.*, 2022).

De acordo com a Lei Federal nº12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), se tem como classificação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) os resíduos domiciliares, os de limpeza urbana e os de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços quando equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público. Esses resíduos apresentam variada composição, conforme o perfil socioeconômico e hábitos da população (Júnio, *et al.*, 2022).

Embora existam métodos e técnicas que auxiliam na redução da quantidade de resíduos sólidos, incluindo reciclagem, transferência e recuperação, o descarte ainda é indispensável. Neste contexto, a disposição final ambientalmente adequada é um dos pontos de maior significância quando se trata dessa temática (Abdo, *et al.*, 2023). No Brasil, a PNRS determina que os resíduos sólidos devem ser destinados a aterros sanitários, obedecendo a normas operacionais específicas para evitar riscos à saúde e à segurança pública e, minimizar os impactos ambientais (Pinheiro, *et al.*, 2021).

A utilização de aterros sanitários é uma prática comum e indicada na gestão de resíduos, representando um sistema de destinação final de resíduos sólidos simples e de relativo baixo custo, que envolve a disposição de resíduos em local impermeabilizado, sendo feita a cobertura com camadas de solo e compactação a cada nova deposição (Júnio, *et al.*, 2022).

Com a PNRS sendo crucial para a legislação ambiental brasileira, esta vem promovendo importantes discussões, reforçando a necessidade da preocupação ambiental, social e econômica dos resíduos sólidos. A PNRS reforça a importância de aprimorar técnicas de seleção de áreas para aterros sanitários, auxiliando na tomada de decisão de gestores públicos com base em informações claras e eficazes (Araújo, *et al.*, 2022).

O processo de seleção do local do aterro deve integrar critérios, visando minimizar os efeitos sobre o meio ambiente e os recursos utilizados. Para isso, alguns critérios ambientais e socioeconômicos, como características físicas do ambiente, distância dos núcleos populacionais e

logística de transporte para disposição de resíduos sólidos, são analisados na seleção de um local adequado para a instalação do aterro, exigindo bases de dados abrangentes e técnicas que permitam a devida ponderação. Ao longo dos anos, o geoprocessamento tem sido amplamente aplicado como ferramenta de apoio na determinação da localização de aterros (Pavani, *et al.*, 2019). Como exemplo, é difundida a utilização da análise de decisão de multicritérios sendo está uma das ferramentas exploradas em softwares tais como ArcGIS, a qual, por sua vez, objetiva analisar alternativas para a resolução de um problema utilizando diversos critérios relacionados ao objeto de estudo. (Aramaki, *et al.*, 2022)

O presente trabalho tem como objetivo identificar áreas adequadas para a implantação de um aterro sanitário no município de Rio Claro, utilizando a combinação do Método de Análise Hierárquica (AHP) e ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

A escolha do município de Rio Claro, que já possui um aterro sanitário em operação, permite realizar uma análise comparativa entre o novo estudo e os critérios utilizados anteriormente. Essa comparação visa avaliar a eficácia dos métodos aplicados e proporcionar uma base sólida para a futura implementação de aterros sanitários em outras regiões.

2. OBJETIVO

2.1 Geral

Identificar áreas adequadas para a implantação de aterros sanitários no município de Rio Claro, utilizando o método AHP, ou Método de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process) e realizar uma validação da localidade onde se encontra o aterro sanitário existente.

2.2 Específicos

- Elaborar mapas temáticos representando os critérios utilizados no Método AHP para a identificação de áreas aptas à implantação de aterros sanitários;
- Aplicar o método AHP para definir e hierarquizar os critérios de seleção de áreas para a implantação de aterros sanitários, incluindo aspectos ambientais, sociais e econômicos;
- Gerar um mapa que indique áreas potencialmente aptas para implantação de aterros sanitários;
- Realizar uma análise comparativa entre o aterro sanitário existente em Rio Claro e as áreas identificadas pelo estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Caracterização da Área de Estudo

O município de Rio Claro (Figura 1) está localizado na região Sudeste do Brasil, a 190 km da capital São Paulo, na macrorregião de Campinas. Com uma área urbanizada de 48,25 km², seu território totaliza aproximadamente 498,422 km² (IBGE, 2022). Rio Claro é composto por quatro distritos: Assistência, Batovi, Ferraz e Ajapi. Faz fronteira ao norte com Corumbataí e Leme, ao sul com Piracicaba, a Leste com Araras e Santa Gertrudes, e a oeste com Ipeúna e Itirapina (PMGIRS - RC, 2014).

De acordo com dados (IBGE, 2022) em 2023, a população de Rio Claro era de 201.418 habitantes, caracterizando-se como uma cidade de médio porte. O clima predominante é o tropical de altitude, com chuvas principalmente no verão, entre setembro e abril, e uma estação seca no inverno, de maio a agosto, com baixa pluviosidade. A temperatura média anual é de 22,3°C (Diniz, 2023).

A partir dos anos 70, a instalação de diversas indústrias em Rio Claro, incentivada por benefícios fiscais, gerou novos empregos. Simultaneamente, o desenvolvimento da agroindústria foi impulsionado pela criação da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Esses fatores atraíram muitas pessoas em busca de trabalho e educação, gerando expansão urbana desordenada e sem planejamento adequado, o que levou pessoas de baixa renda a ocuparem áreas próximas ao rio Corumbataí, causando o desmatamento da mata ciliar e disposição inadequada de resíduos sólidos (Lobo, 2011).

3.1.1 Bioma

O município está inserido na Bacia do Rio Corumbataí, com sua vegetação natural original sendo composta principalmente por florestas (tropical subcaducifólia), Cerrados e Campos Cerrados (PMGIRS - RC, 2014).

As culturas, como café e algodão, as ferrovias e numerosas serrarias instaladas na bacia do rio Corumbataí no século XIX, foram as responsáveis pelo desmatamento da vegetação natural hoje presente somente como fragmentos (PMGIRS - RC, 2014).

Atualmente no município de Rio Claro há poucos trechos com fragmentos de vegetação original, estando estes praticamente limitados à Áreas de Proteção Ambiental (APAs) (PMGIRS - RC, 2014).

3.1.2 Geologia

O município de Rio Claro está inserido na área nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, representada, por rochas sedimentares da era Paleozóica (Formação Corumbataí) e da era Cenozóica (Formação Rio Claro e depósitos recentes) (PMGIRS - RC, 2014).

No contexto geomorfológico, considerando uma análise em escala regional, a área está inserida na Depressão Periférica Paulista, zona do Médio Tietê. A região ainda é caracterizada devido ao seu sistema de relevo apresentar predomínio de colinas tabuliformes de vertentes suavemente convexas e patamares de fraca inclinação, dispostos entre 550 e 650 m (PMGIRS - RC, 2014).

3.1.3 Hidrografia

O município de Rio Claro encontra-se inserido na Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI 05 – denominada de PCJ (PMGIRS - RC, 2014).

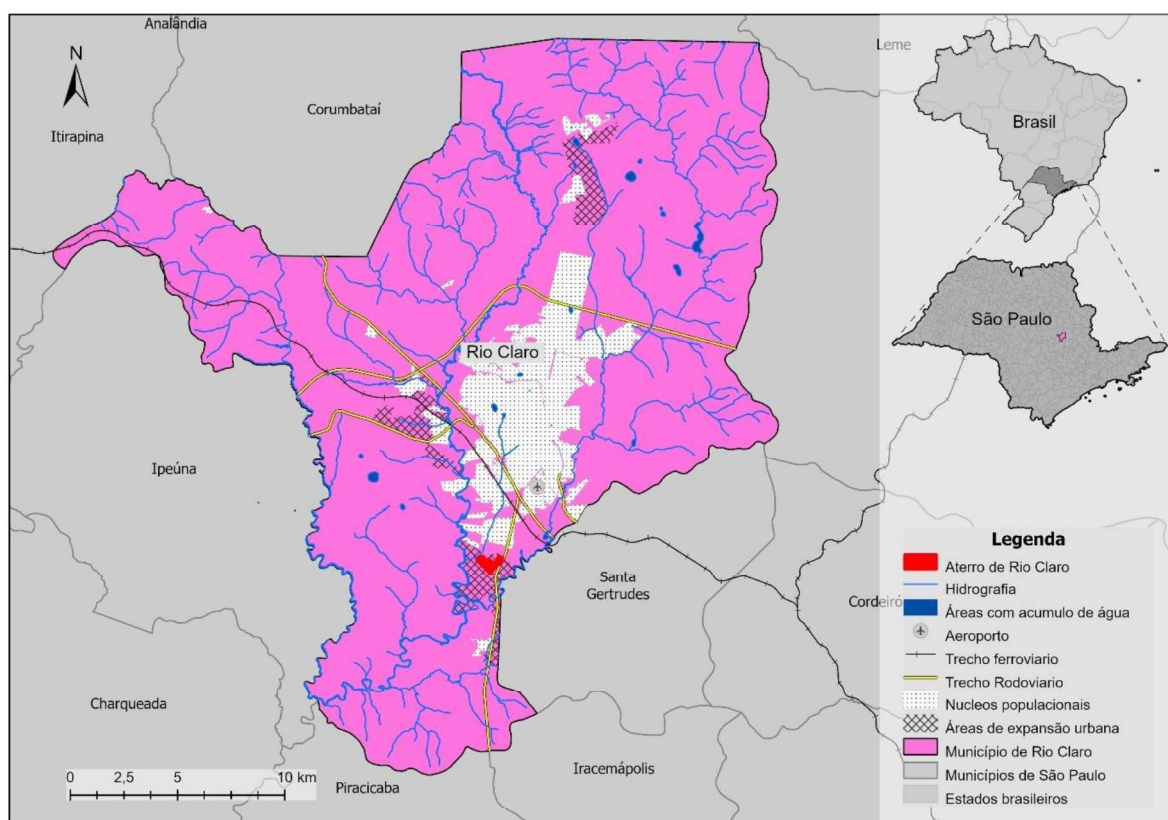
Dentre os principais cursos d'água da região, destacam-se: Rio Corumbataí que drena a porção Oeste, ele nasce na Serra de Santana no município de Analândia (SP), passa por Rio Claro, e deságua no Rio Piracicaba, na cidade de Piracicaba (SP) (PMGIRS - RC, 2014).

O município de Rio Claro está situado na Bacia Hidrográfica do PCJ, sendo os principais rios da bacia: Atibaia, Jaguari e Piracicaba. Os dois mais importantes afluentes são o Camanducaia e o Corumbataí (PMGIRS - RC, 2014).

3.2 Aterro Sanitário

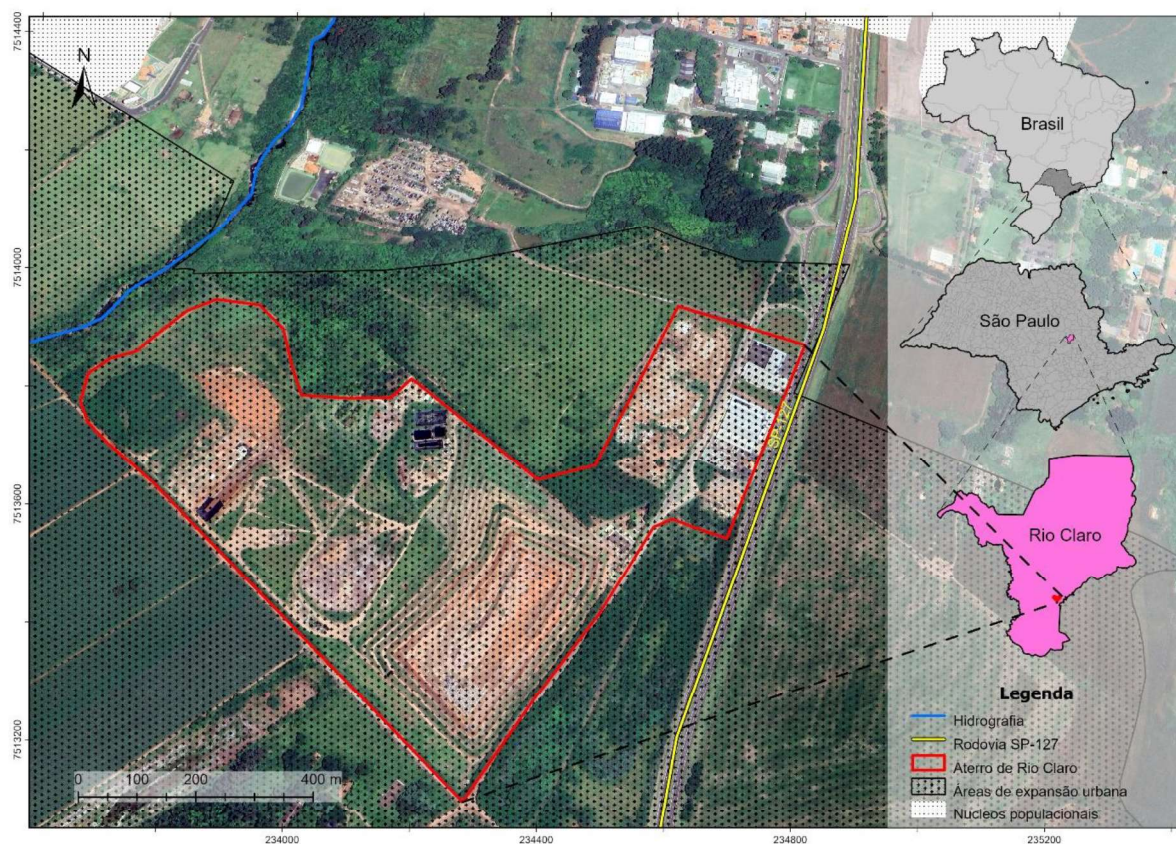
O aterro municipal (Figura 2) de Rio Claro está situado entre as coordenadas 513.938,91 e 513.523,07 de latitude norte e 234.592,79 e 234.300,20 de longitude leste, em um terreno com cerca de 14 hectares de área total. Ele está localizado na estrada municipal que conecta Rio Claro ao distrito de Assistência, próximo à Rodovia Fausto Santomauro (SP-127), que liga Rio Claro a Piracicaba. A área do aterro fica ao sul do centro de Rio Claro, a aproximadamente 7 km da sede do município e a 3 km do núcleo urbano (PMGIRS - RC, 2014).

Figura 1 - Localização do Município de Rio Claro.



Fonte: Dados de (IBGE, 1969) (IBGE, 2022) (MT, 2024) (ANA, 2016) (PMRC, 2024). Autoria própria.

Figura 2 - Localização do Aterro Sanitário.



Fonte: Dados de (IBGE, 1969) (IBGE, 2022) (ANA, 2016). Autoria própria

De acordo com Relatório Ambiental Preliminar, a área foi escolhida por apresentar características favoráveis, como: distâncias maiores de 500 m de residências rurais e de 3,0 km de núcleo urbano; facilidade de acesso em vias pavimentadas, área previamente delimitada topograficamente e favorável à instalação do empreendimento; a existência de solos adequados para utilização como cobertura operacional e sistemas de impermeabilização de base e a profundidade adequada do nível de água, influenciada pela característica geomorfológica de ser um alto topográfico tornaram fatores favoráveis à escolha da área. Ainda do projeto de instalação, a concepção dos aterros foi baseada na implantação de sistemas de proteção das águas superficiais e subterrâneas com separação dos percolados, garantindo a qualidade das águas para jusante, no caso, o afluente Córrego da Servidão (PMGIRS - RC, 2014).

O empreendimento em questão abrange o aterro sanitário de resíduos domiciliares (Classe II-A) e o aterro de resíduos industriais (Classe II-B) do município de Rio Claro – SP, além das estruturas de apoio necessárias. No local, também há uma estação de transbordo que recebe resíduos de serviços de saúde e carcaças de animais (PMGIRS - RC, 2014).

Com o objetivo de garantir um recebimento e tratamento ambientalmente correto dos resíduos sólidos domiciliares, comerciais e industriais não perigosos, além de otimizar o uso do terreno e prolongar a vida útil do empreendimento, a Prefeitura de Rio Claro solicitou e a CETESB emitiu, em dezembro de 2023, a Licença Prévia (LP) para a ampliação do aterro sanitário municipal, atestando a viabilidade ambiental do projeto (CETESB, 2024).

