



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**UTILIZAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO PARA INDICAÇÃO DE ÁREAS
FAVORÁVEIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO
MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DEL REI - MG**

Vitor Rosa Damaceno

**Belo Horizonte
2022**

Vitor Rosa Damaceno

**UTILIZAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO PARA INDICAÇÃO DE ÁREAS
FAVORÁVEIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO
MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DEL REI - MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. DSc. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

Belo Horizonte
2022

Vitor Rosa Damaceno

UTILIZAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO PARA INDICAÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DEL REI – MG.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 14 de Dezembro de 2022

Banca examinadora:



Prof Carlos Wagner G Andrade Coelho - Orientador



Prof. Ricardo José Gontijo Azevedo



Prof Cicero Antônio Antunes Catapreta

AGRADECIMENTOS

Primeiramente sou muito grato a mim e à minha jornada estudantil até o presente momento, pelo meu esforço para dar o meu melhor, e por não desistir de quando me deparei com dificuldades.

Agradeço aos meus pais, Eliseth e Raul, por todo o apoio e incentivo ao longo de toda a graduação e, principalmente, para que eu conseguisse concluir este trabalho. À minha avó Denila por todo o amor, carinho, dedicação e apoio ao longo da minha graduação e vida. Ao meu irmão, Ramon, por me auxiliar em diversos momentos. A toda minha família, por estar sempre ao meu lado.

Ao Hery, obrigado por todo cuidado, carinho, amor e amizade, por me ouvir e me apoiar, por estar presente me ajudando a superar cada desafio e acreditando em mim.

Aos meus companheiros do CEFET-MG, que ao longo da caminhada me proporcionaram momentos de felicidade e apoio nos momentos de tristeza, em especial: André, Len, Iza, Paula, Clarice, Ágatha, Deborah, Gira, Julinha, Anna, Tay, Pedro, Leo e Fefa.

Aos meus amigos de infância, Júnio, Thais, Ana e Vivian, que mesmo de longe sempre me apoiaram e me incentivaram na caminhada.

Ao CEFET-MG pelo ensino público de qualidade e aos excelentes profissionais que o compõem. Em especial, agradeço ao meu orientador, Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho por todo apoio e sugestões durante o desenvolvimento do trabalho.

Obrigado a todos que, mesmo não citados, de alguma forma fizeram parte!

RESUMO

DAMACENO, VITOR ROSA. **Utilização de geoprocessamento para indicação de áreas favoráveis para implantação de aterro sanitário no município de São João del Rei - MG.** 2022. 63p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

Desde de seu surgimento, o homem vem gerando resíduos advindos de diferentes atividades, no entanto, após a revolução industrial houve um aumento na geração dos resíduos de difícil degradação, além da centralização urbana e crescimento populacional. Desta forma, a disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) se tornou um dos principais problemas encontrados no saneamento básico, trazendo diversos transtornos sociais, ambientais e econômicos. O município de São João del Rei - MG, se encontra atualmente sem uma forma de disposição final de RSU ambientalmente adequada e no Brasil, a principal forma de disposição final são os aterros sanitários, mas existe uma grande dificuldade em encontrar áreas aptas a implantação. Com isso, as tecnologias de geoprocessamento se tornaram importantes, pois são instrumentos de coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica que auxiliam os municípios no planejamento urbano. O presente estudo tem o objetivo utilizar a análise multicritério para a seleção de potenciais áreas para a implantação de um aterro sanitário para atendimento ao município de São João del Rei, visando minimizar os impactos ambientais e a otimização da seleção da área. Para seleção das áreas aptas foi utilizado o software QGIS 3.22.1, estimado a área necessária de implantação, escolhido 7 critérios de restrição de área, sendo 4 baseados na NBR 13896/97, e aplicada a análise de multicritérios pelo método Analytic Hierarchy Process (AHP) para a determinação dos pesos estatísticos para cada critério. Como resultado, obteve-se uma Razão de Consistência (RC) de 0,035, tendo os pesos atribuídos a cada critério considerados consistentes. O produto cartográfico, apresentou 112 possíveis áreas aptas a implantação de um aterro sanitário com capacidade de 20 anos no município de São João del Rei. Cabe ressaltar que as técnicas apresentadas são uma etapa preliminar, sendo necessários estudos mais aprofundados das áreas aptas para implantação do aterro sanitário.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos; Aterro sanitário; Geoprocessamento.

ABSTRACT

DAMACENO, VITOR ROSA. **Utilização de geoprocessamento para indicação de áreas favoráveis para implantação de aterro sanitário no município de São João del Rei - MG.** 2022. 63p. Bachelor's thesis (Environmental and Sanitary Engineering) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

Since its emergence, mankind has been generating waste from different activities. However, after the industrial revolution, there was an increase in the generation of waste that is difficult to degrade, in addition to urban centralization and population growth. Due to this scenario, the inadequate disposal of Urban Solid Waste (USW) has become one of the main problems encountered in basic sanitation, bringing about several social, environmental and economic disorders. The municipality of São João del Rei - MG currently does not have an environmentally appropriate form of final disposal of USW and, in Brazil, the main form of final disposal is sanitary landfills, but there is great difficulty in finding areas suitable for implementation. With this, geoprocessing technologies have become important, as they are instruments for collecting, processing, analyzing and offering information with geographic reference that helps municipalities in urban planning. The present study aims to use multicriteria analysis for the selection of potential areas for the implementation of a sanitary landfill to serve the municipality of São João del Rei, targeting to reduce the environmental impacts and also to optimize the selection of the area. For the selection of suitable areas, the QGIS 3.22.1 software was used, the necessary implantation area was estimated, 7 area restriction criteria were chosen, 4 of which were based on NBR 13896/97, and the multicriteria analysis was applied using the Analytical Hierarchy Process method (AHP) to determine the statistical weights for each criteria. As a result, a Consistency Ratio (CR) of 0.035 was obtained, with the weights assigned to each criteria considered consistent. The cartographic product presented 112 possible areas suitable for the implementation of a sanitary landfill with a capacity of 20 years in the municipality of São João del Rei. It should be noted that the techniques presented are a preliminary stage, requiring more in-depth studies of the areas suitable for the implementation of the sanitary landfill.

Keywords: Urban Solid Waste; Sanitary landfill; Geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Disposição final de RSU no Brasil.....	13
Figura 3.1 - Caracterização e classificação de resíduos.	19
Figura 3.2 - Caracterização da degradação social e ambiental pelo vazadouro a céu aberto.	23
Figura 3.3 - Esquema das características de um aterro controlado.	24
Figura 3.4 - Esquema das características de um aterro sanitário.	25
Figura 3.5 - Conjunto de ferramentas do Geoprocessamento.	32
Figura 3.6 - Estrutura geral de SIG.....	33
Figura 3.7 - Estágios do Processo AHP.....	36
Figura 5.1 - Mapa da hidrografia do município de São João del Rei - MG.....	48
Figura 5.2 - Mapa de distanciamento de aeroportos do município de São João del Rei - MG.....	49
Figura 5.3 - Mapa de restrição das unidades de conservação.....	49
Figura 5.4 - Mapa de solos do município de São João del Rei - MG.....	51
Figura 5.5 - Mapa de distanciamento de rodovias do município de São João del Rei - MG..	52
Figura 5.6 - Mapa de distanciamento do núcleo populacional do município de São João del Rei - MG.....	52
Figura 5.7 - Mapa de declividade do município de São João del Rei - MG.....	53
Figura 5.8 - Mapa de áreas aptas a implantação de aterro sanitário no município de São João del Rei - MG.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Condições favoráveis para implantação de aterro sanitário.	29
Tabela 3.2 - Critérios para implantação de aterro sanitário.	30
Tabela 4.1 - Critérios e restrições para área de implantação do aterro sanitário.	40
Tabela 4.2 - Critérios, classes e notas dos critérios relativos adotados.	43
Tabela 4.3 - Critérios, classes e notas dos critérios restritivos adotados.	44
Tabela 4.4 - Matriz de comparação paritária ou matriz de julgamentos.	45
Tabela 4.5 - Escala fundamental de Saaty – AHP.	45
Tabela 4.6 - Índices Randômicos (IR).	46
Tabela 5.1 - Resultados das variáveis base para o cálculo da área do aterro sanitário para o município de São João del Rei – MG.	47
Tabela 5.2 - Autovetores dos critérios de seleção de área.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