A LP, emitida pela Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental da CETESB, cobre a expansão em uma área contígua à atual zona de disposição e sua elevação, permitindo a continuidade adequada das operações do empreendimento. O aterro sanitário municipal tem demonstrado um desempenho eficiente, conforme monitoramentos da CETESB nos últimos anos, alcançando uma nota de 9,8 em 2021 e 2022, de acordo com os Índices de Qualidade de Aterros no estado de São Paulo (CETESB, 2024).

Prevê-se um investimento de R\$ 2,5 milhões para a futura implementação e operação da expansão. A nova área abrangerá 3,27 hectares, aumentando a capacidade de recebimento de resíduos para 250 toneladas diárias e estendendo a vida útil do aterro em pelo menos nove anos (CETESB, 2024).

3.3 Aspectos Legais e Normativos

Este item aborda os aspectos legais e normativos relevantes para a identificação de áreas adequadas para a implantação de aterros sanitários.

3.3.1 Constituição Federal de 1988

A Constituição Federal de 1988, define a competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios para proteger bens de valor histórico, artístico e cultural, o meio ambiente, e combater a poluição. Ela ainda atribui aos municípios a responsabilidade de organizar e prestar serviços públicos de interesse local, incluindo a destinação final de resíduos sólidos urbanos.

3.3.2 Política Nacional do Meio Ambiente

A criação da Lei Federal nº 6.938 em 1981, regulamentada pelo Decreto Federal nº 99.274/1990, estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), com o objetivo de preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental propícia à vida.

3.3.3 Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi estabelecida pela Lei Federal nº 12.305/2010 e regulamentada pelo Decreto Federal nº 10.936/22. Esta lei proíbe, entre outras práticas, o lançamento de resíduos em corpos hídricos e a queima a céu aberto. Ela também define a destinação e disposição final ambientalmente adequada, que incluem a reutilização, reciclagem, compostagem e recuperação energética, seguindo normas específicas para minimizar riscos à saúde pública e impactos ambientais adversos.

3.3.4 Política Estadual de Resíduos Sólidos

Em 2006, o Estado de São Paulo instituiu a Política Estadual de Resíduos Sólidos pela Lei Estadual nº 12.300/2006, regulamentada pelo Decreto Estadual nº 54.645/2009, proibindo diversas formas inadequadas de destinação de resíduos sólidos, tais como o lançamento "in natura" a céu aberto, deposição inadequada no solo, queima a céu aberto, deposição em áreas protegidas ou sujeitas a inundações, e infiltração no solo sem tratamento prévio.

3.3.5 Áreas de Conservação e Preservação Ambiental

A Lei Federal nº 9.985/2000 instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), regulamentando a proteção de áreas com características naturais relevantes. A Resolução CONAMA nº 428/2010 regulamenta o licenciamento de empreendimentos que possam afetar unidades de conservação ou suas zonas de amortecimento, como por exemplo, um aterro sanitário. O Novo Código Florestal, Lei Federal nº 12.651/2012, define as Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reservas Legais, essenciais para a proteção dos recursos naturais e da biodiversidade.

3.3.6 Áreas de Proteção dos Mananciais

No Estado de São Paulo, a proteção de mananciais é regulamentada pelas Leis Estaduais nº 898/1975 e nº 1.172/1976, e pela Lei Estadual nº 9.866/1997, que define Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais (APRM) para a preservação dos recursos hídricos destinados ao abastecimento público.

3.3.7 Áreas de Proteção de Aeródromos

Devido ao risco de atração de fauna, que pode resultar em acidentes aéreos, a Lei Federal nº 12.725/2012 estabelece diretrizes para o controle da fauna nas proximidades de aeródromos,

incluindo a definição de medidas para minimizar esse risco. Complementando essa regulamentação, a Portaria nº 741/GC3, de 23 de maio de 2018, trata do “Plano Básico de Gerenciamento de Risco de Fauna nos aeródromos brasileiros”, que orienta a implementação de estratégias para reduzir a presença de fauna em áreas críticas. Ambas as normas reforçam a importância de manter distâncias seguras entre aterros sanitários e aeródromos, assegurando a segurança operacional da aviação

3.3.8 Normas Técnicas

A Norma Brasileira NBR 10.004/2004 define e classifica os resíduos sólidos. As NBR 13.896/1997 e NBR 15.849/2010 estabelecem critérios técnicos para projeto, implantação, operação e encerramento de aterros sanitários de resíduos não perigosos e de pequeno porte, respectivamente.

3.4 Aplicações do Método AHP

O Método de Análise Hierárquica (AHP, do inglês Analytic Hierarchy Process) é um dos métodos de Análise Multicritério de Decisão (AMD) amplamente utilizado na avaliação de objetivos e critérios múltiplos em problemas caracterizados pela complexidade e subjetividade. Criado por Thomas L. Saaty na década de 1970, esse método consiste na elaboração de um modelo que reflete o funcionamento da mente humana na avaliação das alternativas diante de um problema de decisão complexo (Ribeiro, *et al.*, 2016). Além disso, o método permite lidar com problemas que envolvem tanto valores tangíveis quanto intangíveis, graças à sua capacidade de criar medidas para variáveis qualitativas com base em julgamentos subjetivos emitidos pelos decisores (Saaty, 1991).

O método tem se mostrado uma ferramenta eficaz na avaliação de áreas para aterros sanitários, permitindo a consideração de fatores ambientais, sociais e econômicos. Por exemplo, a metodologia tem sido aplicada para avaliar critérios como a proximidade de corpos hídricos, a distância de áreas residenciais, a composição do solo e a acessibilidade.

Exemplos de Aplicações Similares

- *TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS APTAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE DIVINÓPOLIS, MINAS GERAIS* – os autores utilizaram critérios como a distância das fontes geradoras de resíduos sólidos urbanos; corpos hídricos e suas faixas de

influências; proximidade com rodovias; declividade; tipos de solos; mapa geológico; uso e ocupação do solo e o Cadastro Ambiental Rural e incluindo as Áreas de Preservação Permanente (APP's), Reservas Legais, Uso Restrito, Vegetação Nativa e Vereda. O estudo conclui que “foi possível analisar e diagnosticar as possíveis áreas para construção do aterro sanitário no município de Divinópolis – MG”, e destaca que a “geração dos mapas permitiu identificar com mais clareza as áreas onde o risco seria menor e a aptidão das mesmas, porém, deve-se ressaltar que essa escolha se torna um processo que requer habilidade e experiência dos técnicos e profissionais responsáveis”. (Aramaki, *et al.*, 2022)

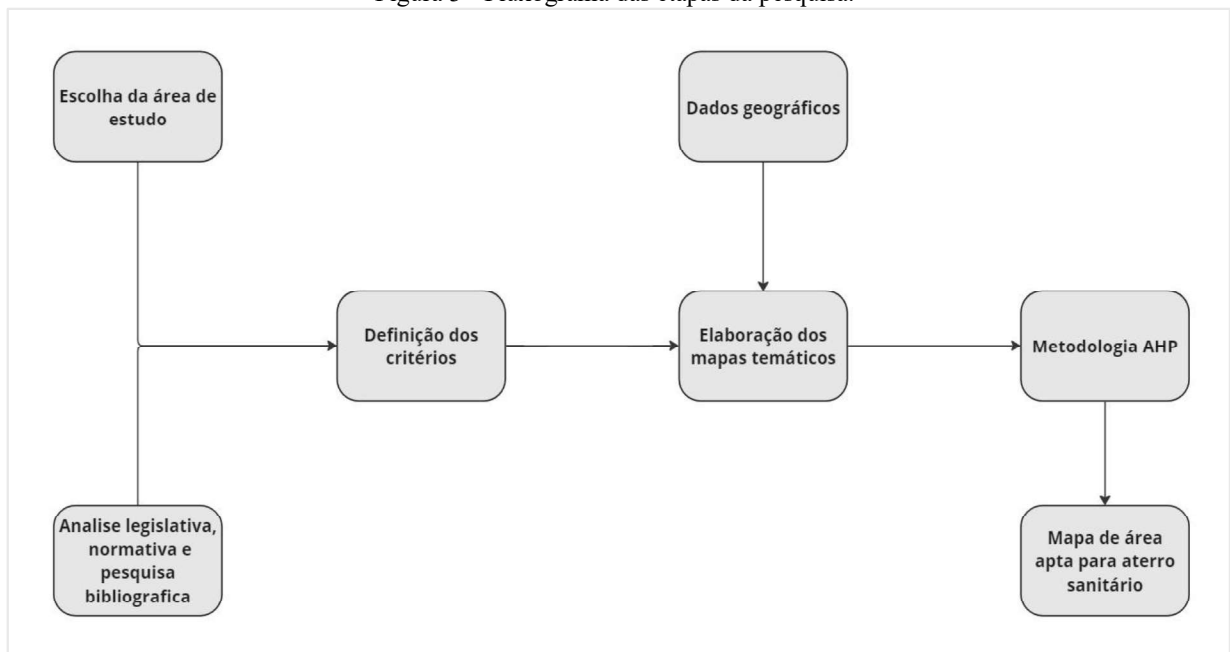
- *ALLOCATION OF SANITARY LANDFILL IN CONSORTIUM: STRATEGY FOR THE BRAZILIAN MUNICIPALITIES IN THE STATE OF AMAZONAS* – são utilizados pelos autores critérios como declividade; distância dos cursos de água; distância dos reassentamentos e territórios indígenas; distância das estradas; distância de área urbana; uso e ocupação da terra e pedologia. Neste artigo, a aplicação do SIG em conjunto com a análise multicritério demonstrou-se eficaz na seleção das áreas mais adequadas, levando em consideração as características específicas de cada região. Nesse contexto, o estudo permitiu a triagem de áreas aptas para a instalação de aterros sanitários, destacando que esta é apenas uma das etapas do processo de decisão final, o qual exige informações mais detalhadas para ser concluído (Pavani, *et al.*, 2019)
- *UMA NOVA ESTRATÉGIA PARA DEFINIR ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS CONSORCIADOS COM BASE EM ANÁLISE MULTICRITÉRIO* – o estudo traz os seguintes critérios, distância de drenagem e profundidade da água subterrânea; unidades de conservação; distância de aeroportos; declividade; geologia; pedologia; geomorfologia; distância da área construída; distância da estrada e uso e cobertura da terra. Com a abordagem adotada, foi possível localizar áreas adequadas para instalação de aterro consorciado na área de estudo, mostrando que as aplicações MCDA e AHP foram essenciais para minimizar as incertezas relacionadas à tarefa de seleção da área do aterro (Pinheiro, *et al.*, 2021).

4. METODOLOGIA

4.1 Fluxo de trabalho

O fluxograma a seguir (Figura 3) apresenta o processo metodológico adotado para a identificação de áreas adequadas para a implantação de aterros sanitários.

Figura 3 - Fluxograma das etapas da pesquisa.



Fonte: Autoria própria

4.2 Cálculo do Método AHP

O primeiro passo na construção do Método de Análise Hierárquica (AHP) é a determinação dos critérios que serão utilizados na análise. Neste estudo, os critérios selecionados são: Hidrografia, Topografia, Geologia, Pedologia, Unidades de Conservação, Distâncias de Aeródromos, Núcleos Populacionais, Rodovias e Áreas de Proteção Permanente.

Após a definição dos critérios, inicia-se a montagem de uma matriz de comparação (Tabela 1), utilizando a escala de Saaty (Tabela 2), onde são atribuídos valores que variam de 1 a 9 para determinar a importância relativa de um critério em relação a outro.

Tabela 1 - Matriz de julgamento.

C_1	a_1	a_2	...	a_n
a_1	1	x_{12}	...	x_{1n}
a_2	$1/x_{12}$	1	...	x_{2n}

...	...	...	...	...
a_n	$1/x_{n1}$	$1/x_{n2}$	...	1

Fonte: Elaborado a partir de (SAATY, 1991).

Tabela 2 - Escala de relativa importância.

ESCALA	AValiação NUMÉRICA	RECÍPROCO
Extremamente preferido	9	1/9
Muito forte a extremo	8	1/8
Muito fortemente preferido	7	1/7
Forte e muito forte	6	1/6
Fortemente preferido	5	1/5
Moderado a forte	4	1/4
Moderadamente preferido	3	1/3
Igualmente moderado	2	1/2
Igualmente preferido	1	1

Fonte: Elaborado a partir de (SAATY, 1980).

Para interpretar e atribuir os pesos relativos a cada critério, é necessário normalizar a matriz comparativa inicial, processo esse que é feito dividindo-se o valor de cada célula pelo somatório cada coluna (Vargas, 2010).

A determinação da contribuição de cada critério é calculada a partir do vetor de prioridade, também conhecido como vetor de Eigen. Este vetor apresenta os pesos relativos entre os critérios e é obtido de modo aproximado através da média aritmética dos valores de cada um dos critérios. O somatório dos valores do vetor de Eigen sempre totaliza 1, indicando a participação ou o peso de cada critério no resultado final (Vargas, 2010).

O próximo passo do processo é verificar a inconsistência dos dados, assegurando que os tomadores de decisão foram consistentes em suas opiniões. Por exemplo, se os tomadores de decisão afirmarem que o Critério A é mais importante que o Critério B, e que o Critério B é mais importante que o Critério C, seria inconsistente afirmar que o Critério C é mais importante que o Critério A (Vargas, 2010).

O índice de inconsistência é calculado através do somatório do produto de cada elemento do vetor de Eigen pelo total da respectiva coluna da matriz comparativa original, resultando no número principal de Eigen (λ_{Max}) (Vargas, 2010).

Em seguida, calcula-se o índice de consistência (CI), conforme proposto por (Saaty, 1980), utilizando a equação abaixo.

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1}$$

Para verificar se o valor do índice de consistência (CI) é aceitável, Saaty introduziu a taxa de consistência (CR), determinada pela equação abaixo e tendo como referência o índice de consistência (RI) tabelado (Tabela 3).

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0,1 \sim 10\%$$

Tabela 3 - Índices de consistência aleatória (RI).

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

Fonte: Elaborado a partir de (SAATY, 1980).

A matriz será considerada consistente se a taxa de consistência for menor que 10%.

Com o vetor de prioridade definido e verificando que o índice de consistência está dentro do esperado, é possível utilizar esses valores para a modelagem visual dentro do software ArcGIS.

4.3 Definição dos Critérios

De acordo com a NBR 13.896/97 (ABNT, 1997), a implementação de locais destinados a aterros de resíduos deve atender a uma série de requisitos essenciais. Entre esses requisitos, destaca-se a necessidade de que a área escolhida minimize o impacto ambiental decorrente da instalação do aterro. Além disso, é necessário que haja aceitação por parte da população local, garantindo um consenso social em torno da instalação. O local também deve estar em conformidade com o zoneamento da região, assegurando que as diretrizes urbanísticas sejam respeitadas. Além disso, a área deve permitir o uso prolongado do aterro, necessitando de um mínimo de obras para o início das operações, de modo a garantir a sustentabilidade e a eficiência do processo.

O método de análise hierárquica (AHP) foi selecionado para este estudo por sua capacidade de combinar múltiplos critérios em um modelo decisório, facilitando a escolha de locais adequados para implantação de aterros sanitários no município de Rio Claro. Este método foi aplicado em conjunto com o software ArcGIS Pro, onde foram construídos mapas temáticos representando cada um dos critérios definidos. Os critérios utilizados foram: hidrografia, declividade, geologia, pedologia, unidades de conservação, proximidade de aeródromos, núcleos populacionais, vias de acesso e distância de áreas de preservação permanente (APP).

Para a definição e análise dos critérios que compõem o método AHP, utilizou-se uma abordagem pautada em normas técnicas e referências bibliográficas aplicáveis, conforme detalhado a seguir.

4.3.1 Hidrografia

A análise da hidrografia local possibilita a identificação dos principais cursos d'água, nascentes e corpos hídricos, além de ressaltar a presença de áreas de proteção de mananciais, que são essenciais tanto para o abastecimento público quanto para a preservação da biodiversidade. A instalação de um aterro sanitário deve ser planejada de modo a evitar essas áreas sensíveis, a fim de preservar a qualidade e a disponibilidade desses recursos hídricos (Blasius, 2023).

A análise da hidrografia buscou identificar os corpos d'água presentes na área de estudo, considerando as normas da NBR 10.157/87 (Aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação) (ABNT, 1987) e NBR 13.896/1997 (Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação) (ABNT, 1997) que recomendam uma distância mínima de 200 metros entre aterros e corpos d'água, com objetivo avaliar a possível influência do aterro na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas adjacentes.

Foi elaborado o mapa temático (Figura 4) para a hidrografia da área utilizando folhas topográficas disponíveis no IBGE, em escala 1:50.000:

- Rio Claro: Folha principal SF-23-M-I-4 (IBGE, 1969)
- Itirapina: Folha SF-23-M-I-3 (IBGE, 1969)
- Araras: Folha SF-23-M-II-9 (IBGE, 1969)
- Piracicaba: Folha SF-23-Y-A-IV-2 (IBGE, 1988)
- Leme: Folha SF-23-Y-A-II-1 (IBGE, 1971)
- Corumbataí: Folha SF-23-Y-A-I-2 (IBGE, 1971)

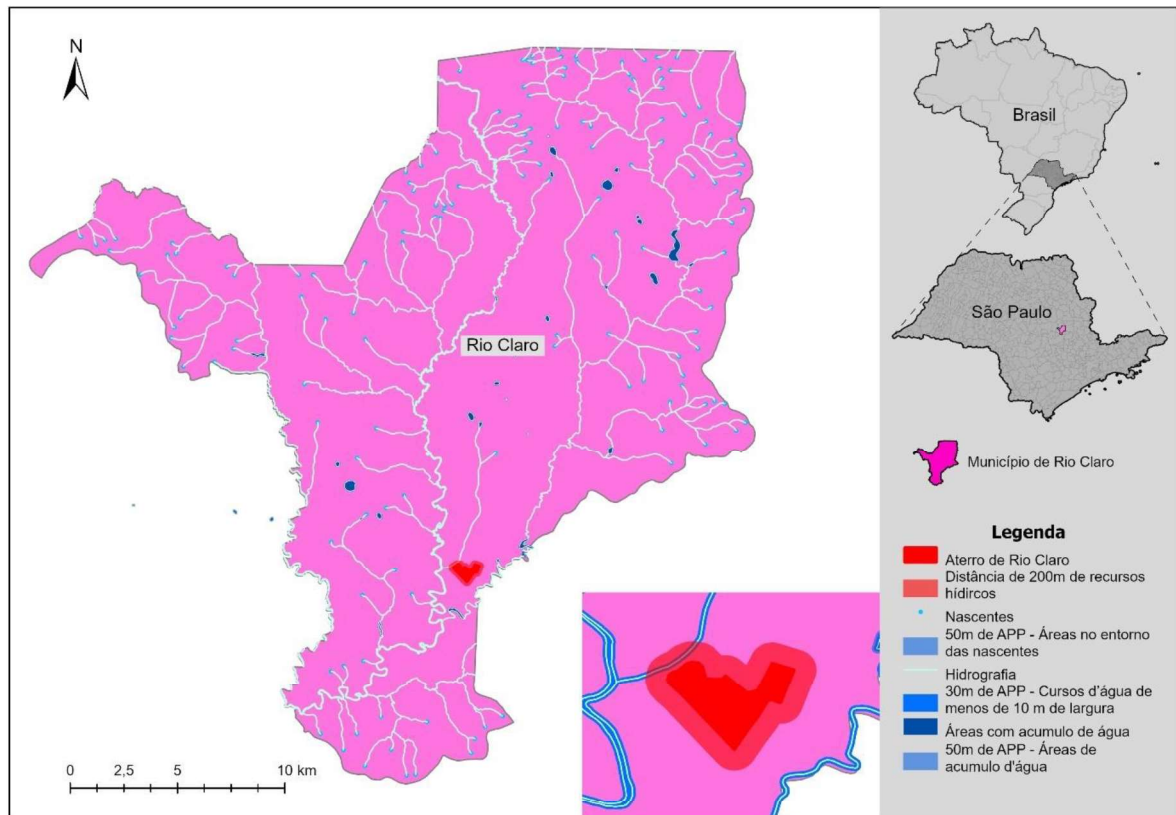
Com base no novo código florestal (Brasil, 2012) foram estabelecidos buffers para APP's, variando conforme a largura dos cursos d'água, com faixas de 30 a 50 m:

“I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de [...] a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;”

“II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de [...] b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;”

IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros; (Brasil, 2012)

Figura 4 - Hidrografia do município de Rio Claro e APP.



Fonte: Dados de (IBGE, 2022) e (IBGE, 1969). Autoria própria.

Vale destacar que essas faixas marginais são consideradas Área de Proteção Permanente e necessitam ter sua vegetação protegida, e será um critério considerado para a definição das áreas adequadas para a implantação de aterros sanitários.

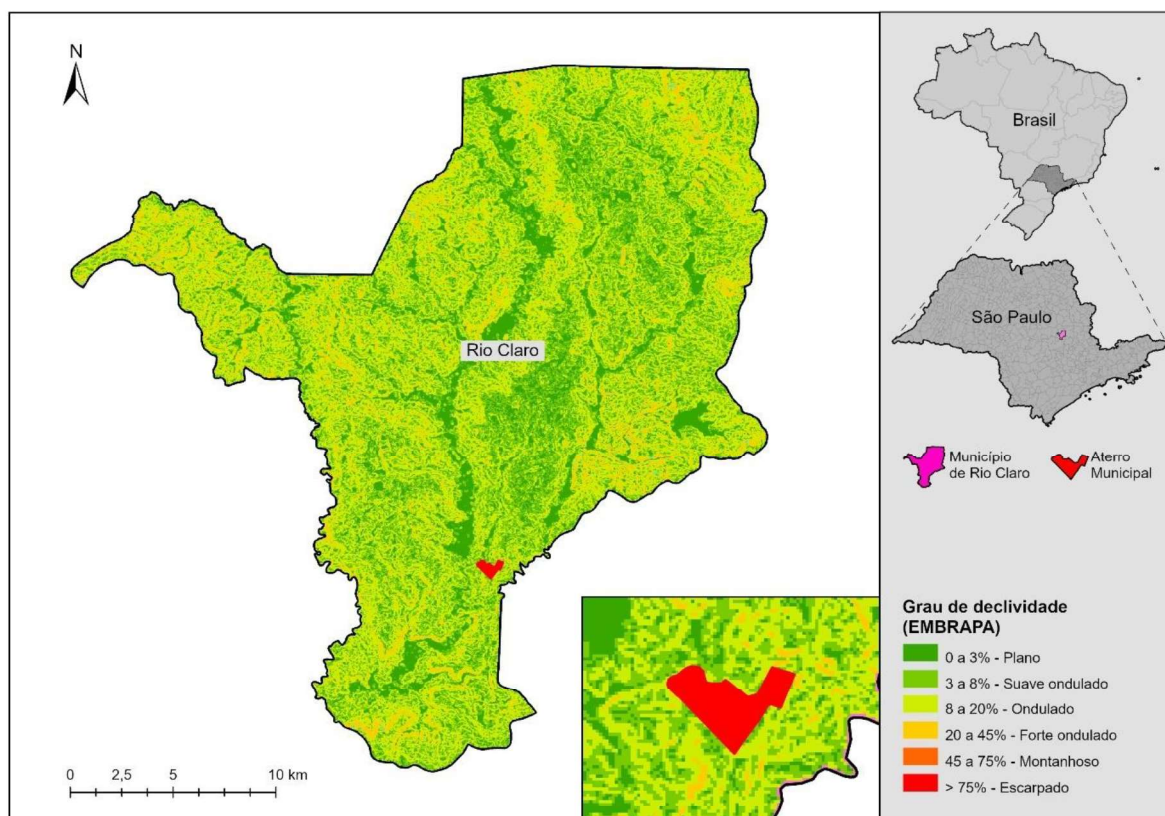
4.3.2 Topografia (declividade)

A análise da declividade tem como objetivo identificar as características específicas do relevo para a escolha de locais adequados à implantação de um aterro sanitário. Áreas com acentuada inclinação são consideradas inadequadas devido aos desafios relacionados às técnicas construtivas, ao controle ambiental e aos custos logísticos envolvidos. Terrenos com alta declividade podem comprometer a estabilidade das estruturas do aterro, além de dificultar sua construção e operação. Ademais, a drenagem de água em áreas com declives pronunciados torna-se mais complexa, aumentando os riscos de erosão e escoamento de lixiviados (Blasius, 2023).

A declividade foi analisada para verificar a adequação do relevo para a construção de aterros, utilizando o Modelo Digital de Elevação (NASA, 2013) com resolução de 30x30 m. Essa resolução

foi escolhida por oferecer um equilíbrio adequado entre a precisão necessária para estudos ambientais e a disponibilidade de dados acessíveis e consistentes. Em conjunto com a metodologia proposta pela (EMBRAPA, 2018), que classifica as áreas de acordo com o grau de declividade, em porcentagem se obteve o mapa temático abaixo (Figura 5).

Figura 5 - Classificação da declividade do município de Rio Claro segundo a EMBRAPA.



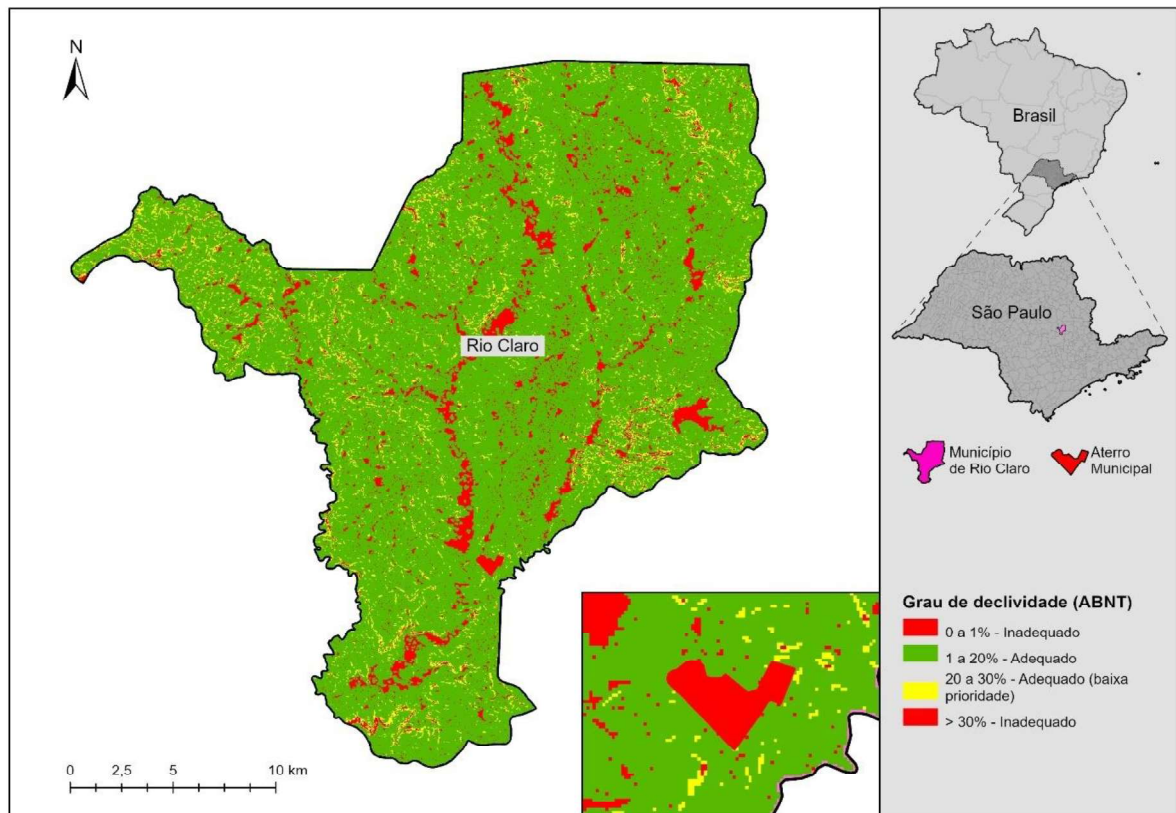
Fonte: Dados de (IBGE, 2022) (NASA, 2013) (EMBRAPA, 2018). Autoria própria.

De acordo com as normas NBR 10.157/87 (Aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação) (ABNT, 1987) e NBR 13.896/1997 (Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação) (ABNT, 1997) as especificações para escolha do terreno quanto à topografia variam. Conforme a NBR 13.896/1997, recomenda-se que a declividade esteja entre 1% e 30%, enquanto a NBR 10.157/87 sugere que o terreno tenha declividade entre 1% e 20% - devido a deposição de resíduos perigosos.

Com base nessas normativas, foi gerado um novo mapa (Figura 6) indicando as áreas com declividade de 1% a 20% (em verde), consideradas adequadas para a instalação de aterros. As áreas com declividade entre 20% e 30% (em amarelo) são consideradas viáveis, mas com prioridade

reduzida, dado que o aterro de Rio Claro não recebe resíduos perigosos. As áreas fora dessas faixas de declividade são classificadas como inadequadas (em vermelho). Esse será o critério utilizado na análise multicritério.

Figura 6 - Classificação da declividade do município de Rio Claro segundo a ABNT.



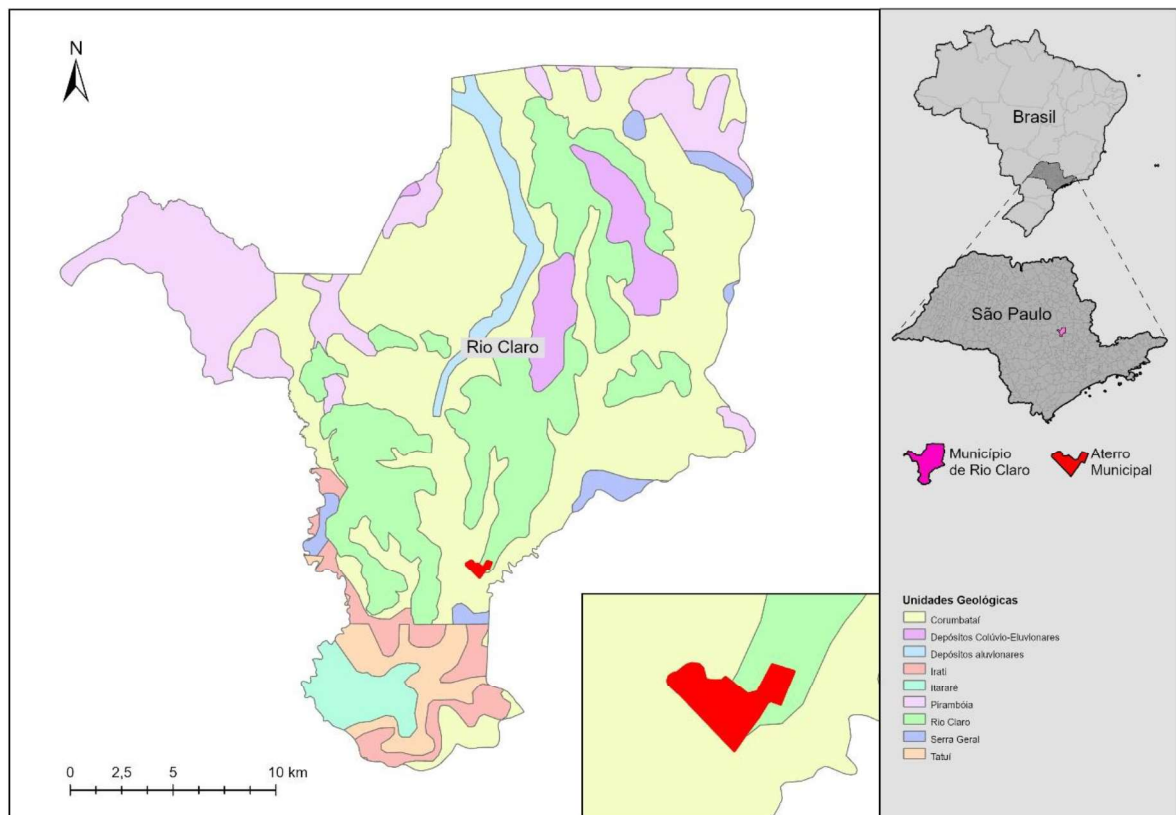
Fonte: Dados de (IBGE, 2022) (NASA, 2013), (ABNT, 1997) e (ABNT, 1987). Autoria própria.