AHP – Analytic Hierarchy Process

ASP – Áreas de Segurança Portuárias

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

GNSS – Sistema de Navegação Global por Satélite

GRSU – Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDE - SISEMA – Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IR – Índice Randômico

MG – Minas Gerais

NBR – Norma Brasileira

PMSL – Programa Minas sem Lixões

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RC – Razão de Consistência

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

QGIS – Quantum GIS

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente

SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

SR – Sensoriamento Remoto

TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Resíduos Sólidos	16
3.1.1	<i>Classificação</i>	17
3.1.2	<i>Resíduos Sólidos Urbanos</i>	20
3.2	Gestão e Gerenciamento dos Resíduos Sólidos.....	21
3.3	Disposição Final Resíduos Sólidos	22
3.3.1	<i>Lixão ou Vazadouro a Céu Aberto</i>	22
3.3.2	<i>Aterro Controlado</i>	23
3.3.3	<i>Aterro Sanitário</i>	24
3.3.3.1	<i>Aterro Sanitário de Pequeno Porte</i>	27
3.4	Áreas para Implantação do Aterro Sanitário	28
3.5	Geoprocessamento.....	31
3.6	Análise de Multicritérios	34
3.7	Método AHP.....	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
4.1	Área de Estudo	37
4.2	Cálculo da Área para Implantação do Aterro Sanitário.....	37
4.3	Levantamento dos Dados.....	39
4.4	Mapas Temáticos.....	40
4.5	Método AHP.....	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
6	CONCLUSÕES.....	56
7	RECOMENDAÇÕES.....	57
8	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

O homem surgiu na terra há aproximadamente 3 milhões de anos e, desde então, tem gerado resíduos advindos dos diferentes costumes, atividades de época e de várias fases da sua evolução social, intelectual e tecnológica. Durante séculos, a principal fonte econômica do homem concentrava-se da produção agrícola, e os principais resíduos gerados eram provenientes essencialmente de restos alimentícios, resíduos orgânicos de fácil assimilação ao meio ambiente (KATAOKA, 2000).

A revolução industrial trouxe grandes mudanças nos costumes e atividades do homem, principalmente para os tempos de hoje. A principal mudança foi a alteração das atividades antes baseada em produção agrícola e vida no campo para uma vida concentradas nos centros urbanos e consumo de produtos industrializados, principalmente de embalagens descartáveis (KATAOKA, 2000). Somando-se a isso, também houve um intenso crescimento populacional alinhado ao incentivo ao consumo, causando um aumento considerável da geração de resíduos sólidos, em contrapartida a capacidade de assimilação pela natureza continuou da mesma forma (ALBERTIN et al., 2010).

Conforme Zanetti e Sá (2002), o consumo está intimamente relacionado à descartabilidade, ao desperdício, à geração de necessidades artificiais e ao descarte inadequado dos resíduos que acabam contaminando o meio ambiente e diminuindo a qualidade de vida.

Santos (2018) ressalta que os resíduos sólidos são as sobras da sociedade, que a partir do momento em que a mesma não precisa mais de algo, o mais fácil é se livrar, no caso, descartá-lo. No Brasil, de acordo com o relatório do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil da ABRELPE (2020), foi realizado uma comparação da geração de resíduo entre os anos de 2010 e 2019, registrando um aumento considerável, passando de 67 milhões para 79 milhões de toneladas, um aumento de aproximadamente 12 milhões de toneladas.

Com o efeito do crescimento populacional, alinhado a centralização da população aos centros urbanos e ao incentivo ao consumo, surge os problemas relacionados a disposição final ambientalmente adequada nos municípios brasileiros. Dessa forma, muitos resíduos são descartados de forma inadequada, em corpos hídricos ou no solo, causando diversos danos

ao meio ambiente como poluição atmosférica, hídrica, do solo e visual. Além disso, dependendo do tipo de resíduo, causando doenças à população.

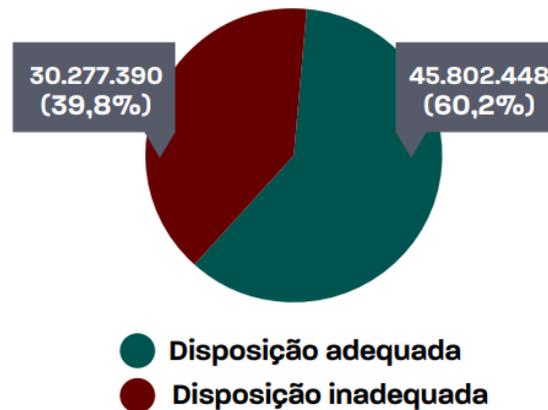
Atualmente, no Brasil, predomina-se a utilização de aterros sanitários para disposição final de resíduos. De acordo com Hamada (2003), os aterros sanitários são uma forma segura de disposição final dos resíduos, pois além de serem implantados em locais apropriados possuem sistemas de impermeabilização, drenagem, cobertura diária e final e tratamento dos efluentes líquidos e gasosos gerados.

Em 2010 foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) por meio da Lei 12.305, que trata da gestão integrada e gerenciamento ambientalmente correto dos resíduos sólidos, colocando o tema da disposição de resíduos sólidos urbanos em destaque no cenário dos problemas ambientais brasileiros. A lei estabelece que a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos devem priorizar a não geração, seguida da redução, reutilização, tratamento e, em último caso, a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Com a lei, todos os municípios brasileiros passaram a ter diretrizes e prazos que devem ser cumpridos no que se refere a correta destinação dos seus resíduos sólidos, desde a sua geração até a destinação final. Dentre as ações a serem cumpridas está incluída a disposição final ambientalmente adequada, ou seja, extinção dos lixões no prazo de 4 anos. Grande parte dos municípios não conseguiram cumprir a determinação legal e o prazo teve que ser alterado, por último tem-se o Projeto de Lei 14.026 de 2020 que estabelece o prazo de até 2024 dependendo da quantidade de habitantes do município.

De acordo com o Panorama da ABRELPE (2021), referente ao ano de 2020, aproximadamente 60% dos resíduos gerados no Brasil são encaminhados para aterro sanitários, desta forma, ainda há uma parcela aproximada de 40% dos resíduos sendo disposto de forma inadequada, lixões e aterros controlados (Figura 1.1). A região norte é a que possui a menor cobertura de disposição adequada, com a aproximadamente 35,6% e a sudeste a com a maior cobertura com 73,4%.

Figura 1.1 - Disposição final de RSU no Brasil.



Fonte: ABRELPE (2021).

O estado de Minas Gerais começou as suas movimentações em 2001, quando o Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais (COPAM), lançou a Deliberação Normativa 52/2001, com uma política de erradicação dos lixões no estado. Em 2009, ano anterior à criação da PNRS, foi aprovada a Política Estadual de Resíduos Sólidos, tendo ambas legislações propostas similares de gestão, sendo observados objetivos convergentes a um resultado comum. Além disso, também foi criado no ano de 2003 o Programa Minas sem Lixões (PMSL) que “visa dar apoio técnico, institucional e regulamentar às administrações municipais e regionais de Minas Gerais, para otimização da gestão socioambiental e compartilhada dos resíduos sólidos urbanos” (BRUSCHI, 2011), diminuindo assim, a disposição inadequada dos resíduos.

Segundo dados da FEAM (2019), 61,87% da população urbana de Minas Gerais destina seus resíduos sólidos para uma destinação final ambientalmente adequada, 12,85% destina para empreendimentos não regularizados, detentores de novos processos formalizados ou em formalização para sua operação e 25,28% ainda dispõem seus RSU de forma irregular. Ao final de 2018, 386 municípios mineiros ainda dispunham seus RSU de forma inadequada em lixões e aterros controlados.

O município de São João del Rei é um dos municípios mineiros caracterizados por dispor seus resíduos de forma inadequada. Os resíduos coletados no município são encaminhados a um lixão localizado a cerca de 7,6 Km da BR 265, uma das principais entradas do município.

No local é possível observar o lançamento do resíduo “in natura” a céu aberto, sem qualquer tipo de tratamento, catadores, habitações temporárias e permanentes, além de queima em recipientes, instalações ou equipamentos não licenciados para esta finalidade (FERREIRA, ROCHA, FIGUEIREDO, 2013).

Desta forma é de suma importância se ter um local de disposição final ambientalmente adequado no município, no caso um aterro sanitário, para preservação do meio ambiente e saúde pública. No entanto, uma das principais dificuldades enfrentadas na implantação de um aterro sanitário é a escolha de uma área que contemple boas condições técnicas, econômicas e ambientais.

Nesse contexto, as geotecnologias tornaram-se importantes aliadas na identificação de áreas adequadas para implantação de aterros sanitários, pois são instrumentos de coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica que auxiliam os municípios no planejamento urbano. Dentre as geotecnologias pode-se destacar o sensoriamento remoto (SR), cartografia digital, fotogrametria, topografia, Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS), Sistemas de Informações Geográficas (SIG), entre outros.

Nos últimos tempos, os Sistemas de Informações Geográficas vem sendo amplamente utilizados na gestão dos resíduos sólidos urbanos, principalmente nas etapas de coleta e disposição final de RSU. Para Samizava et al. (2008), ferramentas computacionais como softwares de SIG, conseguem fornecer suporte rápido e eficiente para discriminar áreas potenciais para instalação de aterros sanitários. Ou seja, é um instrumento de suma importância para análises e subsídios na tomada de decisões complexas em um curto período de tempo, conseguindo analisar uma determinada área para receber a disposição de resíduos.

Diante disso, ferramentas computacionais como softwares de SIG (Sistemas de Informação Geográfica), conseguem fornecer suporte rápido e eficiente para discriminar áreas potenciais para instalação de aterros sanitários (SAMIZAVA et al., 2008). Ou seja, é um instrumento de suma importância para análises e subsídios na tomada de decisões complexas viabilizadas em um curto período de tempo, conseguindo analisar o potencial de uma área para receber a disposição de resíduos.

2 OBJETIVOS

Para fomentar essa pesquisa tem-se os seguintes objetivos.

2.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar de análise multicritério para a seleção de potenciais áreas para a implantação de um aterro sanitário para atendimento ao município de São João del Rei.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Tendo em vista alcançar o objetivo geral proposto no trabalho a ser desenvolvido, os objetivos específicos são:

- Levantar dados georreferenciados necessários para a execução do trabalho;
- Aplicar técnicas de análise espacial para correlação dos dados;
- Aplicar técnicas de Análise Multicritério para identificação de área; e
- Analisar a conjunção dos mapas temáticos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos Sólidos

De acordo com Escostegui (2003), o aumento da geração dos resíduos sólidos vem ocasionando grandes problemas a sociedade contemporânea e esse problema vem aumentando a cada ano devido a diversos fatores como o crescimento gradativo e desordenado da população, a aceleração dos processos de ocupação do território urbano e do crescimento gradativo dos bens de consumo popularizado pelo aumento da produção. Com isso, também há a preocupação com os impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado desses resíduos, bem como a grande quantidade de matéria-prima extraída e o desperdício de energia.

Atualmente existe diversas definições de resíduos sólidos, mas de forma geral, compreende-se que são materiais provenientes das atividades humanas, que perderam seu valor de uso original, passando a ser considerados inúteis para o seu uso atual ou por seus proprietários.

No Brasil, a legislação principal em âmbito nacional referente à resíduos sólidos é a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Brasil, 2010), que dispõe sobre as diretrizes aplicáveis ao correto gerenciamento de resíduos, trazendo conceitos e classificações. De acordo com a PNRS, os resíduos sólidos são definidos como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010, p. 1).

A NBR 10.004 (ABNT, 2004, p. 1), define os resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólidos e semissólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível.

Os resíduos sólidos apresentam grande diversidade e se originam de várias atividades humanas e em diversos ambientes.

3.1.1 Classificação

Existem diversas formas de classificar os resíduos sólidos, no entanto, geralmente eles são classificados conforme sua origem e periculosidades. A primeira ainda não há um padrão estabelecido de classificação, podendo encontrar classificações como: comercial, construção civil, domiciliar, industrial, institucional, serviços de saúde, entre outros.

A PNRS classifica em seu Art. 13 os resíduos sólidos quanto a sua origem como:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios; (BRASIL, 2010).

Em relação a classificação dos resíduos conforme sua periculosidade, a PNRS os divide como resíduos sólidos perigosos e não perigosos e define-os como:

a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

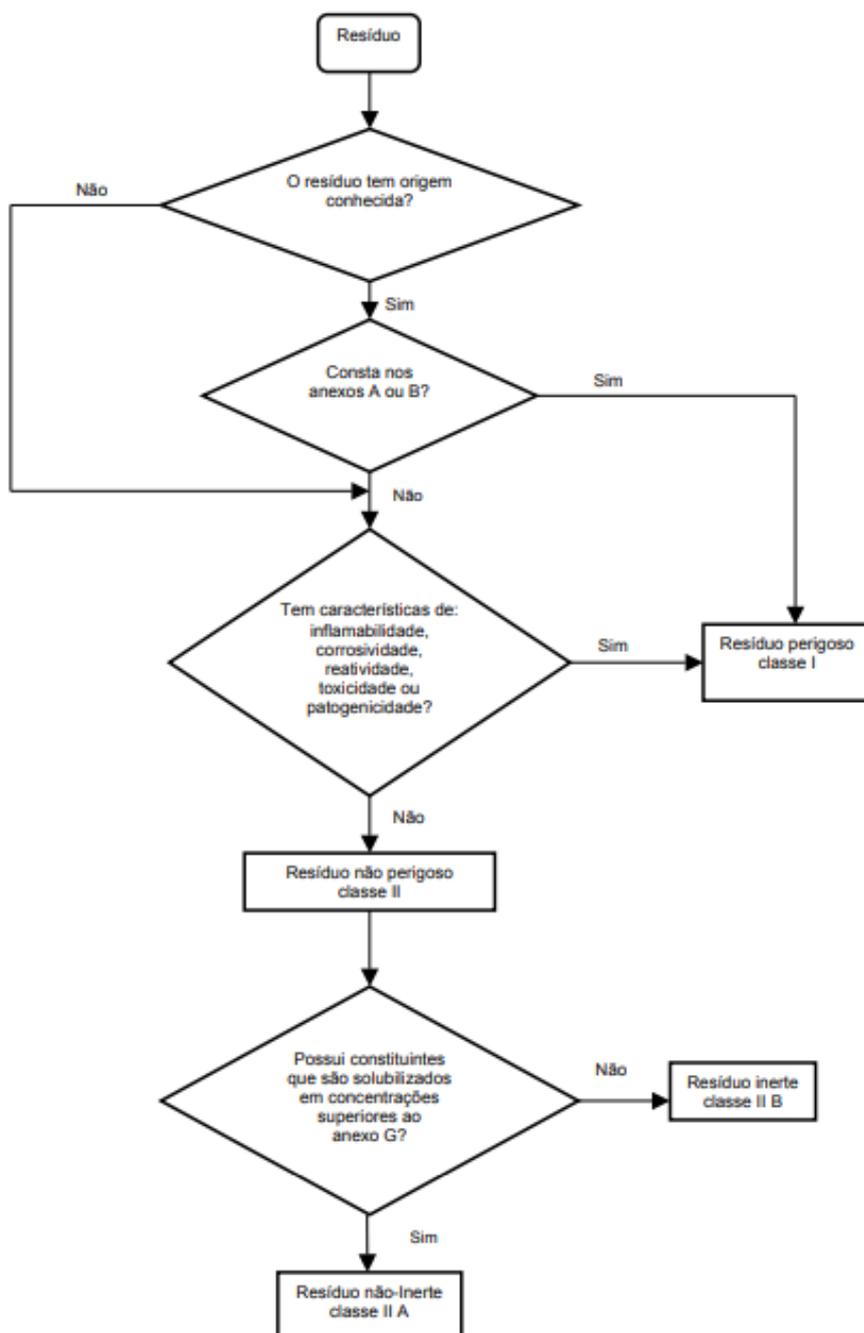
b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a” (BRASIL, 2010).

A NBR 10.004 (ABNT, 2004, p. 2) define periculosidade de um resíduo como sendo a “característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, pode apresentar risco à saúde pública e riscos ao meio ambiente” e os classifica como:

- **Resíduos Classe I – Perigosos:** aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, pode apresentar risco à saúde pública e ao meio ambiente.
- **Resíduos Classe II – Não Perigosos:** aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I. São divididos em inertes e não inertes.
 - **Resíduo Classe II A – Não Inertes:** aqueles que possuem propriedades tais como biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água.
 - **Resíduos Classe II B – Inertes:** quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, segundo ABNT NBR 10.007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se por aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

A Figura 3.1 apresenta o fluxograma de caracterização e classificação dos resíduos sólidos conforme a NBR 10.004 (ABNT, 2004).