4.3.3 Geologia

A caracterização da geologia da área fornece dados importantes sobre o tipo de substrato, bem como sobre a distribuição e presença de feições estruturais, as quais estão intimamente ligadas à susceptibilidade à contaminação do ambiente hidrogeológico. Com isso, a identificação das formações geológicas permite apontar as regiões mais adequadas para a instalação de um aterro sanitário (Blasius, 2023).

Para a análise dessas formações foi elaborado um mapa (Figura 7) utilizando os dados disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil, através do mapa geológico do estado de São Paulo, com escala 1:750.000 (GEOSGB, 2006).

Figura 7 - Geologia do município de Rio Claro.



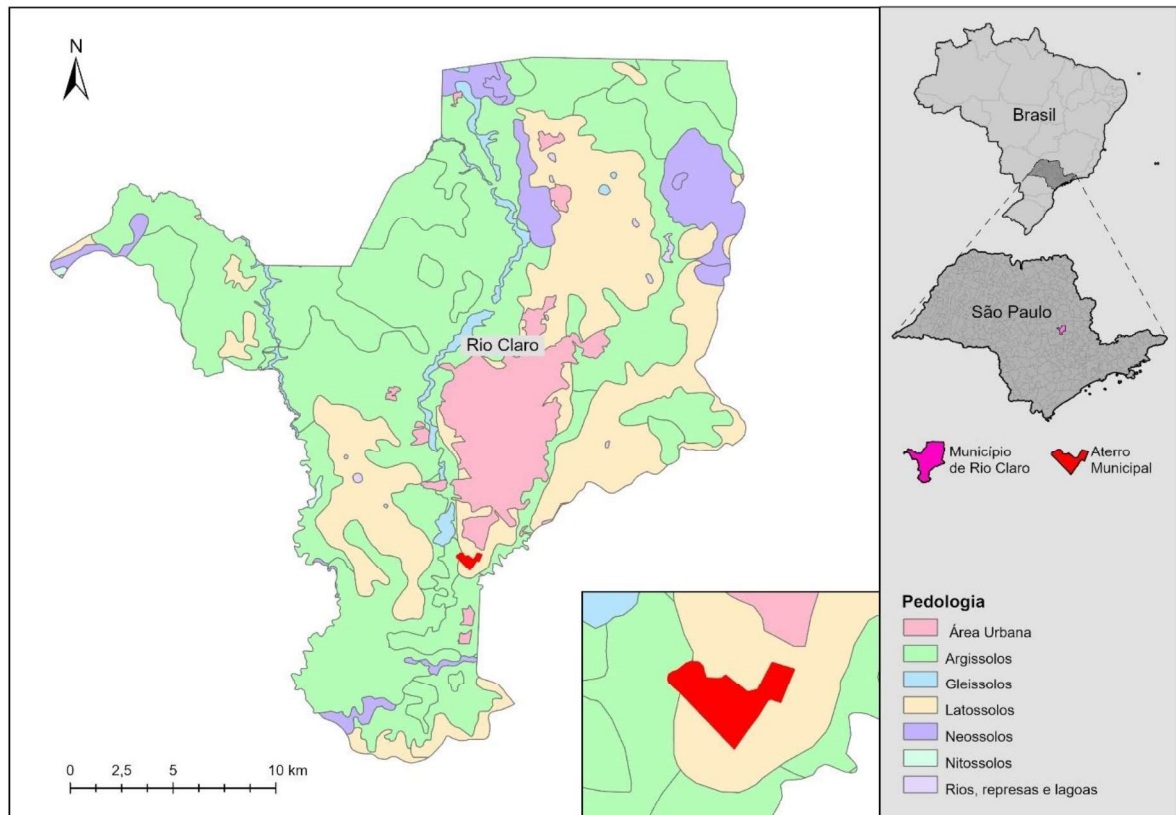
Fonte: Dados de (IBGE, 2022) (GEOSGB, 2006). Autoria própria.

4.3.4 Pedologia

A pedologia vai nos informar o tipo de solo presente na área de estudo. Desta forma, é possível avaliar a susceptibilidade dos solos à erosão, a existência ou não de material de empréstimo para cobertura dos rejeitos aterrados e a capacidade de infiltração e depuração de substâncias contaminantes (ABNT, 1997).

A caracterização pedológica foi baseada nos dados da Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística de SP (Rossi, 2017). O mapeamento pedológico utilizado foi construído a partir da incorporação de 83 novos trabalhos, combinados com a interpretação de ortofotos digitais, o que permitiu maior refinamento na interpretação dos atributos do solo. Essa base é amplamente utilizada para aplicações em engenharia e meio ambiente, incluindo zoneamentos ecológico-econômicos. Foram identificadas cinco classes de solo: Argissolos, Gleissolos, Latossolos, Nitossolos e Neossolos. Para poder visualizar a disposição espacial dessas classes de solo no território foi elaborado o mapa temático abaixo (Figura 8).

Figura 8 - Pedologia do município de Rio Claro.



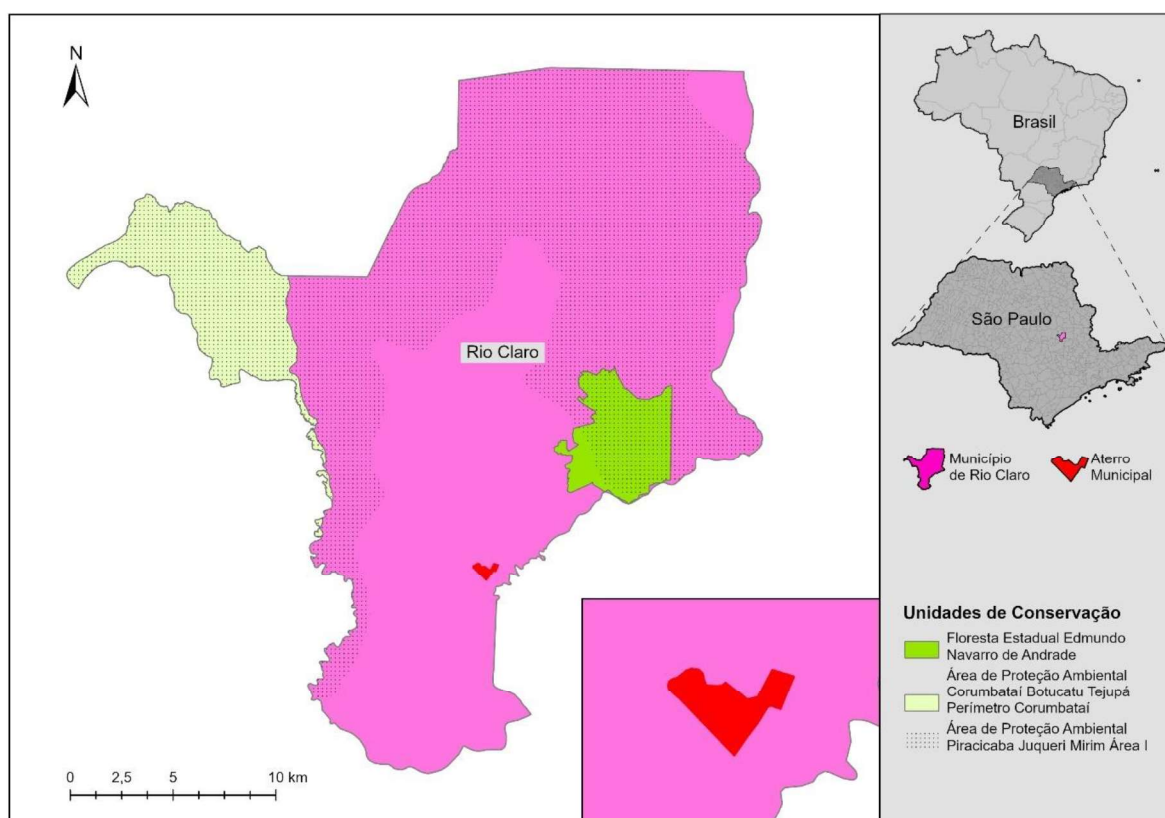
Fonte: Dados de (IBGE, 2022) (Rossi, 2017). Autoria própria.

4.3.5 Unidades de Conservação

O estudo macroscópico da vegetação é importante, uma vez que ela pode atuar de forma favorável na escolha de uma área quanto aos aspectos de redução do fenômeno de erosão, da formação de poeira e transporte de odores (ABNT, 1997).

A presença de Unidades de Conservação (UCs) foi incluída na análise devido à importância dessas áreas para a proteção ambiental. Os dados utilizados foram obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2019) e serviram para mapear as UCs (Figura 9) e posteriormente estabelecer uma zona de amortecimento (ZA) com base na recomendação de (SEMIL), considerando uma distância mínima de 3 km.

Figura 9 - Unidades de Conservação presentes no município de Rio Claro.



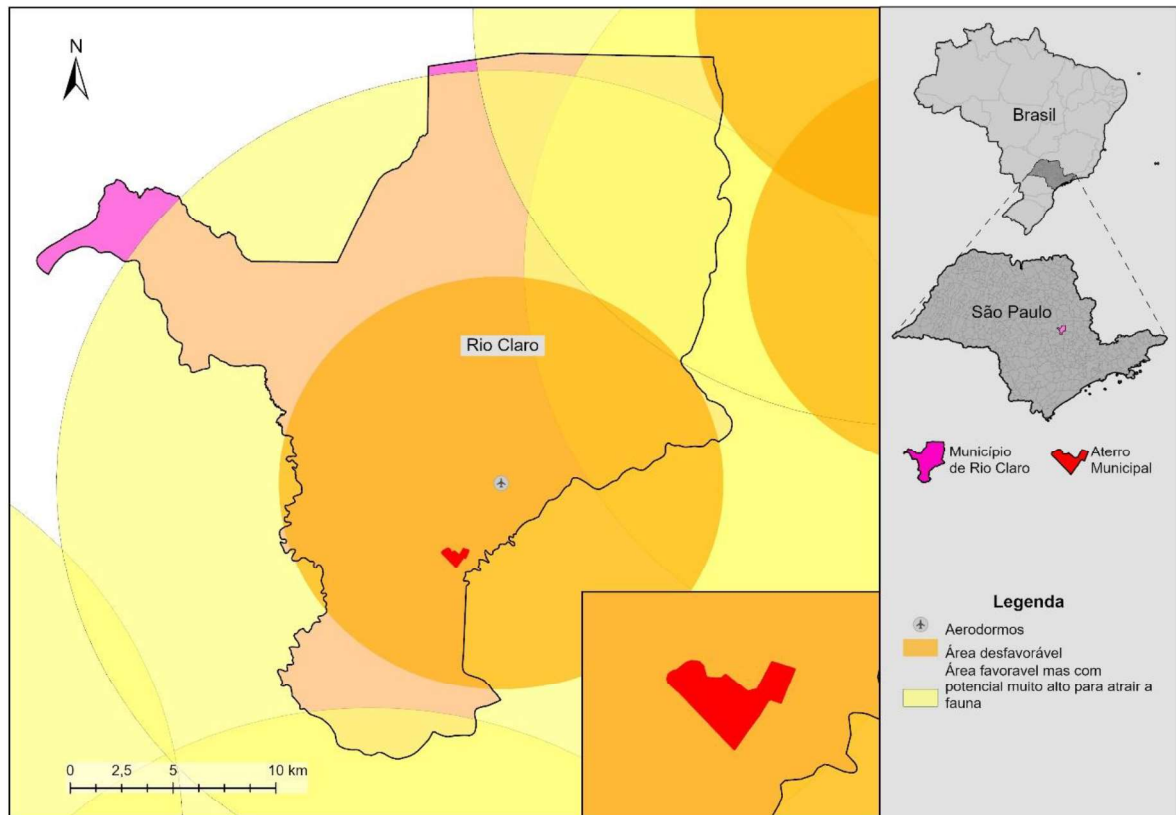
Fonte: Dados de (IBGE, 2022) (ANA, 2019). Autoria própria.

4.3.6 Distância de Aeródromos

Como o aterro sanitário é um empreendimento atrativo de fauna em geral, e devido a preocupação com um possível acidente entre aves e aeronaves, o Plano Básico de Gerenciamento de Risco De Fauna (Brasil, 2018) define que o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos – CENIPA é responsável pela emissão de parecer técnico sobre risco de fauna, e que este parecer técnico, é um instrumento de prevenção de acidentes aeronáuticos, relacionado a empreendimentos/atividades da ASA (Área de Segurança Aeroportuária) dos aeródromos brasileiros.

Dentre os critérios de análise para emissão de parecer técnico pela CENIPA, observa-se que para Aterro Sanitário (recobrimento diário – material inerte), considera-se o potencial atrativo de aves como “muito alto” e parecer técnico “favorável” quando a distância do empreendimento a ser implementado for acima de 10 km até 20 km. E com base nessa definição e em dados do Ministério dos Transportes (MT, 2024), foi elaborado o mapa temático abaixo (Figura 10).

Figura 10 - Aeródromos e suas áreas de influência no município de Rio Claro.



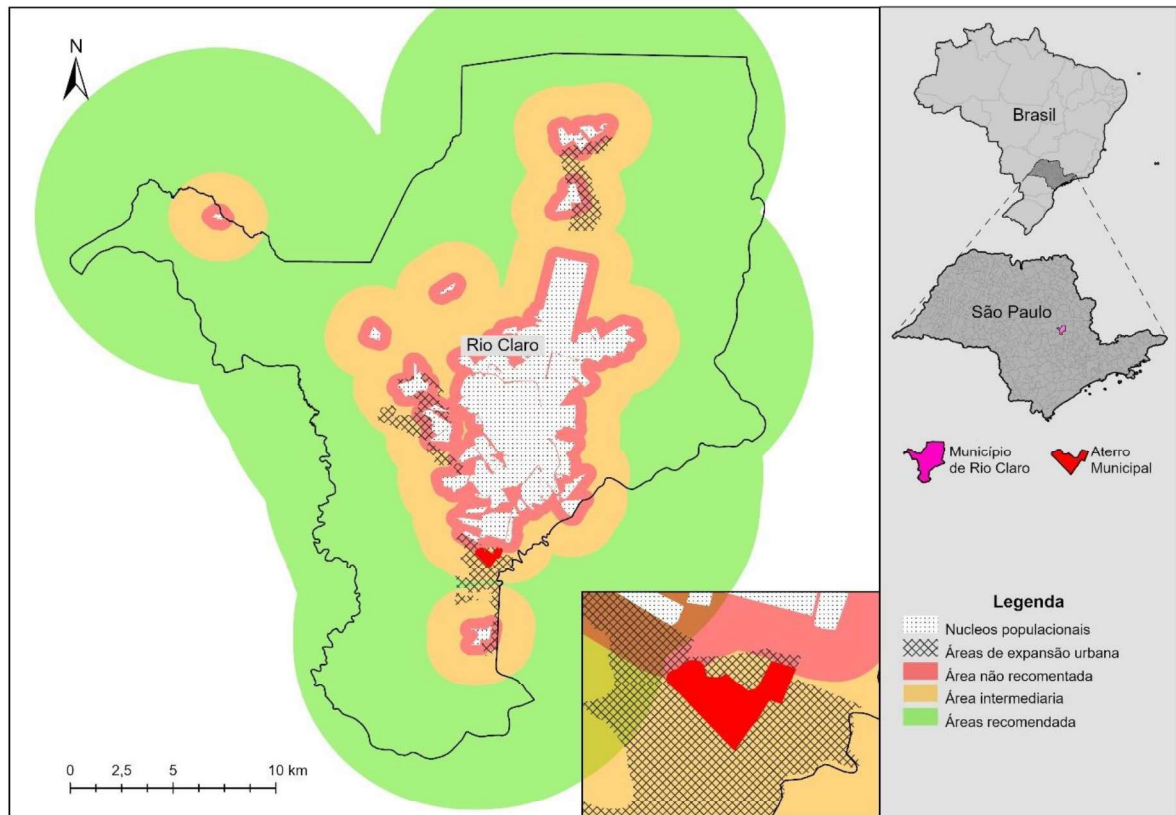
Fonte: Dados de (IBGE, 2022) (MT, 2024). Autoria própria.