Figura 3.1 - Caracterização e classificação de resíduos.



Fonte: ABNT (2004).

3.1.2 Resíduos Sólidos Urbanos

Diante das definições e classificações expostas, nota-se a diversidade dos resíduos sólidos referentes as suas várias origens, resultantes das diversas atividades humanas. Como pode-se observar acima, a PNRS, classifica os resíduos sólidos urbanos (RSU) como resíduos provenientes de residências, estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, da varrição, de podas e da limpeza de vias, logradouros públicos e sistemas de drenagem urbana (BRASIL, 2010).

Segundo o Zveibil (2001), os RSU podem se diferenciar de acordo com suas características físicas, químicas e biológicas que variam de cidade para cidade em função de aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos.

A caracterização e quantificação dos resíduos sólidos são de suma importância para a gestão de resíduos sólidos urbanos (GRSU), pois influenciam diretamente nas etapas de transporte, tratamento e disposição final dos resíduos, como o transporte adequado e a capacidade do mesmo e a capacidade de aterramento dos resíduos no aterro sanitário.

De forma geral, os RSU se enquadram como resíduos classe II – não perigosos, constituídos basicamente por plásticos, papel, papelão, metal, vidro, resíduos orgânicos, rejeitos, de poda e varrição. No entanto, também ocorre, nas residências, a geração de resíduos classe I – perigosos como pilhas e bateria, lâmpadas, materiais eletrônicos, entre outros. Este último havendo uma necessidade de atenção com foco na educação ambiental e devido gerenciamento dos RSU para que não sejam encaminhados de forma equivocada para aterros sanitários de RSU.

Geralmente, dentre os vários RSU gerados, os resíduos de origem domiciliar ou de características similares, como comerciais, são encaminhados para a disposição final em aterros sanitários sob responsabilidade do poder municipal (ZANTA; FERREIRA, 2003). Assim, cabe aos municípios atribuir a responsabilidade pelo manejo dos resíduos similares aos RSU oriundos das atividades comerciais, industriais e de serviços e ao gerador o gerenciamento adequado dos seus resíduos de origem não domiciliar, como os resíduos industriais, de serviços de saúde e agrícolas, estando sujeito a legislação específica vigente.

3.2 Gestão e Gerenciamento dos Resíduos Sólidos

Entende-se como gestão de resíduos sólidos as atividades e a organização do setor voltadas a tomadas de decisões estratégicas, envolvendo 3 aspectos que devem ser articulados, sendo: arranjos institucionais, instrumentos legais e mecanismos de financiamento. Já o gerenciamento dos resíduos sólidos está relacionado aos aspectos tecnológicos e operacionais, envolvendo fatores gerenciais, administrativos, de desempenhos e ambientais (SCHALCH et al., 2002).

A lei que intitula a Política Nacional de Resíduos Sólidos, define gerenciamento de resíduos sólidos como:

conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei; (BRASIL, 2010).

De acordo com Lopes (2006), entende-se que a gestão dos resíduos sólidos abrange o planejamento das possíveis ações do gerenciamento, tendo como base o pré-diagnóstico da situação do gerenciamento do município, levando em consideração as potencialidades e possíveis construções de parcerias. Com isso, cabe ao gerenciamento a implementação das decisões, utilizando de alternativas técnicas que atendam a realidade local, a operação das ações proposta, a fiscalização e o dimensionamento dos resultados.

Desse modo, a correlação de ambos, gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, busca atender aos objetivos prevenção e minimização da poluição ao meio, priorizando a redução, o reaproveitamento, o tratamento e a disposição final ambientalmente adequada. Dessa forma, evitando ou reduzindo a geração de resíduos e possíveis poluentes prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública.

3.3 Disposição Final Resíduos Sólidos

A disposição final é a última etapa do processo de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos e tem por finalidade proporcionar um fim ambientalmente adequado para os resíduos sólidos gerados que por ventura tenham perdido seu valor, sendo considerado inútil.

A PNRS (BRASIL, 2010), define disposição final adequada como sendo a “distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos”.

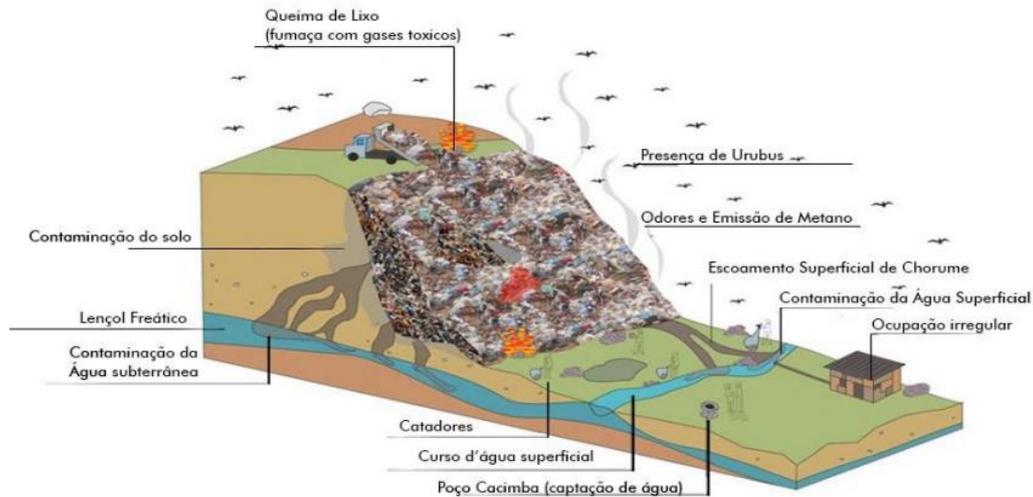
De acordo com Gunther (2008, p. 38), tanto a etapa de disposição final como a de tratamento, “são as mais problemáticas do sistema de resíduos sólidos urbanos, devido ao custo que representam, à necessidade de área física para instalação e aos impactos em termos de poluição ambiental e perigos a saúde que podem acarretar”.

Atualmente, existem basicamente três formas de disposição final de resíduos sólidos no solo, sendo o lixão, aterro controlado e o aterro sanitário, os dois primeiros são considerados formas inadequadas, sendo apenas o aterro sanitário a forma adequada de disposição final e a que será tratado no presente trabalho.

3.3.1 Lixão ou Vazadouro a Céu Aberto

O lixão é forma de disposição final dos resíduos a céu aberto, sem nenhum critério sanitário de proteção ao ambiente e sem nenhum controle sobre a qualidade e quantidade dos resíduos recebidos, possibilitando um ambiente adequado para proliferação de vetores, além da contaminação do solo, ar, e água devido ao contato dos mesmos com poluentes e, conseqüentemente, causando prejuízos ao meio ambiente e a saúde pública (Figura 3.2). Este tipo de disposição já é proibido por lei no Brasil, no entanto, ainda é utilizado por ser fonte de renda para algumas pessoas, trazendo uma questão social a ser discutida pela comunidade, ser um método antigo e requerer baixos custos aos municípios.

Figura 3.2 - Caracterização da degradação social e ambiental pelo vazadouro a céu aberto.



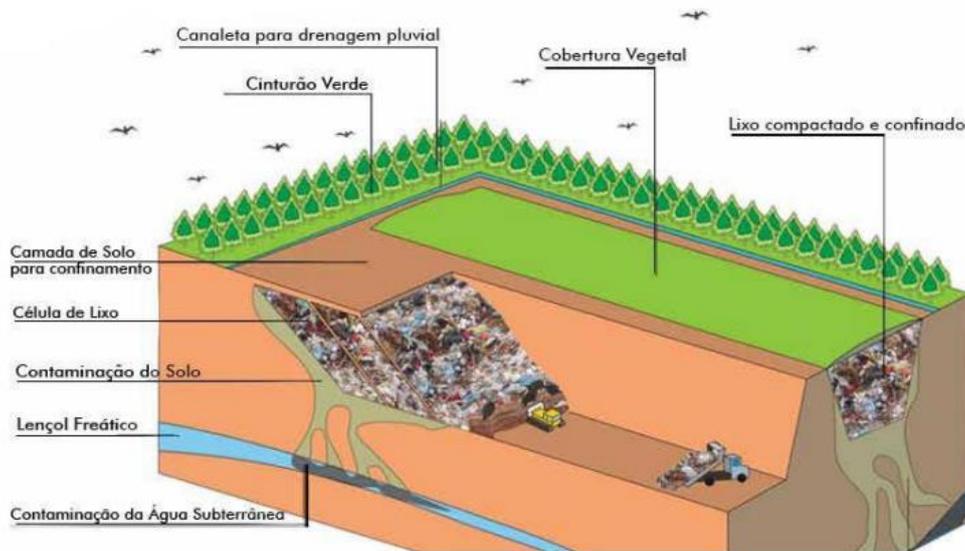
Fonte: Autoglass (2018) apud Sena (2019).