4.3.7 Distância de núcleos populacionais

Este critério considera distâncias adequadas para que o aterro sanitário não cause incômodos à população, como odores, fumaça e presença de vetores, mantendo-se, contudo, próximo o suficiente da cidade para minimizar custos de transporte dos resíduos coletados até o local de destinação final (Perroni, 2021).

Para realizar a análise desse critério, o mapa temático (Figura 11) foi elaborado utilizando os dados de (PMRC, 2024) seguindo a especificação de que a área útil do aterro esteja a pelo menos 500 m dos núcleos populacionais (ABNT, 1997). Para evitar desconforto aos moradores, as áreas situadas entre 2.000 e 8.000 m dos núcleos urbanos são consideradas ideais. Embora a distância máxima desejável em relação à área populosa seja inferior a 10.000 m, as limitações geográficas em Rio Claro fazem com que distâncias acima de 8.000 m sejam consideradas inadequadas (Perroni, 2021).

Figura 11 - Núcleos populacionais e suas áreas de influência no município de Rio Claro.



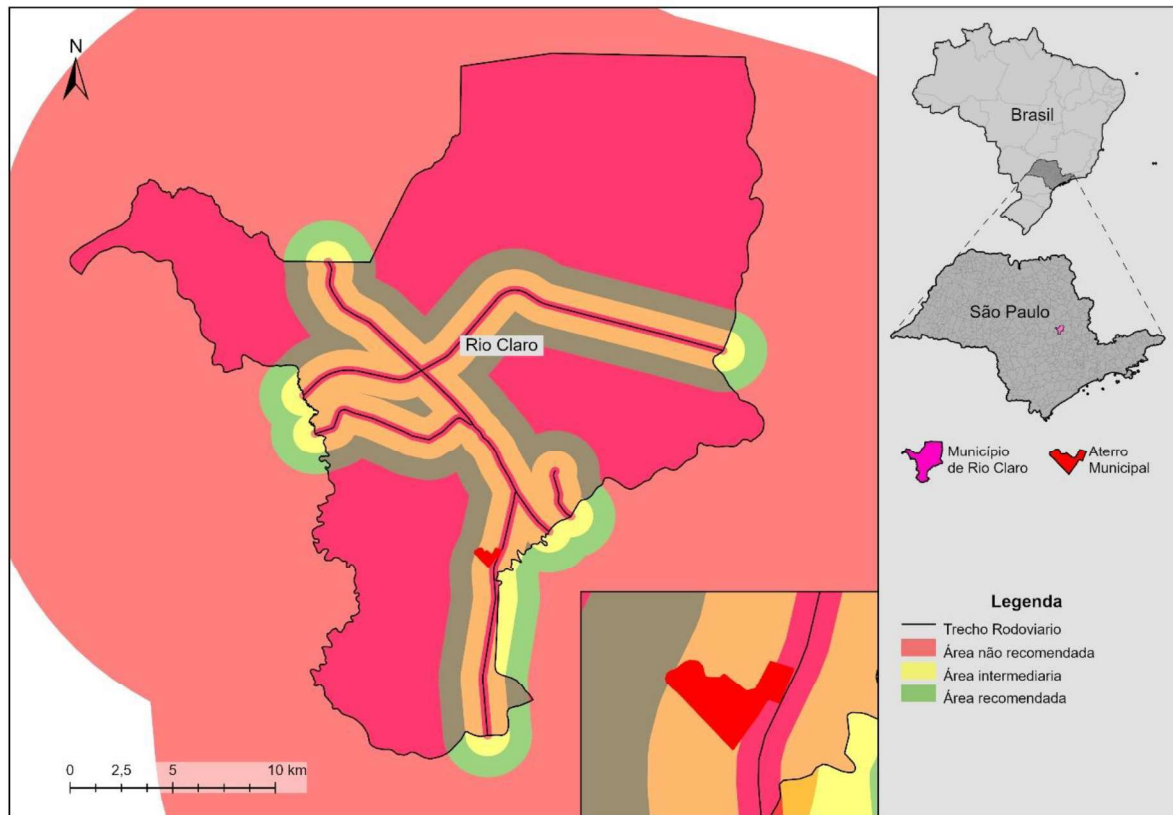
Fonte: Dados de (IBGE, 2022) (PMRC, 2024). Autoria própria.

4.3.8 Distância das vias de acesso (Rodovias)

Devido à preocupação com a viabilidade do empreendimento, como também possíveis transtornos ao tráfego e à população, a distância entre o empreendimento e as vias de acesso, assim como sua qualidade devem ser consideradas (Perroni, 2021).

Os dados para a elaboração desse mapa temático (Figura 12) utilizou-se os dados de (ANA, 2016), seguindo a recomendação de manter a distância mínima de 200 m (Blasius, 2023). É considerado também um distanciamento ótimo entre 1.000 m e 2.000 m, por não estar muito próximo das vias a ponto de atrapalhar o fluxo e afastado o suficiente para não inviabilizar a operação (Perroni, 2021).

Figura 12 - Rodovias e suas áreas de influência no município de Rio Claro.



Fonte: Dados de (IBGE, 2022) (ANA, 2016). Autoria própria.

4.3.9 Distância de APP

As APPs foram mapeadas com base no Novo Código Florestal (Brasil, 2012), sendo definida faixas de proteção de 50 m em torno de nascentes e cursos d'água menores, para reduzir o risco de contaminação. O mapa temático está na parte do critério de hidrologia (Figura 4).

4.4 Atribuição das classes para cada critério

Para cada critério avaliado, foram atribuídas classes de adequação com notas variando de 0 a 1 (Tabela 5), visando a normalização e integração das informações no método AHP. As notas refletem o grau de adequação da área à implantação de um aterro sanitário, conforme descrito a seguir (Tabela 4).

Tabela 4 - Notas de adequação e descrições adotadas.

Cor	Nota	Classes de Adequação
	0	Área muito inadequada
	0,2	Área inadequada
	0,4	Área moderadamente inadequada
	0,6	Área moderadamente adequada
	0,8	Área adequada
	1	Área muito adequada

Fonte: Autoria própria.

Tabela 5 - Notas de adequação para os critérios avaliados.

Critérios	Notas						Referencias
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	
Hidrografia	$d \leq 200$ m	$200 \text{ m} < d \leq 400$ m	$400 \text{ m} < d \leq 600$ m	$600 \text{ m} < d \leq 800$ m	$800 \text{ m} < d \leq 1.000$ m	$d > 1.000$ m	(ABNT, 1997)
Área de Preservação Permanente	$d \leq 50$ m	$50 \text{ m} < d \leq 150$ m	$150 \text{ m} < d \leq 250$ m	$250 \text{ m} < d \leq 350$ m	$350 \text{ m} < d \leq 450$ m	$d > 450$ m	(BRASIL, 2012)
Declividade (%)	$1\% \geq i \geq 30\%$	-	-	-	$20\% < i < 30\%$	$1\% < i < 20\%$	(ABNT, 1997) e (ABNT, 1987)
Geologia	Depósitos Colúvio-Eluvionares e Aluvionares	Formação Pirambóia	Formações Itararé	Formação Tatuí	Formação Irati e Rio Claro	Formações Corumbataí e Serra Geral	(BLASIUS, 2023)
Pedologia	Rios, represas e lagoas e Área Urbana	Gleissolos e Neossolos	-	Nitossolos	-	Argissolos e Latossolos	(BLASIUS, 2023) (PERRONI, 2021)
Unidade de Conservação	Dentro da UC	-	Fora da UC e $d \leq 3$ km (ZA)	-	-	$d > 3$ km	(SEMIL)
Aeródromos	$d \leq 10$ km	-	-	$10 \text{ km} < d \leq 20$ km	-	$d > 20$ km	(MT, 2024)
Núcleos Populacionais	$500 \text{ m} \geq d > 8.000$ m	$500 \text{ m} < d \leq 2.000$ m	-	-	-	$2.000 \text{ m} < d < 8.000$ m	(ABNT, 1997) (PERRONI, 2021)

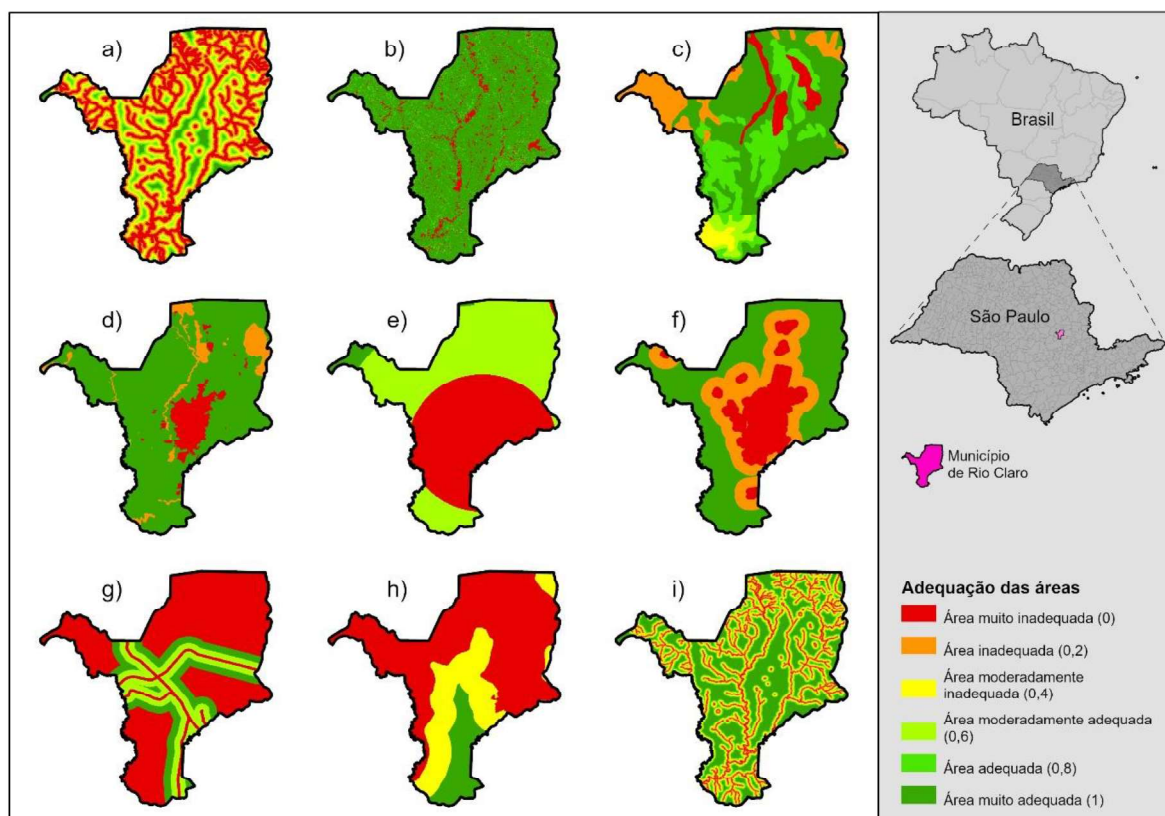
Rodovias	$200\text{ m} \geq d > 2.000\text{ m}$	-	-	$200\text{ m} < d \leq 1.000\text{ m}$	-	$1.000\text{ m} < d \leq 2.000\text{ m}$	(BLASIUS, 2023) (PERRONI, 2021)
----------	--	---	---	--	---	--	------------------------------------

Nota: d – distância; i – inclinação (declividade).

Fonte: Autoria própria.

Ao serem atribuídas essas notas para cada critério, foram elaborados seus respectivos “Mapas de Notas” (Figura 13):

Figura 13 - Mapeamento da adequação das áreas para a localização de aterro sanitário.



Nota: a) Hidrografia; b) Declividade; c) Geologia; d) Pedologia; e) Distância de aeródromos; f) Distância dos núcleos populacionais; g) Distância de rodovias; h) UC e ZA; i) Distância de APP.

Fonte: Autoria própria.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Critérios individuais

Cada critério analisado foi classificado em faixas de adequação que refletem a aptidão do território para a instalação de um aterro sanitário, considerando-se aspectos como impacto ambiental, viabilidade técnica e proximidade de áreas sensíveis.

Ao analisar o espaço que a hidrografia e as faixas de adequação que ocupam o território do município, temos os seguintes resultados (Tabela 6):

Tabela 6 - Hidrografia e áreas para cada intervalo adotado.

Faixa de adequação da área	Descrição	Área (km)	Área (%)
Área muito inadequada (0)	$d \leq 200$ m	170,11	34,10%
Área inadequada (0,2)	$200 \text{ m} < d \leq 400$ m	135,78	27,22%
Área moderadamente inadequada (0,4)	$400 \text{ m} < d \leq 600$ m	94,41	18,92%
Área moderadamente adequada (0,6)	$600 \text{ m} < d \leq 800$ m	56,66	11,36%
Área adequada (0,8)	$800 \text{ m} < d \leq 1.000$ m	25,98	5,21%
Área muito adequada (1)	$d > 1.000$ m	15,94	3,19%
	Total	498,89	100,00%

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que 34% do território (170,11 km²) é classificado como área muito inadequada ($d \leq 200$ m), enquanto apenas 3,19% (15,94 km²) são considerados muito adequados ($d > 1.000$ m). Somando-se as três faixas menos adequadas (0; 0,2 e 0,4), conclui-se que 80,24% do território são áreas não recomendadas para a implantação de aterros. Em contrapartida, as faixas mais adequadas (0,6; 0,8 e 1) representam 19,76% do território.

Essa distribuição reflete a densa malha hidrográfica do município, o que limita a quantidade de áreas apropriadas para a instalação de aterros em faixas de maior adequação. Esse critério é fundamental, uma vez que a presença de corpos d'água próximos aumenta o potencial de infiltração de lixiviados. Dessa forma, as faixas mais distantes dos corpos d'água foram priorizadas para instalação.

Analisando a distribuição da declividade (Tabela 7) classificada com base nas normativas (ABNT, 1997) (ABNT, 1987), observamos que apenas 39,12 km² (8,34%) do território é classificado como área muito inadequado ($1\% \geq i \geq 30\%$) para implantação de um aterro sanitário,

seja ele para resíduos perigosos ou não. A porção de áreas classificadas como adequada ($20\% < i < 30\%$) corresponde a 30,12 km² (6,42%). A maior parte do município, entretanto, é composta por áreas classificadas como sendo uma área muito adequada ($1\% < i < 20\%$) totalizando aproximadamente 436,52 km², o que representa 86,31% da área total. Isso ocorre devido a cidade ser predominantemente ondulada e suave ondulada segundo a classificação da (EMBRAPA, 2018), isso facilita a encontrar áreas com maior aptidão para os aterros sanitários onde o controle de drenagem e a estabilidade para construção do aterro é maior.

Tabela 7 - Distribuição das classes de declividade (ABNT).

Faixa de adequação da área	Descrição	Área (km)	Área (%)
Área muito inadequada (0)	$1\% \geq i \geq 30\%$	39,12	8,34%
Área adequada (0,8)	$20\% < i < 30\%$	30,12	6,42%
Área muito adequada (1)	$1\% < i < 20\%$	436,52	86,31%
	Total	505,77	100,00%

Fonte: Autoria própria.

O município de Rio Claro é formado por nove unidades litoestratigráficas classificadas em faixas de adequação de acordo com suas características e permeabilidade (Tabela 8).

Tabela 8 - Descrição geológica do município de Rio Claro.