3.3.2 Aterro Controlado

O aterro controlado é definido, de acordo com a NBR 8849 (ABNT, 1985), como uma técnica de disposição final que utiliza de princípios de engenharia que consiste em cobrir os resíduos sólidos com uma camada de material inerte confinando-os e não causando danos ou riscos à saúde pública e à segurança e minimizando os impactos ambientais. No entanto, esse tipo de disposição acaba gerando certa poluição, no caso, localizada devido a área de disposição ser minimizada e geralmente ocorre pela falta de impermeabilização de base, de sistema de tratamento de percolado e de biogás (CEMPRE, 2018) (Figura 3.3).

Segundo a NBR 8849 (ABNT, 1985) a forma de disposição em aterro controlado se torna viável quando a implantação de um aterro sanitário for onerosa e demasia. Com isso, pode-se notar na época uma falta de planejamento estratégico e uma sobreposição do fator econômico sobre o meio ambiente e saúde pública.

Figura 3.3 - Esquema das características de um aterro controlado.



Fonte: Autoglass (2018) apud Sena (2019).

3.3.3 Aterro Sanitário

O ideal dentro do processo de gerenciamento dos resíduos sólidos é o encaminhamento dos mesmos para a disposição final ambientalmente adequada, no caso, a mais utilizada no Brasil, os aterros sanitários após esgotadas todas as alternativas de tratamento, sejam eles mecânicos, bioquímicos ou térmicos.

Segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992, p. 1), o aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é uma:

técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

A Lei Federal nº 12.305 de 2012 (BRASIL, 2010), considera como técnica mais adequada para disposição final, os aterros sanitários, desde que atendam às normas operacionais

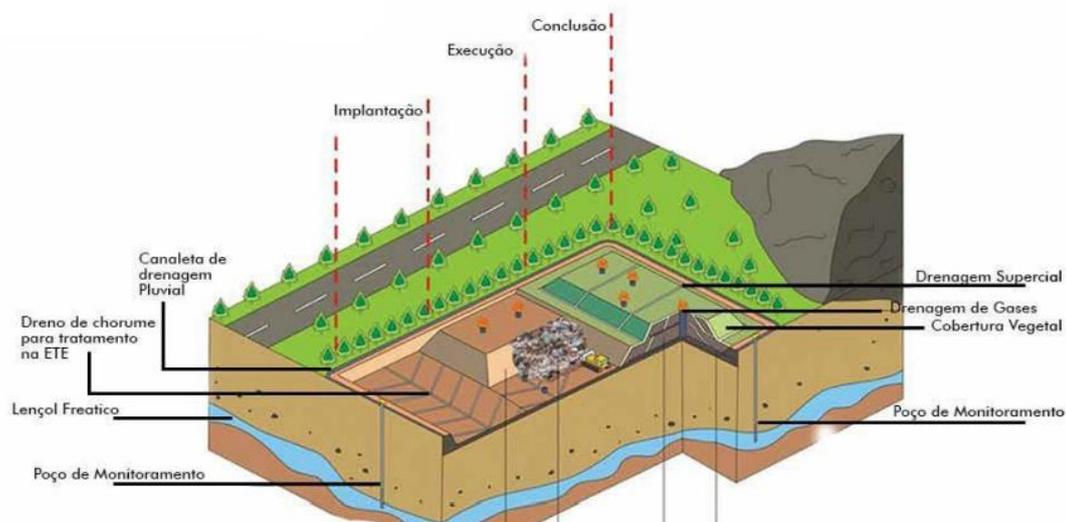
específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Para Nogueira e Rocha (2001, p. 7), um aterro sanitário pode ser definido como sendo:

um equipamento urbano de infraestrutura, integrante de um sistema de engenharia sanitária e ambiental, destinado à disposição final e tratamento dos resíduos sólidos, de forma a permitir que os mesmos sejam confinados sob o solo, e que os líquidos e gases resultantes das reações químicas que resultem dos processos de decomposição sejam devolvidos ao meio ambiente com o mínimo de impacto.

A Figura 3.4, a seguir, demonstra uma representação da estrutura construtiva de um aterro sanitário.

Figura 3.4 - Esquema das características de um aterro sanitário.



Fonte: Autoglass (2018) apud Sena (2019).

De acordo com Zveibil (2001), um aterro sanitário conta necessariamente com dois tipos de unidades, as unidades operacionais e de apoio, caracterizada da seguinte forma:

- Unidades operacionais: incluem células de lixo domiciliar, células de lixo hospitalar (caso o Município não disponha de processo mais efetivo para dar destino final a esse tipo de lixo), impermeabilização de fundo (obrigatória) e superior (opcional), sistema de coleta e tratamento dos líquidos percolados, sistema de coleta, queima ou

beneficiamento do biogás, sistema de drenagem e afastamento das águas pluviais, sistemas de monitoramento ambiental, topográfico e geotécnico e pátio de estocagem de materiais.

- Unidades de apoio: incluem cerca e barreira vegetal; estradas de acesso e de serviço, balança rodoviária e sistema de controle de resíduos, guarita de entrada e prédio administrativo, oficina e borracharia.

No entanto, mesmo o aterro sanitário, que tem toda uma infraestrutura com o objetivo de minimizar ao máximo os impactos ao meio, quando não operado de forma adequada, pode trazer diversos riscos ao meio ambiente e a saúde da população.

Schalch et al. (2002), cita algumas vantagens e desvantagens de se ter um aterro sanitário, sendo elas:

- Vantagens: utilizam em sua execução e operação equipamentos normalmente utilizados em serviços de terraplanagem, possibilitam a recuperação de áreas topograficamente inutilizadas, controlam a proliferação de vetores, dispensam mão-de-obra especializada na operação, os custos normalmente são inferiores aos das usinas de compostagem e das instalações de incineração.
- Desvantagens: em alguns casos visa-se necessário o transporte de resíduos a longa distância, desvalorização imobiliária das áreas destinadas ao aterro, produção de águas residuárias, possibilidade de contaminação do lençol freático quando o projeto é planejado ou operado de forma inadequada, período longo para a estabilização do solo do aterro, produção de ruídos e poeiras durante a fase de execução e operação.

É importante observar que para os RSU, classificados como pertencentes à classe de resíduos não-perigosos, os aterros sanitários devem dispor de sistemas de proteção com menos exigências ambientais do que comparados ao que receberão resíduos perigosos ou de origem industrial. Entretanto, isto não significa reduzir os critérios de projeto, pois sabe-se que os resíduos domiciliares podem apresentar substâncias altamente tóxicas e potencialmente poluidoras tanto quanto os resíduos industriais, de mineração ou de serviços de saúde (MELO, 2001).

Apesar de ser uma técnica bastante recomendada para solução dos problemas referentes a destinação final, esse método acaba sofrendo com o estilo consumista da sociedade atual devido a grande quantidade de resíduos gerados e, conseqüentemente, descartados. Com isso, recomenda-se uma associação com a coleta seletiva para reciclagem, permitindo um aumento da vida útil do aterro, além de desenvolver uma consciência ecológica coletiva e uma maior participação da comunidade na preservação do meio ambiente (PORTELLA; RIBEIRO, 2014).

Segundo Albuquerque (2011), as áreas destinadas à implantação de aterros sanitários têm uma vida útil limitada, e novas áreas próximas de centros urbanos são cada vez mais difíceis de serem encontradas, além de haver uma determinada resistência das populações do entorno.

A seleção de locais para instalação de aterros sanitários, além de critério de projeto e instalação, deve ser feita conforme critérios estabelecidos pela NBR 13.896 (ABNT, 1997), que incluem distâncias de cursos d'água, rodovias, moradias, falhas geológicas, áreas de preservação permanente e aeroportos. As exigências presentes nessa norma englobam desde a escolha da área do projeto até a operação e monitoramento.

3.3.3.1 Aterro Sanitário de Pequeno Porte

Muitas cidades apresentam baixa população e contextos ambientais bastante diversificados, além do mais, grande parte não conseguem arcar com os custos de se implantar um aterro sanitário. Com isso, quando possível, nesses casos, a implantação de sistemas de disposição final simplificados, tendo em vista a baixa quantidade e características dos resíduos gerados, são bem vistos. Nesse contexto, os aterros sanitários de pequeno porte surgem como uma opção.

A NBR 15849 (ABNT, 2010) define aterro sanitário de pequeno porte como uma técnica:

para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, até 20 t por dia ou menos, quando definido por legislação local, em que, considerados os condicionantes físicos locais, a concepção do sistema possa ser simplificada, adequando os sistemas de proteção ambiental sem prejuízo da minimização dos impactos ao meio ambiente e à saúde pública.

Cabe ressaltar que esse tipo de técnica deve ser definida por legislação local e a norma também define os critérios técnicos para localização, elaboração de projeto, operação e encerramento do aterro sanitário de pequeno porte.

3.4 Áreas para Implantação do Aterro Sanitário

O primeiro passo para implantação de um projeto de aterro sanitário é a escolha de uma área onde ele será implantado e operado. Dessa forma, a seleção de uma área embasada em critérios ambientais, técnicos, políticos e socioeconômicos são fundamentais para o sucesso do empreendimento.

De acordo com Zveibil (2001, p. 151) a escolha de um local para implantação de um aterro sanitário não é uma tarefa simples pois:

O alto grau de urbanização das cidades, associado a uma ocupação intensiva do solo, restringe a disponibilidade de áreas próximas aos locais de geração de lixo e com as dimensões requeridas para se implantar um aterro sanitário que atenda às necessidades dos municípios.

Além disso, existem outros aspectos importantes que devem ser considerados como:

parâmetros técnicos das normas e diretrizes federais, estaduais e municipais, os aspectos legais das três instâncias governamentais, planos diretores dos municípios envolvidos, pólos de desenvolvimento locais e regionais, distâncias de transporte, vias de acesso e os aspectos político-sociais relacionados com a aceitação do empreendimento pelos políticos, pela mídia e pela comunidade (Zveibil, 2001, p. 152).

Desse modo, pode-se notar que os critérios para implantação de um aterro sanitário são muito severos, porém, ainda necessário pois a escolha de um local adequado minimiza os riscos ambientais e sociais, além de evitar custos desnecessários.

Segundo Chernicharo et al. (2008), a área selecionada para a implantação do aterro sanitário deve ser aquela que melhor possibilite condições favoráveis como pode se observar na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Condições favoráveis para implantação de aterro sanitário.

Menor potencial para geração de impactos ambientais	<ul style="list-style-type: none"> - Localização fora de áreas de restrição ambiental. - Aquíferos menos permeáveis. - Solos mais espessos e menos sujeitos aos processos de erosão e escorregamentos. - Declividade apropriada. - Distância de habitações, cursos d'água, rede de alta tensão.
Maior vida útil para o empreendimento	<ul style="list-style-type: none"> - Máxima capacidade de recebimento de resíduos.
Baixos custos de instalação e operação do aterro	<ul style="list-style-type: none"> - Menores gastos com infraestrutura. - Menor distância da zona urbana geradora dos resíduos. - Disponibilidade de material de cobertura.
Aceitabilidade social	<ul style="list-style-type: none"> - Menor oposição da comunidade vizinha.

Fonte: Adaptado de Chernicharo et al. (2008).

No Brasil, em 1997, foi publicado a norma técnica NBR 13896 (ABNT, 1997), referente aos critérios regionais para seleção de áreas para implantação de aterros sanitários que tem o intuito de proteger as águas superficiais e subterrâneas próximas, bem como os operadores das instalações e comunidades vizinhas.

De acordo com a NBR 13896 (ABNT, 1997, p. 2), um local adequado para a implantação de um aterro sanitário de resíduos não perigosos deve atender aos seguintes critérios de localização:

- a) o impacto ambiental a ser causado pela instalação do aterro seja minimizado;
- b) a aceitação da instalação pela população seja maximizada;
- c) esteja de acordo com o zoneamento da região;
- d) possa ser utilizado por um longo espaço de tempo, necessitando apenas de um mínimo de obras para início da operação.

Ainda segundo a mesma norma, para avaliar a adequabilidade de um determinado local em função do atendimento aos critérios anteriores devem ser analisados alguns critérios técnicos, presentes na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Critérios para implantação de aterro sanitário.

Critérios	Definições/Observações
Topografia	Recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%.
Geologia e tipos de solos existentes	Considera-se desejável a existência, no local, de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m.
Recursos hídricos	Distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água.
Vegetação	estudo macroscópico da vegetação.
Acessos	fator de evidente importância em um projeto de aterro, uma vez que são utilizados durante toda a sua operação.
Vida útil	recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos.
Custos	elaboração de um cronograma físico-financeiro é necessária para permitir a análise de viabilidade econômica do empreendimento.
Distância mínima de núcleos populacionais	recomendando-se que esta distância seja superior a 500 m.
Critérios que devem ser observados em qualquer caso:	
<ul style="list-style-type: none"> - Não deve ser implantado em áreas sujeitas a inundações, em períodos de recorrência de 100 anos; - Entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,50 m de solo insaturado; - O aterro deve ser executado em áreas onde haja predominância no subsolo de material com coeficiente de permeabilidade inferior a 5×10^{-5} cm/s; - O aterro só pode ser construído em áreas de uso conforme legislação local de uso do solo. 	

Fonte: ABNT (1997).

O local para implantar o aterro sanitário de resíduos não perigosos selecionado, deve atender o maior número de critérios, dando ênfase aos critérios de maior prioridade, que podem variar de acordo com cada região/área.

3.5 Geoprocessamento

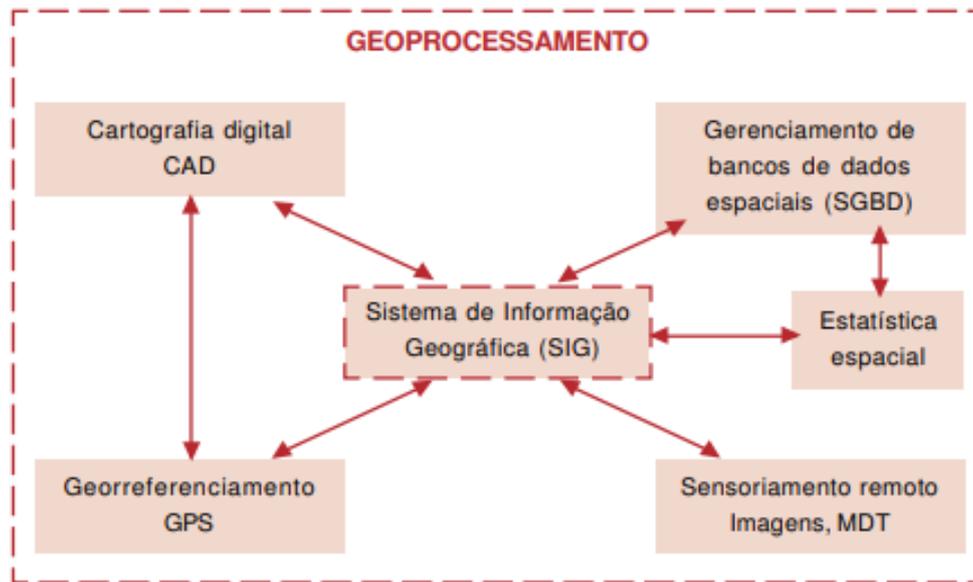
Tendo em vista a complexidade de seleção da área para se implantar um aterro sanitário, que envolva os aspectos ambientais, técnicos e socioeconômicos de cada região, nos últimos anos vem aumentando as pesquisas e, conseqüentemente, desenvolvimento de métodos que utilizam o geoprocessamento para a realização da interrelação dos fatores do meio para a seleção de área mais adequadas.