FORMAÇÃO	DESCRIÇÃO	ANÁLISE
Grupo Itararé	Encontra-se uma variação dos tipos de rochas, como arenito fino, diamictito, tilito, siltito, lamito, folheto, ritmito, varvito, conglomerado e raras camadas de carvão. Ambiente glácico-marinho. Estes afloramentos ocorrem a sudoeste de Rio Claro.	Por ser composto por uma variedade de rochas, possui zonas de permeabilidade variada; os arenitos finos do grupo são mais permeáveis, enquanto as camadas de siltitos e argilitos diminuem essa permeabilidade.
Formação Tatuí	Composta em sua maioria por rochas de granulação fina, como siltito e siltito arenoso de cor cinza, arenito fino quartzoso, arenito cinza-esverdeado médio a grosso e imaturo calcário e sillexito, ocasional fragmentos e níveis de carvão, nódulos de pirita. Ambiente marinho raso. As exposições da Formação Tatuí ocorrem em faixas mais ou menos contínuas, acompanhando às do Grupo Itararé, na parte sul do município.	Possui permeabilidade intermediária, sendo menos suscetível à infiltração, mas ainda com algum grau de porosidade que permite a passagem de água.
Formação Irati	Encontram-se presentes folhelhos, siltito e argilito cinza escuro, calcário, sillexito, marga e folhelho betuminoso, portados de rochas matriz de fósseis de répteis mesossaurídeos. Ambiente marinho, deposição por decantação	Apresenta características de baixa permeabilidade, devido à predominância de folhelhos e camadas argilosas, o que contribui para a retenção de contaminantes.

	em águas calmas abaixo do nível de ação das ondas. Período de estratificação da coluna de água ou com influência de tempestades. A formação é encontrada na parte sul e sudoeste do município.	
Formação Corumbataí	As unidades presentes são siltito argiloso, folhelho siltico e raro arenito e calcário micrítico e microesparítico, maciço ou laminado, sucedidos por arenito, interlaminação entre arenitos, siltitos e argilitos, com níveis de silexito coquinóide, siltitos e siltitos arenosos, calcário micrítico e marga. Ambiente marinho de costa-aflora a transicional, entre costa-afora e a face de praia. Esta formação é a principal fornecedora de matéria-prima para as indústrias do polo cerâmico da região, além de abranger a área mais expressiva de Rio Claro.	Apresentam baixa permeabilidade e suas camadas argilosas atuam como barreiras naturais contra a infiltração.
Formação Pirambóia	Constituídas por arenitos finos a médio, geometria lenticular bem desenvolvida, ambiente continental eólico com intercalações fluviais.	Caracteriza-se por sua alta permeabilidade devido à estrutura de seus grãos, o que facilita a infiltração de água e aumenta a possibilidade de contaminação por substâncias lixiviadas.
Formação Serra Geral	Basalto e basalto-andesito de filiação tholeítica, riolito e riodacito. Intercala camada de arenito, litoarenito e arenito vulcânico.	Tende a ter baixa permeabilidade devido à natureza compacta das rochas vulcânicas, embora a presença de arenitos intercalados possa aumentar a infiltração em alguns pontos específicos.
Rio Claro	Cascalho, areia, argila, lamito. Ambiente continental fluvial meandrante. Abrange a área urbana do município, além da parte oeste e norte/nordeste.	Apresenta uma estrutura mais variada; a presença de argila nas camadas diminui a permeabilidade em certas regiões, mas as áreas com predominância de areia e cascalho são mais permeáveis.
Depósitos Colúvio-Eluvionares	Sedimentos arenoso, arenoso-argiloso e conglomerático.	Têm permeabilidade variável dependendo da composição local de argila e areia, com áreas mais argilosas sendo menos permeáveis.
Depósitos Aluvionares	Sedimentos aluvionares inconsolidados constituídos por seixos, areias finas a grossas, com níveis de cascalhos, lentes de material silto-argiloso e restos de matéria orgânica, relacionados a planícies de inundação, barras de canal e canais fluviais atuais. Localmente podem ocorrer matacões.	São altamente permeáveis, especialmente nas áreas associadas a planícies de inundação, favorecendo a infiltração de água e contaminantes.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em (Prefeitura Municipal de Rio Claro - SP, 2014)

Com base na Tabela 9, nota-se que as formações de maior adequação são a Corumbataí e a Serra Geral, que ocupam 238,72 km² (47,85%) do território e foram classificadas como áreas muito adequadas. Em seguida, as formações Irati e Rio Claro cobrem 127,31 km² (25,52%) do município e foram consideradas áreas adequadas. Já as áreas classificadas como inadequadas, como a Formação Pirambóia, ocupam apenas 66,40 km² (13,31%). Outras formações rochosas somadas representam aproximadamente 66,47 km² (13,32%) do território não representando dificuldades para se encontrar áreas aptas para a implantação dos aterros.

A predominância de áreas bem classificadas, totalizando 73,37% do território (Formações Irati e Rio Claro com nota 0,8 e Formações Corumbataí e Serra Geral com nota 1), indica uma maior disponibilidade de locais adequados, caracterizados pela baixa sensibilidade à permeabilidade, devido à sua capacidade de retenção de água e baixa percolação de lixiviados.

Tabela 9 - Distribuição das formações geológicas.

Faixa de adequação da área	Descrição	Área (km)	Área (%)
Área muito inadequada (0)	Depósitos Colúvio-Eluvionares e Aluvionares	35,75	7,17%
Área inadequada (0,2)	Formação Pirambóia	66,40	13,31%
Área moderadamente inadequada (0,4)	Formações Itararé	13,87	2,78%
Área moderadamente adequada (0,6)	Formação Tatuí	16,85	3,38%
Área adequada (0,8)	Formação Irati e Rio Claro	127,31	25,52%
Área muito adequada (1)	Formações Corumbataí e Serra Geral	238,72	47,85%
	Total	498,89	100,00%

Fonte: Autoria própria.

Como base nas classes pedológicas encontradas no município foi feita uma breve descrição das características de cada unidade pedológica (Tabela 10):

Tabela 10 - Descrição pedológica do município de Rio Claro.

CLASSES	DESCRIÇÃO	ANÁLISE
Argissolos	São solos minerais que se caracterizam pela presença de um horizonte B textural com alto teor de argila, baixa atividade e baixa saturação por bases ou caráter alítico. Apresentam uma clara transição de textura, com aumento de argila do horizonte superficial A para o horizonte Bt, e essa transição pode ser abrupta, gradual ou clara. Possuem profundidade variável e são geralmente bem drenados, com coloração predominantemente avermelhada ou amarelada, podendo, em alguns casos, apresentar tons acinzentados ou brunados. A textura vai de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no	Apresentam baixa permeabilidade devido ao alto teor de argila no horizonte Bt, que dificulta o movimento de água. Essa característica limita o escoamento superficial e favorece a retenção de água na camada superior, contribuindo para uma drenagem mais lenta, especialmente em profundidades maiores.

	horizonte Bt, refletindo o incremento de argila com a profundidade.	
Gleissolos	São solos hidromórficos de origem mineral, caracterizados pela saturação permanente ou periódica de água, exceto quando drenados artificialmente. Essa saturação pode ocorrer por estagnação interna ou por fluxo lateral, e a água pode alcançar a superfície por ascensão capilar. Devido ao ambiente redutor, praticamente sem oxigênio dissolvido, apresentam forte gleização, resultado da saturação constante ou prolongada e da demanda de oxigênio pela atividade biológica. Com textura arenosa nos horizontes superficiais, seguida de um horizonte glei de textura mais fina, os gleissolos se formam em sedimentos estratificados ou não, frequentemente em áreas próximas a cursos d'água, em materiais colúvio-aluviais, ou em terrenos planos como terraços fluviais, lacustres ou marinhos. Podem também se desenvolver em encostas com surgência de água subterrânea	São solos hidromórficos, frequentemente saturados por água. Sua permeabilidade é baixa, e a presença de água estagnada ou ascendente resulta em solos que retêm umidade por longos períodos. A estrutura estratificada e a textura mais fina abaixo da camada arenosa superficial limitam a capacidade de infiltração de água, tornando-os suscetíveis à saturação.
Latossolos	São solos altamente intemperizados e evoluídos, formados a partir de intensas transformações no material mineral. Eles apresentam baixa concentração de minerais primários e secundários resistentes ao intemperismo. Em termos de drenagem, variam de fortemente a bem drenados, mas alguns podem mostrar cores mais pálidas, com drenagem moderada ou imperfeita, indicando condições de formação com algum nível de saturação hídrica. A fração de argila nos latossolos tende a aumentar gradualmente com a profundidade, ou a se manter constante ao longo do perfil, e a mobilidade da argila no horizonte B é geralmente baixa.	Variam de moderadamente a bem drenados, o que significa que têm uma permeabilidade média a alta, especialmente em áreas onde o solo é mais profundo e bem estruturado. A mobilidade da argila é baixa, e as cores indicativas de boa drenagem reforçam a capacidade desses solos de permitir a passagem da água, exceto onde apresentam coloração pálida, que indica drenagem imperfeita.
Neossolos	São solos formados por material mineral ou por uma camada superficial fina de material orgânico, sem alterações significativas em relação ao material de origem, devido à baixa intensidade dos processos pedogenéticos.	Por não apresentarem grande evolução em relação ao material original, os neossolos podem ter diferentes níveis de permeabilidade dependendo da textura inicial do material. Solos mais arenosos entre os neossolos terão alta permeabilidade, enquanto os de composição mais fina terão baixa permeabilidade.
Nitossolos	São solos minerais de textura argilosa ou muito argilosa, caracterizados por um horizonte B nítico, sem o aumento acentuado de argila típico dos Argissolos. Apresentam transições claras ou graduais entre os horizontes e subhorizontes, são profundos, bem drenados e variam de coloração entre vermelho e brunado	Têm uma textura argilosa ou muito argilosa e um horizonte B nítico, o que os torna menos permeáveis em comparação aos solos arenosos. Sua boa drenagem, no entanto, permite que a água circule razoavelmente bem, ainda que o alto teor de argila limite a infiltração em alguns casos, garantindo um solo bem drenado, mas não excessivamente permeável.

Fonte: Elaborado com base em (EMBRAPA, 2006).

O município apresenta cinco classes pedológicas (Tabela 11), com destaque para as áreas classificadas como muito adequada (Argissolos e Latossolos) que ocupam 414,44 km², correspondendo a 83,07% do território. Em seguida, as áreas muito inadequadas (Rios, represas e lagoas e Área Urbana) que ocupam 43,21 km², ou 8,66% da área total. As demais classes (Gleissolos e Neossolos com nota 0,2 e Nitossolos com nota 0,6), têm uma representatividade menor, somando apenas 41,25 km², o que equivale a 8,27% do território.

A presença de solos predominantemente argilosos em Rio Claro - SP representa uma vantagem para a escolha de locais para a instalação de um aterro sanitário, devido à alta capacidade desses solos de reter água e à baixa permeabilidade. Essas propriedades são ideais para a construção de aterros, pois a impermeabilidade natural dos solos argilosos ajuda a conter os lixiviados, reduzindo o risco de contaminação das águas subterrâneas.

Tabela 11 - Distribuição das classes pedológicas.

Faixa de adequação da área	Descrição	Área (km)	Área (%)
Área muito inadequada (0)	Rios, represas e lagoas e Área Urbana	43,21	8,66%
Área inadequada (0,2)	Gleissolos e Neossolos	40,67	8,15%
Área moderadamente adequada (0,6)	Nitossolos	0,57	0,11%
Área muito adequada (1)	Argissolos e Latossolos	414,44	83,07%
	Total	498,89	100,00%

Fonte: Autoria própria.

Em Rio Claro, há três Unidades de Conservação (UCs) de uso sustentável, que visam preservar áreas de relevância ambiental sob administração especial e com garantias de proteção. As UCs de uso sustentável permitem atividades que conciliam conservação e uso responsável dos recursos naturais. As três UCs presentes no município são: 1. Unidade de Conservação de Uso Sustentável, a Floresta Estadual “Edmundo Navarro de Andrade” – FEENA; 2. APA Piracicaba/Juqueri-Mirim – Área I; 3. APA Corumbataí/Botucatu/Tejupá – Perímetro Corumbataí.

Na Tabela 12 se tem que essas unidades somam 317,97 km², representando 63,73% do território e sendo classificadas como áreas muito inadequadas para a instalação de aterros sanitários. As Zonas de Amortecimento (ZA) dessas UCs ocupam 124,47 km² (24,95%),

considerados moderadamente inadequados. Com apenas 56,46 km² (11,32%) do território fora das UCs e ZAs, classificados como áreas muito adequadas, há uma significativa restrição na disponibilidade de locais apropriados para a instalação do aterro sanitário.

Tabela 12 - Distribuição das UC's e ZA's de Rio Claro e áreas de adequação.

Faixa de adequação da área	Descrição	Área (km)	Área (%)
Área muito inadequada (0)	Dentro da UC	317,97	63,73%
Área moderadamente inadequada (0,4)	Fora da UC e $d \leq 3$ km (ZA)	124,47	24,95%
Área muito adequada (1)	$d > 3$ km	56,46	11,32%
	Total	498,89	100,00%

Fonte: Autoria própria.

O município de Rio Claro abriga um aeroclube, situado na Av. Pres. Kennedy, 601 - Jardim Quitandinha, Rio Claro - SP, 13501-270, e está sob influência dos aeródromos de cidades próximas. Observa-se (Tabela 13) que apenas 12,22 km² (2,45%) do município encontra-se fora das áreas de atração de aves, enquanto 265,17 km² (53,15%) abrange áreas favoráveis à instalação, mas dentro das zonas de alto potencial de atração de aves, e 221,51 km² (44,40%) correspondem às áreas desfavoráveis para a implantação de aterros sanitários.

Tabela 13 - Distribuição das áreas de influência dos aeródromos.

Faixa de adequação da área	Descrição	Área (km)	Área (%)
Área muito inadequada (0)	$d \leq 10$ km	221,51	44,40%
Área moderadamente adequada (0,6)	$10\text{km} < d \leq 20$ km	265,17	53,15%
Área muito adequada (1)	$d > 20$ km	12,22	2,45%
	Total	498,89	100,00%

Fonte: Autoria própria.

Em relação aos núcleos populacionais (Tabela 14), observa-se que 102,42 km² (20,53%) do território são classificados como áreas muito inadequadas para a instalação de aterros sanitários, enquanto 132,44 km² (26,55%) são consideradas inadequadas. As áreas muito adequadas, situadas entre 2.000 e 8.000 m de distância dos núcleos populacionais, representam a maior parcela do território, com 264,03 km², ou 52,92%, indicando uma maior disponibilidade de locais com baixo potencial de gerar incômodos à população.

Tabela 14 - Distribuição das áreas de influências dos núcleos populacionais.

Faixa de adequação da área	Descrição	Área (km)	Área (%)
Área muito inadequada (0)	$500\text{ m} \geq d > 8.000\text{ m}$	102,42	20,53%
Área inadequada (0,2)	$500\text{ m} < d \leq 2.000\text{ m}$	132,44	26,55%
Área muito adequada (1)	$2.000\text{ m} < d < 8.000\text{ m}$	264,03	52,92%
	Total	498,89	100,00%

Fonte: Autoria própria.

As áreas relacionadas às rodovias (Tabela 15) em Rio Claro possuem 341,93 km², o que representa 68,54% do território, sendo classificadas como muito inadequadas para a instalação de aterros sanitários. As áreas moderadamente adequadas, ocupam 83,63 km² (16,76%). Já as áreas consideradas muito adequadas, correspondem a 73,33 km², ou 14,70% do território. Dessa forma, observa-se uma limitação significativa na disponibilidade de áreas apropriadas para a instalação do aterro sanitário, devido à alta porcentagem das áreas classificadas como muito inadequadas em relação às rodovias.

Tabela 15 - Distribuição das áreas de influência das rodovias.

Faixa de adequação da área	Descrição	Área (km)	Área (%)
Área muito inadequada (0)	$200\text{ m} \geq d > 2.000\text{ m}$	341,93	68,54%
Área moderadamente adequada (0,6)	$200\text{ m} < d \leq 1.000\text{ m}$	83,63	16,76%
Área muito adequada (1)	$1.000\text{ m} < d \leq 2.000\text{ m}$	73,33	14,70%
	Total	498,89	100,00%

Fonte: Autoria própria.

Ao analisar a relação entre as Áreas de Preservação Permanente (APPs) (Tabela 16), observamos que 47,36 km² (9,49%) do território é classificado como áreas muito inadequadas ($d \leq 50\text{ m}$) para a instalação de aterros. E somando as faixas de classificadas como áreas inadequadas ($50\text{ m} < d \leq 150\text{ m}$) e áreas moderadamente inadequadas ($150\text{ m} < d \leq 250\text{ m}$) temos um total de 160,19 km² (32,11%) assim como quando somamos as áreas classificadas como áreas moderadamente adequadas ($250\text{ m} < d \leq 350\text{ m}$) e áreas adequadas ($350\text{ m} < d \leq 450\text{ m}$).

Apenas 165,14 km² (33,10%) do território é classificado como áreas muito adequadas ($d > 450\text{ m}$) para essa finalidade, demonstrando a uma baixa quantidade de áreas apropriadas para a implantação de aterros.

Tabela 16 – APP e áreas para cada intervalo adotado.

Faixa de adequação da área	Descrição	Área (km)	Área (%)
Área muito inadequada (0)	$d \leq 50 \text{ m}$	47,36	9,49%
Área inadequada (0,2)	$50 \text{ m} < d \leq 150 \text{ m}$	83,47	16,73%
Área moderadamente inadequada (0,4)	$150 \text{ m} < d \leq 250 \text{ m}$	76,73	15,38%
Área moderadamente adequada (0,6)	$250 \text{ m} < d \leq 350 \text{ m}$	67,89	13,61%
Área adequada (0,8)	$350 \text{ m} < d \leq 450 \text{ m}$	58,31	11,69%
Área muito adequada (1)	$d > 450 \text{ m}$	165,14	33,10%
	Total	498,89	100,00%

Fonte: Autoria própria.

5.2 Multicritérios

Após normalizar todos os “mapas de notas” (Figura 13) para cada critério, elaborou-se uma matriz de julgamento par a par (exemplificado na Tabela 1), para assim, obter o peso de importância de cada critério, com isso, possibilitando determinar o nível de aptidão das áreas resultantes, conforme apresentado a seguir.

Foi necessário atribuir valores de intensidade de importância (com base na Tabela 2) para os critérios analisados: Hidrografia, Declividade, Geologia, Pedologia, Unidades de Conservação, Distância de Aeródromos, Núcleos Populacionais, Rodovias e Áreas de Proteção Permanente, resultando na matriz de julgamento abaixo (Tabela 17).

Tabela 17 - Matriz de julgamento final.

		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Hidrografia	A	1,00	5,00	5,00	6,00	7,00	2,00	9,00	6,00	9,00
Declividade	B	0,20	1,00	3,00	4,00	3,00	0,25	6,00	5,00	6,00
Geologia	C	0,20	0,33	1,00	2,00	4,00	0,20	6,00	5,00	6,00
Pedologia	D	0,17	0,25	0,50	1,00	4,00	0,25	4,00	4,00	5,00
Distância de APP	E	0,14	0,33	0,25	0,25	1,00	0,20	4,00	3,00	3,00
Unidades de Conservação	F	0,50	4,00	5,00	4,00	5,00	1,00	8,00	6,00	8,00
Distância de rodovias	G	0,11	0,17	0,17	0,25	0,25	0,13	1,00	0,33	0,33
Distância de núcleos populacionais	H	0,17	0,20	0,20	0,25	0,33	0,17	3,00	1,00	3,00
Distância de aeroporto/aeródromo	I	0,11	0,17	0,17	0,20	0,33	0,13	3,00	0,33	1,00

Fonte: Autoria própria.

Após definida a matriz de julgamento, foi calculado os seguintes indicadores AHP:

- $\lambda_{\text{Max}} = 10,15$
- $\text{CI} = 0,14$
- $\text{CR} = 0,099$ (caracterizando a matriz como consistente)

Com a matriz de julgamento se obteve o peso de cada critério (Tabela 18) para assim ser aplicado no ArcGis Pro e formar o mapa de áreas adequadas.

Tabela 18 - Prioridades (pesos) finais dos critérios.

Critérios		Prioridade (peso)	%
Hidrografia	A	0,32	31,61%
Declividade	B	0,13	13,40%
Geologia	C	0,10	10,38%
Pedologia	D	0,08	8,17%
Distância de APP	E	0,05	5,14%
Unidades de Conservação	F	0,23	23,28%
Distância de rodovias	G	0,02	1,81%
Distância de núcleos populacionais	H	0,04	3,71%
Distância de Aeroporto/Aeródromo	I	0,02	2,50%
Total		1,00	100,00%

Fonte: Autoria própria.

Os critérios de Hidrografia (31,61%) e Unidades de Conservação (23,28%) foram os de maior relevância na análise multicritério, totalizando 54,89% da ponderação geral. Essa alta prioridade reflete a importância ambiental desses critérios e as legislações que estabelecem restrições rigorosas para a implantação de aterros em áreas sensíveis à contaminação e degradação ambiental.

Critérios como Declividade (13,40%), Geologia (10,38%) e Pedologia (8,17%) receberam uma prioridade intermediária. Esses fatores, embora com pesos médios, são essenciais para a viabilidade técnica e segurança do aterro, pois terrenos com a declividade adequada e solos com baixa permeabilidade são indispensáveis para minimizar a percolação de contaminantes.

Os demais critérios — Distância de Rodovias (1,81%), Distância de Núcleos Populacionais (3,71%) e Distância de Aeroporto/Aeródromo (2,50%) — tiveram pesos menores devido à flexibilidade de uso dessas áreas em relação à localização de aterros. O critério de Distância de

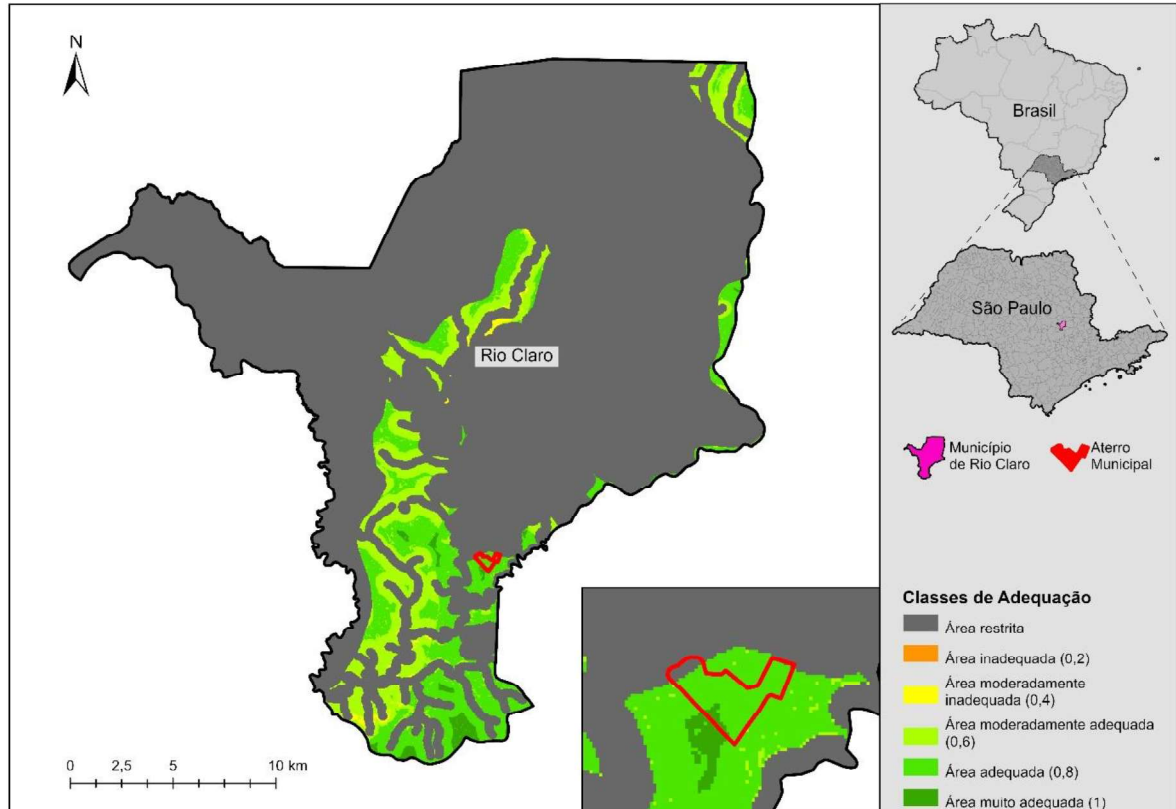
APP (5,14%), embora importante para a preservação ambiental, foi classificado com menor peso, pois sua influência está diretamente relacionada à proximidade com corpos hídricos e Unidades de Conservação, que já possuem altos índices de restrição.

Após a atribuição desses pesos, utilizou-se a ferramenta “Calculadora Raster” para gerar o mapa de áreas adequadas, seguido pela exclusão das áreas restritas por legislações específicas:

- Unidades de Conservação: as normas ambientais proíbem a instalação de aterros em áreas de proteção integral.
- Distância de Recursos Hídricos: a norma (ABNT, 1997) determina uma distância mínima de 200 metros para aterros próximos a corpos d'água.
- Distância de Núcleos Populacionais: conforme a (ABNT, 1997), aterros devem ser instalados a uma distância mínima de 500 metros de áreas habitacionais.

Essas restrições legais foram aplicadas ao modelo final para delimitar as áreas viáveis para instalação do aterro, assegurando que apenas zonas dentro das condições ambientais e técnicas recomendadas fossem consideradas, resultando no mapa abaixo (Figura 14) e no apêndice I.

Figura 14 - Distribuição das classes de adequação em Rio Claro.



Fonte: Autoria própria.

Nota-se que 85,64% do território do município de Rio Claro é ocupado por áreas restritas, seguida das área classificadas como adequada (nota 0,8) ocupando 7,16% do território, depois temos as áreas moderadamente adequadas (0,6) ocupando 6,27%, e por fim as demais classes somadas representam apenas 0,94%, sendo consideradas insignificantes.

Observa-se (Tabela 19) que o aterro sanitário já existente ocupa uma porção da área restrita mas que o restante está em locais com alta taxa de adequação.

Tabela 19 - Distribuição das classes de adequação final para áreas de Rio Claro.

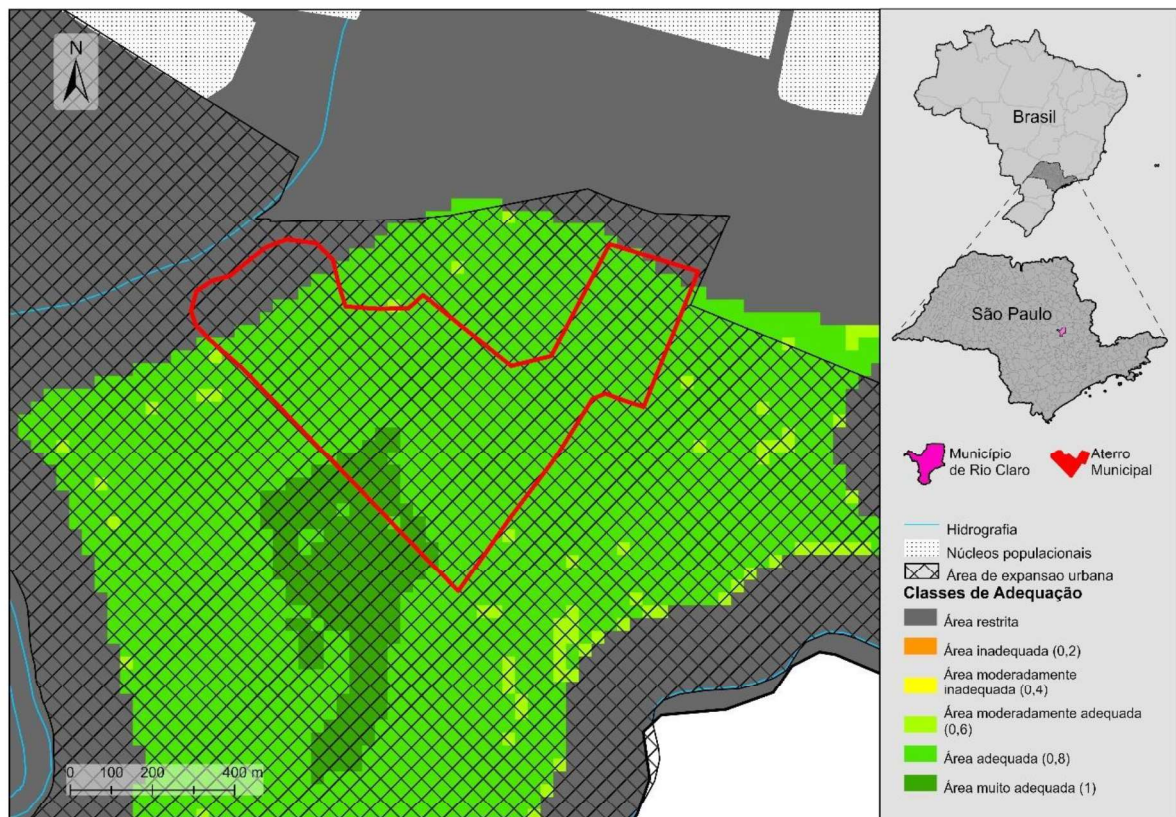
Faixa de adequação da área	Área (km)	Área (%)
Área restrita	432,21	85,64%
Área inadequada (0,2)	0,01	0,00%
Área moderadamente inadequada (0,4)	1,74	0,34%
Área moderadamente adequada (0,6)	31,65	6,27%
Área adequada (0,8)	36,11	7,16%
Área muito adequada (1)	2,98	0,59%
Total	504,70	100,00%

Fonte: Autoria própria.

5.3 Comparando os resultados obtidos com o local do aterro em operação

Ao comparar os resultados obtidos com o local atual do aterro sanitário em operação, observa-se que parte da área do aterro (Figura 15) encontra-se em locais que, com os critérios adotados neste estudo, seriam classificados como inadequados devido à proximidade de corpos hídricos e de áreas habitacionais. Essa localização pode elevar o risco de contaminação ambiental e causar incômodos à população circundante.

Figura 15 - Distribuição das classes de adequação como foco no aterro sanitário de Rio Claro.



Fonte: Autoria própria.

A análise dos critérios utilizados no Relatório Ambiental Preliminar (1999), percebe-se que o aterro foi posicionado com base em critérios de viabilidade técnica da época. Embora parte do local escolhido esteja em áreas que hoje são consideradas restritas, a justificativa da época é plausível já que se teve um aumento das áreas urbanas e consequentemente de suas áreas de expansão. O (RAP, 1999) justifica a escolha considerando fatores como a distância de mais de 500 metros das residências rurais, a existência de sistemas de proteção para águas superficiais e subterrâneas, e a presença de solos adequados para cobertura e impermeabilização.

Além disso, o relatório aponta que a área destinada ao aterro estava ocupada por plantação de cana-de-açúcar, sem remanescentes significativos de vegetação nativa. As condições físicas e a direção predominante dos ventos foram igualmente citadas como fatores que minimizam impactos, como odores e desvalorização imobiliária, garantindo que as residências vizinhas não fossem afetadas devido às distâncias de segurança e às práticas de cobertura e queima de gases.

Esse estudo, voltado também para a expansão do aterro, aponta que a localização escolhida para os aterros de resíduos domiciliares e industriais, contígua às disposições anteriores e à área atual, reduz os impactos ambientais, uma vez que as novas disposições seriam ambientalmente seguras, e as antigas, passíveis de remediação. O aterro de resíduos domiciliares teve uma vida útil estimada de 16,2 anos, enquanto o aterro de resíduos industriais foi projetado para 10,5 anos de operação (RAP, 1999).

De acordo com o PMGIRS-RC (2014), o aterro municipal passou por um novo processo de ampliação, com a proposta de aumentar a vida útil do aterro sanitário de resíduos domiciliares em mais 7 anos. Também foram previstas novas valas para resíduos industriais, com construção planejada em área contígua ao aterro existente. A prefeitura já havia solicitado a licença prévia para um novo empreendimento, com previsão de construção de 21 valas e estimativa de vida útil de 45 anos. Mais recentemente, a (CETESB, 2024) emitiu a licença prévia para uma nova ampliação do aterro, visando o manejo adequado dos resíduos sólidos domiciliares, comerciais e industriais não perigosos, com o objetivo de otimizar o uso do terreno e prolongar a vida útil do empreendimento.