O geoprocessamento pode ser definido como uma disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o refinamento das informações geográficas. As ferramentas computacionais para o geoprocessamento são denominadas Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que ao integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados, permitem a realização de complexas análises, tornando possível a automatização da produção dos dados (CÂMARA, DAVIS, 2001).

Segundo Ferreira, Moura e Queiroz (2011, p. 2), “a finalidade operacional do Geoprocessamento é transformar dados em informação. Já a sua finalidade formal é constituída pela geração de conhecimento para apoio à decisão quanto aos recursos físicos, bióticos e socioeconômicos do ambiente”.

É importante ter em mente a diferença de geoprocessamento e SIG, o primeiro é um termo amplo que envolve diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados como digitalização, conversão de dados, modelagem digital de terreno, processamento digital de imagens, o próprio SIG, entre outros. Já o segundo, é uma ferramenta do geoprocessamento que consegue englobar na execução de atividades todas as demais ferramentas do geoprocessamento (PINA, 1998) (Figura 3.5).

Figura 3.5 - Conjunto de ferramentas do Geoprocessamento.



Fonte: Santos et al. (2007).

Para Pina (1998), os SIGs são sistemas baseados em computador, usados para armazenar e manipular informações geográficas. Permitem reunir uma grande quantidade de dados convencionais de expressão espacial, além de estruturá-los de forma a otimizar os processos de tratamento dos seus componentes (posição, topologia e atributos) nas análises e aplicações gráficas.

Davis e Câmara (2001) afirmam que devido a sua ampla diversidade de aplicações, tais como na agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias (água, energia e telefonia), há três maneiras de utilizar um SIG na área geográfica, sendo elas:

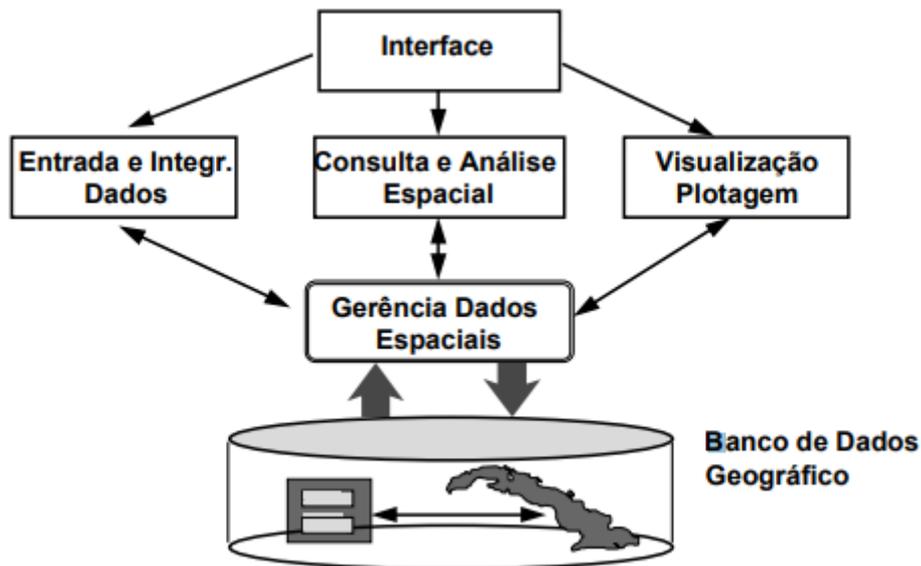
- Utilizados como ferramenta de produção de mapas;
- Empregados como análise espacial de fenômenos;
- Usados como banco de dados geográficos, que possuem funções de armazenamento e recuperação de informações espaciais.

Ambos os autores ainda indicam as principais características do SIG:

- Permitir em uma única base de dados a inserção e integração de informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Oferece mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

A estrutura geral de SIG é composta por elementos como: interface com usuário; entrada e integração de dados; funções de consulta e análise espacial; visualização e plotagem, gerência de dados espaciais e banco de dados geográficos, conforme é demonstrado na Figura 3.6. Cada sistema, de acordo com seus objetivos e necessidades, adequa os seus componentes de forma distinta, mas todos os subsistemas citados devem estar presentes num SIG (DAVIS; CÂMARA, 2001).

Figura 3.6 - Estrutura geral de SIG.



Fonte: Davis e Câmara (2001).

Nos últimos anos os SIGs vêm sendo amplamente utilizados no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, principalmente nas etapas de coleta e disposição final, sendo uma ferramenta de suma importância na facilitação da integração do processo de tomada de decisão como aporte a gestão, planejamento e otimização de ações.

3.6 Análise de Multicritérios

A análise multicritério é uma ferramenta utilizada na tomada de decisões baseadas na utilização/combinção de uma série de variáveis ou critérios de acordo com diferentes métodos. Tem como principal objetivo a hierarquização das possibilidades e/ou alternativas de um determinado problema (SOUZA, 2008).

Segundo Silva e Belderrain (2000), a análise de multicritérios auxilia o decisor na tomada de decisões de problemas nos quais vários são os objetivos a serem atingidos de forma simultânea. Esse processo é dividido em 5 etapas sendo elas:

- Definição de alternativas
- Definição de critérios relevantes para o problema em questão
- Avaliação das alternativas em relação aos critérios
- Avaliação da importância relativa de cada critério do problema
- Determinação da avaliação global de cada alternativa

Para Zambon et al. (2005), a integração do SIG e da metodologia de análise de multicritério vêm proporcionando inúmeros benefícios para a análise de problemas e tomada de decisão, influenciando positivamente no planejamento e gerenciamento no mundo real.

Na área da localização geográfica, a análise de multicritérios é utilizada para o tratamento e cruzamento de critérios levantados, sejam eles: solo, hidrografia, clima, declividade, etc, para posterior análise e atendimento ao problema/questão a ser atendida.

Existem vários métodos desenvolvidos no ambiente da análise de multicritérios, uma das mais conhecidas e a que será utilizada neste trabalho será o Método de Análise Hierárquica (AHP – Analytic Hierarchy Process).

3.7 Método AHP

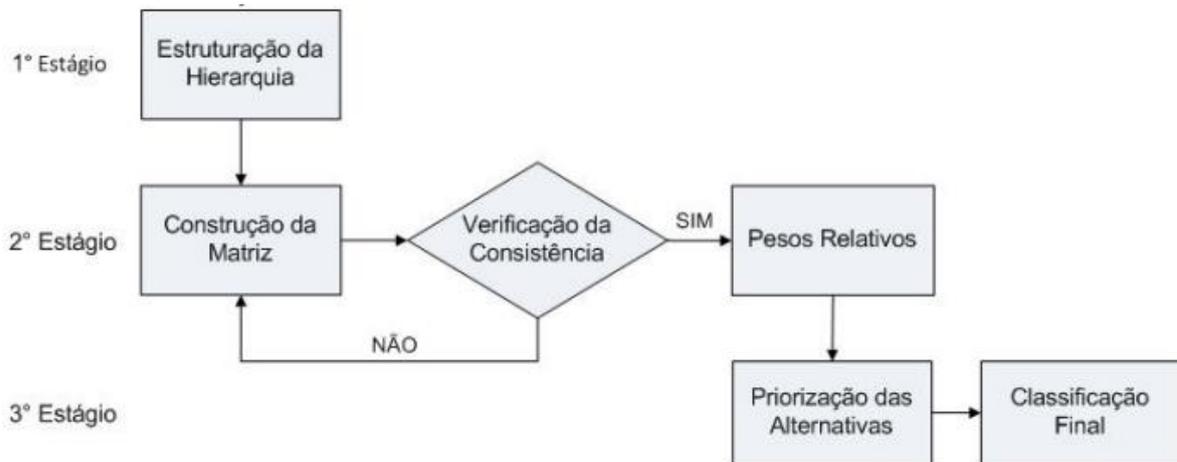
O método Analytic Hierarchy Process (AHP) ou Processo Analítico Hierárquico foi desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 70, e baseia-se na agregação de elementos, controláveis ou não, em grupos segundo propriedades comum, denominados por Saaty como hierarquia, ou seja, um sistema de níveis estratificados (SAATY, 1991).

Segundo Saaty (1991), o método é um processo de escolha baseada na lógica de comparação par a par, no qual os fatores que interferem na tomada de decisão são organizados em grupos de forma hierárquica e comparados entre si de modo a receber um peso referente ao relacionamento entre os fatores, conforme uma escala pré-definida que expressa a intensidade em que um fator predomina sobre outro, em relação à tomada de decisão.