Dado o histórico de expansões recorrentes, é provável que, futuramente, o perímetro da área destinada ao aterro precise ser ampliado. A Figura 15 sugere que a expansão deve considerar o crescimento urbano, especialmente evitando as direções nordeste e sudoeste, onde a proximidade com áreas habitacionais e corpos hídricos eleva o risco de contaminação e incômodo à população. Em contrapartida, as áreas ao sul e sudeste, com menor densidade populacional e restrições ambientais, seriam opções mais viáveis para a expansão.

A aplicação do Método AHP não só facilita a escolha de novas localizações para aterros, como também oferece uma abordagem eficaz para a expansão de aterros já existentes, ao integrar variáveis ambientais, sociais e técnicas no processo decisório. Com a expansão urbana acelerada, torna-se essencial revisar as áreas expansão de aterros para assegurar que estejam alinhadas com as diretrizes atuais de preservação ambiental e segurança sanitária. A metodologia multicritério proposta neste estudo proporciona, portanto, maior flexibilidade e adaptação às mudanças no contexto urbano, minimizando impactos negativos e assegurando maior adequação ambiental e social.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho aplicou o Método de Análise Hierárquica (AHP) para avaliar e identificar áreas adequadas para a implantação de aterros sanitários no município de Rio Claro - SP, utilizando como ferramentas o AHP e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Combinando critérios ambientais, técnicos e sociais, o estudo estabeleceu uma base para a tomada de decisão sustentável no contexto da gestão de resíduos sólidos, buscando minimizar os impactos ambientais e atender às normas e exigências legais.

A metodologia aplicada permitiu avaliar uma ampla gama de critérios, como hidrografia, declividade, geologia, proximidade de aeródromos, núcleos populacionais, rodovias e áreas de preservação permanente (APPs), além da presença de Unidades de Conservação (UCs). Esses critérios foram ponderados para selecionar as áreas com menor potencial de impacto ambiental, maior viabilidade técnica e proximidade estratégica de áreas de interesse.

Essa análise comparativa reforça a eficácia do AHP como uma ferramenta de planejamento que possibilita auxiliar na escolha da localização de aterros sanitários e ampliação de aterros já implantados. A possibilidade de escolher esses locais com base nesta metodologia pode contribuir para uma gestão de resíduos mais eficiente e ambientalmente responsável, auxiliando gestores públicos na escolha de áreas com maior potencial de adequação e aceitação social. O aterro sanitário de Rio Claro foi implantado com base em um conjunto de critérios que, na época, se mostrou eficaz. No entanto, não apenas novas áreas que podem apresentar maior adequação, com menor interferência em recursos hídricos e em zonas habitacionais, mas também é possível identificar direções ideais para futuras ampliações do aterro existente.

Em suma, este estudo demonstra que o uso do AHP em conjunto com ferramentas de SIG oferece uma abordagem prática, científica e de baixo custo para a localização de aterros sanitários, promovendo a sustentabilidade e minimizando os impactos ambientais. Contudo, embora eficaz, essa metodologia não é suficiente de forma isolada. Para atestar a viabilidade real das áreas indicadas, é essencial realizar visitas técnicas aos locais previamente selecionados pelo método, conduzindo uma análise de campo detalhada. Dessa forma, o uso de multicritérios serve como uma primeira etapa de restrição das áreas potenciais, reduzindo o esforço e o custo na busca de locais adequados, que devem então ser avaliados *in loco* para garantir que atendam plenamente às exigências de segurança ambiental e operacional.

É esperado que essa metodologia possa ser replicada em outros municípios e regiões, contribuindo para a implementação de políticas públicas voltadas à gestão eficiente de resíduos sólidos e à proteção ambiental. Isso permitirá uma gestão urbana alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) de 2030, promovendo o desenvolvimento sustentável e a qualidade de vida nas comunidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDO, H. G. et al. Sanitary municipal landfill site selection by integration of GIS and multi-criteria techniques for environmental sustainability in Safita area, Tartous governorate, Syria. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 11, 2023. p. 30834-30854.

ABNT. ABNT NBR 10.157: Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, construção e operação, Rio de Janeiro, Dez de 1987. Acesso em: 04 de Jul. de 2024.

ABNT. ABNT NBR 8.419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, Rio de Janeiro, Abr. de 1992. Acesso em: 04 de Jul. de 2024.

ABNT. ABNT NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação, Rio de Janeiro, Jun. de 1997. Disponível em: <<https://engcivil20142.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/04/nbr-13896-aterros-de-resc3adduos-nc3a3o-perigosos.pdf>>. Acesso em: 28 de Mai. de 2024.

ABNT. ABNT NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<https://analiticaqmcredutos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>>. Acesso em: 28 de Mai. de 2024.

ABNT. ABNT NBR 15.849: Resíduos sólidos urbanos - Aterros sanitários de pequeno porte - Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento, Rio de Janeiro, 2010.

ANA. Trechos Rodoviários. **Catálogo de Metadados da ANA**, 2016. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/ff37f924-e88d-4ee4-82e7-14a3e5efe0fd>>. Acesso em: 16 de Ago. de 2024.

ANA. Unidades de Conservação. **Catálogo de Metadados da ANA**, 2019. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/9407d38f-84d2-48ea-97dd-ee152c493043>>. Acesso em: 23 de Out. de 2024.

ARAMAKI, R. M.; PEREIRA, D. P.; SANTOS, A. S. D. TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS APTAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE DIVINÓPOLIS, MINAS GERAIS. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 23, n. 86, Abril 2022. p. 170-188. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/58390>>. Acesso em: 02 jun. 2024.

ARAÚJO, J. R. et al. AVALIAÇÃO DE ÁREAS PROPÍCIAS PARA INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE BARREIRAS-BA. **Geoprocessamento e geoeconomia: análises multidisciplinares**, 2022. p. 225-242. Disponível em: <<https://amplaeditora.com.br/books/2023/03/GeoprocessamentoGeoeconomia.pdf>>. Acesso em: 22 de Mai. de 2024.

BLASIU, J. P. PROPOSTA DE METODOLOGIA DE BAIXO CUSTO PARA SELEÇÃO DE ÁREAS PARA LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO COM USO DE SIG E ANÁLISE MULTICRITÉRIO: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO DE ARARAS – SP. **Tese de Doutorado**

(Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro - SP, 2023. Disponível em: <ADICIONAR>. Acesso em: ADICIONAR.

BRASIL. LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**; [...], Brasília, DF, 25 de mai. de 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm?itid=lk_inline_enhanced-template>. Acesso em: 19 de set. de 2024.

BRASIL. Portaria Nº 741-GC3/2018. **Ministério da Defesa Comando da Aeronáutica. Aprova a reedição do PCA 3-3, "Plano Básico de Gerenciamento de Risco de Fauna nos aeródromos brasileiros"**., Brasília, 2018. Disponível em: <<https://www.sislaer.fab.mil.br/terminalcendoc/Acervo/Detalhe/20467?returnUrl=/terminalcendoc/Home/Index&guid=1623542406474>>. Acesso em: 31 de Out. de 2024.

BRASIL. Mata Atlântica. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/biomas/mata-atl%C3%A2ntica_emdesenvolvimento.html>. Acesso em: 31 de Out. de 2024.

BRASIL. O Bioma Cerrado. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/biomas/cerrado.html#portal-siteactions>>. Acesso em: 31 de Out. de 2024.

CETESB. Ampliação do aterro de Rio Claro recebe licença prévia. **CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**, 2024. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/blog/2024/01/23/ampliacao-do-aterro-de-rio-claro-recebe-licenca-previa/>>. Acesso em: 20 de Mai. de 2024.

DINIZ, T. A. Identificação de Ilhas de Calor em Rio Claro - SP: Uma análise comparativa entre bairros de perfis socioeconômicos diferentes, 2023.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**, Rio de Janeiro - RJ, 2006.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, Brasília, DF, 2018. 294-295. Disponível em: <<https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>>. Acesso em: 24 de Set. 2024.

GEOSGB. DOWNLOADS > Integração Geológica Regional > Mapas estaduais > São Paulo > SIG (Vetores). **Serviço Geológico do Brasil**, 2006. Disponível em: <<https://geosgb.sgb.gov.br/>>. Acesso em: 24 de Out. de 2024.

IBGE. Folhas Topográficas. Escala 1:50.000 - Araras. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 1969. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/folhas_topograficas/editoradas/escala_50mil/araras27073.pdf>. Acesso em: 13 de Set. de 2024.

IBGE. Folhas Topográficas. Escala 1:50.000 - Itirapina. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 1969. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/folhas_topograficas/editoradas/escala_50mil/itirapina27063.pdf>. Acesso em: 13 de Set. de 2024.

IBGE. Folhas Topográficas. Escala 1:50.000 - Rio Claro. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 1969. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/folhas_topograficas/editoradas/escala_50mil/rioclaro27064.pdf>. Acesso em: 13 de Set. de 2024.

IBGE. Folhas Topográficas. Escala 1:50.000 - Corumbataí. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 1971. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/folhas_topograficas/editoradas/escala_50mil/corumbatai27062.pdf>. Acesso em: 13 de Set. de 2024.

IBGE. Folhas Topográficas. Escala 1:50.000 - Leme. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 1971. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/folhas_topograficas/editoradas/escala_50mil/leme27071.pdf>. Acesso em: 13 de Set. de 2024.

IBGE. Folhas Topográficas. Escala 1:50.000 - Piracicaba. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 1988. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/folhas_topograficas/editoradas/escala_50mil/piracicaba27362.pdf>. Acesso em: 13 de Set. de 2024.

IBGE. Biomas. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2006. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/15842-biomas.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 30 de Set. de 2024.

IBGE. Malha Municipal. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>>. Acesso em: 19 de Jul. de 2024.

IBGE. Panorama - Rio Claro. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/rio-claro/panorama>>. Acesso em: 03 de Jun. de 2024.

IBGE. Vegetação. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/22453-cartas-1-250-000.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 30 de Set. de 2024.

JÚNIO, J. D. O.; ARAÚJO, J. R.; JUNIOR, R. F. D. V. DIAGNÓSTICO DE ÁREAS DE ATERRO SANITÁRIO MEDIANTE ANÁLISE MULTICRITÉRIO: APLICAÇÃO AOS MUNICÍPIOS CONSÓRCIADOS NO ESTADO DE GOIÁS. **Geoprocessamento e geoeconomia: análises multidisciplinares**, 2022. p. 35-55. Disponível em: <<https://ampllaeditora.com.br/books/2023/03/GeoprocessamentoGeoeconomia.pdf>>. Acesso em: 22 de Mai. de 2024.

LOBO, F. D. DIAGNÓSTICOS, DIRETRIZES E DESAFIOS PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO - SP, 2011.

MT. Aeroportos Públicos e Concedidos. **Ministério dos Transportes**, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/bit-mapas>>. Acesso em: 23 de Out. de 2024.

NASA. ASTER - Global Digital Elevation Model V003 (ASTGMTV003_S23W048). **EARTHDATA SEARCH**, 2013. Disponível em: <[https://search.earthdata.nasa.gov/search/granules?p=C1711961296-LPCLOUD&pg\[0\]\[v\]=f&pg\[0\]\[gsk\]=-start_date&g=G1726713626-LPCLOUD&sb\[0\]=-48.19043%2C-23.30603%2C-46.76221%2C-21.80371&fi=ASTER&tl=1730469100.695!3!&lat=-22.508746512719014&long=-49.39453125000](https://search.earthdata.nasa.gov/search/granules?p=C1711961296-LPCLOUD&pg[0][v]=f&pg[0][gsk]=-start_date&g=G1726713626-LPCLOUD&sb[0]=-48.19043%2C-23.30603%2C-46.76221%2C-21.80371&fi=ASTER&tl=1730469100.695!3!&lat=-22.508746512719014&long=-49.39453125000)>. Acesso em: 29 de Set. de 2024.

PAVANI, I. D. et al. Allocation of sanitary landfill in consortium: strategy for the Brazilian municipalities in the State of Amazonas. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, 2019. p. 1-13.

PERRONI, H. P. CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA ANÁLISE PRELIMINAR DE POTENCIAIS ÁREAS PARA ATERRO SANITÁRIO COM AUXÍLIO DO SOFTWARE QGIS. Estudo de Caso: Município de Vargem Grande do Sul - SP. **Curso de pós-graduação “Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais”, da Escola Superior da CETESB**, São Paulo - SP, 2021. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2021/08/Henrique-Pisa-Perroni-TCC-T2-versao-final.pdf>>. Acesso em: 07 de Nov. de 2024.

PINHEIRO, M. M. F. et al. Uma nova estratégia para definir áreas para aterros sanitários consorciados baseados em análise multicritério. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 01, 2021. p. 420-438.

PMGIRS - RC. **DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO**. Novaes Engenharia e Construções Ltda. - EPP. Rio Claro. 2014.

PMGIRS - RC. **PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS – RIO CLARO**. Novaes Engenharia e Construções Ltda. - EPP. Rio Claro. 2014.

PMRC. Mapa Zoneamento Urbano. Escala 1:40.000. **Prefeitura Municipal de Rio Claro**, Rio Claro - SP, 2024. Disponível em: <https://www2.rioclaro.sp.gov.br/pd/pd-2024/IV_MapaZoneamentoUrbano_1_40000_06_2024.pdf>. Acesso em: 20 de Ago. de 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO - SP. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE IMPLEMENTAÇÕES DE PROJETOS DE RECUPERAÇÃO DA QUALIDADE DOS CORPOS D'ÁGUA. **Levantamento básico do município**, Rio Claro - SP, v. I, 2014. Disponível em: <<https://www2.rioclaro.sp.gov.br/pd/arquivos/VolumeILevantamento.pdf>>. Acesso em: 28 de Ago. de 2024.

RAP. Relatório Amebiental Preliminar do Aterro Sanitário e Industrial do Município de Rio CLaro - SP. **Prefeitura Municipal de Rio Claro**, Rio Claro - SP, 1999.

RIBEIRO, M. C. D. C. R.; ALVES, A. D. S. Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v. 11, 2016. p. 270 - 281. Acesso em: 14 de Jun. de 2024.

ROSSI, M. Mapa Pedológico do Estado de São Paulo : Revisado e Ampliado. **Governo do Estado de São Paulo**, 2017. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/2017/09/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/>>. Acesso em: 23 de Out. de 2024.

SA, I. B. et al. Mapeamento e caracterização da cobertura vegetal Bacia Hidrográfica do São Francisco. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, 2009. p. 6305-6312. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/161998/mapeamento-e-caracterizacao-da-cobertura-vegetal-bacia-hidrografica-do-sao-francisco>>. Acesso em: 31 de Out. de 2024.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process. **McGraw Hill**, New York, 1980.

SAATY, T. L. Método de Análise Hierárquica. **McGraw-Hill, Makron**, São Paulo, 1991.

SEMIL. CESSÃO DE DADOS ESPACIAIS - Mapa da Rede de Drenagem do Estado de São Paulo. **SEMIL - A Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística (SP)**, São Paulo, 2013. Disponível em: <<https://semil.sp.gov.br/sma/cessao-de-dados/#1694729758233-237be3b9-66ca>>. Acesso em: 11 de Jul. de 2024.

SEMIL. Zona de amortecimento. **SEMIL - Secretaria de Meio Ambients, Infraestrutura e Logística (SP)**. Disponível em: <[https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/zona-de-amortecimento/#:~:text=Zona%20de%20Amortecimento%20\(ZA\)%2C,definida%20pelo%20artigo%202%C2%BA%2C%20inciso](https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/zona-de-amortecimento/#:~:text=Zona%20de%20Amortecimento%20(ZA)%2C,definida%20pelo%20artigo%202%C2%BA%2C%20inciso)>. Acesso em: 10 de Nov. de 2024.

VARGAS, R. Utilizando a Programação Multicritério (AHP) para Selecionar e Priorizar Projetos na Gestão de Portfólio, 2010. Disponível em: <<https://ricardo-vargas.com/pt/articles/analytic-hierarchy-process/>>. Acesso em: 14 de Jun. de 2024.

ZAINE, J. E. Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP). **Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas**, Rio Claro (SP), 2000.

APENDICE I