De acordo com Silva e Nunes (2009), o processo decisório pelo método AHP ocorre em seis etapas que se agrupam em três estágios: (Figura 3.7)

- Estágio 1 – Estruturação da hierarquia de decisão
 - Elaboração da hierarquia;
- Estágio 2 – Construção da matriz de comparação pareada
 - Elaboração da matriz;
 - Verificação de consistência;
 - Definição do peso de cada fator;
- Estágio 3 – Priorização das alternativas de definições das classes de vulnerabilidade
 - Priorização das alternativas;
 - Classificação final.

Figura 3.7 - Estágios do Processo AHP.



Fonte: Silva e Nunes (2009).

Dessa forma, o método AHP é um método muito útil para procedimentos de decisão complexas, tendo em vistas uma gama de critérios a serem considerados para resolução de um determinado problema. No caso do presente trabalho, o método auxilia no planejamento e organização dos critérios utilizados fornecendo uma melhor compreensão para a seleção da área para implantação do aterro sanitário, como declividade, distanciamento de corpos hídricos e núcleos populacionais, proximidade de aeroportos, entre outros.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A execução do trabalho foi dividida em duas grandes etapas. A primeira etapa se baseia na coleta de material bibliográfico, caracterização da área de estudo, estimativa da área necessária para implantação do aterro, geração do banco de dados georreferenciados e na interpretação das normas e critérios empregados. A segunda etapa consistiu no tratamento dos dados com técnicas de análise espacial e análise de multicritério para a geração de mapas temáticos e a combinação dos mesmos.

4.1 Área de Estudo

A área estudada, município de São João del Rei, está localizada na mesorregião do Campos das Vertentes do estado de Minas Gerais, possui uma população de 84.469 habitantes, sendo 79.857 moradores da zona urbana e 4.612 moradores da zona rural, um território de 1.464,327 Km², onde estão situados 27.313 domicílios (IBGE, 2010).

O município se situa na Bacia do Rio Grande, sendo o Rio das Mortes o principal entre os rios que banham a cidade. Possui um relevo formado pelas serras do complexo da Serra da Mantiqueira, uma grande diversidade ecológica representativa da mata atlântica e do cerrado e apresenta um clima tropical de altitude, caracterizado por verões quentes e úmidos.

4.2 Cálculo da Área para Implantação do Aterro Sanitário

Para o cálculo da área ideal para implantação do aterro sanitário, considerou-se que o mesmo terá uma vida útil de 20 anos, ou seja, cessará suas atividades em 2042. Conforme utilizado por Santos e Girard (2007), Equação 4.1, a população futura da região foi estimada por meio da quantidade de resíduos gerados por dia pela população de 1kg/hab.dia e uma taxa de crescimento de 0,5%. A população inicial foi obtida por meio do IBGE.

$$P_f = P_0 * (1 + d)^t \quad (4.1)$$

Na qual:

P_f = população futura estimada (hab);

P_0 = população atual (hab);

d = taxa de crescimento anual; e
 t = tempo (anos).

Para estimar a quantidade total de resíduos produzidos diariamente pela população, foi realizado o produto do valor encontrado para a população futura e a produção per capita de resíduos gerados (Equação 4.2). Considerou-se que a população produzirá, em média, 1kg/hab dia de resíduo domiciliar.

$$Q_r = P_f * a \quad (4.2)$$

Na qual:

Q_r = quantidade total de resíduos produzidos diariamente (kg);

P_f = população futura estimada (hab); e

a = produção per capita de resíduos (kg/hab).

O volume de resíduos esperado para o ano de 2042 é encontrado pela multiplicação da geração diária de resíduos pelos dias de um ano (365 dias) e pelos anos de vida útil do aterro, conforme Equação 4.3.

$$V_f = Q_r * 365 * 20 \quad (4.3)$$

Na qual:

V_f = volume de resíduos esperado para o ano de 2042; e

Q_r = quantidade total de resíduos produzidos diariamente (kg).

Para o cálculo do volume total de resíduos encaminhados para o aterro ao longo de sua vida útil, foi realizado a divisão do volume de resíduos esperado para o ano de 2042 com a densidade do resíduo compactado (Equação 4.4). De acordo com Haddad (1994), o peso específico do lixo compactado é 500 a 700 kg/m³. Utilizou-se o maior valor, 700 kg/m³, pois em aterros sanitários a compactação dos resíduos é bastante elevada devido a frequente passagem de caminhões no local.

$$V_{VU} = \frac{V_f}{\rho_r} \quad (4.4)$$

Na qual:

V_{VU} = volume total de resíduos ao longo da vida útil do aterro;

V_f = volume de resíduos esperado para o ano de 2042 e;

ρ_r = densidade do resíduo compactado (kg/m^3).

Visando garantir a segurança do aterro sanitário, garantindo que ele consiga armazenar todo resíduo gerado pela população, foi adotado um volume de segurança que corresponde a 20% do volume total, conforme a Equação 4.5.

$$V_s = V_{VU} + (V_{VU} * 0,2) \quad (4.5)$$

Na qual:

V_s = volume de segurança (m^3); e

V_{VU} = volume total de resíduos ao longo da vida útil do aterro (m^3).

Para encontrar a área necessária para a implantação do aterro sanitário em São João del Rei adotou-se que a altura do local poderá atingir no máximo 20 metros (Equação 4.6).

$$A = \frac{V_s}{H} \quad (4.6)$$

Na qual:

A = área necessária para implantação do aterro sanitário (m^2);

V_s = volume de segurança (m^3); e

H = Altura máxima do aterro (m).

4.3 Levantamento dos Dados

Foi realizado o levantamento das bases cartográficas e alfanuméricas, bem como de referências bibliográficas relacionadas ao tema. Os dados cartográficos levantados foram processados e compilados através de procedimentos de digitalização, vetorização, associação de dados alfanuméricos e conversão vetor/raster. Para a análise espacial e geração dos mapas, foi utilizado o software QGIS 3.22.1 (QGIS, 2022).

4.4 Mapas Temáticos

Foram selecionados 7 critérios de seleção de área para implantação do aterro sanitário. A NBR 13896, já estabelece os critérios de distanciamento de corpos hídricos, de núcleos populacionais, de tipos de solo recomendados e declividade (ABNT, 1997). Desta forma, foram adicionados os critérios de distanciamento de rodovias, unidades de conservação e proximidade de aeroportos para melhor precisão de um potencial local e minimização de potenciais danos e custos.

O critério de proximidade de aeroportos foi estipulado de acordo com a resolução CONAMA nº4 de 1995 (BRASIL, 1995), que estabelece as Áreas de Segurança Portuárias (ASP).

A Tabela 4.1 apresenta as restrições de cada critério a serem utilizadas para encontrar o local ideal de implantação do aterro sanitário.

Tabela 4.1 - Critérios e restrições para área de implantação do aterro sanitário.

Critérios	Restrição
Distanciamento de corpos hídricos	> 200 m
Profundidade do lençol freático	> 1,5 m
Núcleos populacionais	> 500 m
Tipo de solo recomendado	Solos pouco permeáveis
Distanciamento de rodovias	> 100 m
Declividade	> 1% e < 30%
Unidade de conservação	Áreas de Preservação e Unidades de Conservação
Proximidade a aeropostos	Fora da área: Aeródromos - raio de 15 km Aeroportos - raio de 20 km

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os dados de hidrografia, rodovias, unidades de conservação e do solo foram obtidos por meio da Plataforma de Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE – SISEMA) de Minas Gerais. Os dados do núcleo populacional

foram obtidos por meio do IBGE e da declividade por meio do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) do INPE.

Após a obtenção dos mapas e vetores para cada critério, os mesmos foram georreferenciados no sistema de coordenadas e transformados para formato compatível com o exigido pela análise de multicritério.

Para a geração dos mapas temáticos correspondente a cada critério, foram feitas as seguintes considerações:

- Distanciamento de corpos hídricos: áreas fora do raio de restrição são aptas para implantação;
- Núcleos populacionais: os maiores valores de aptidão foram atribuídos as áreas mais distantes dos núcleos populacionais, pois áreas muito próximas afetam diretamente a qualidade de vida dos moradores adjacentes;
- Tipo de solo: preferência para solos que apresentam menor permeabilidade, pois os mesmos oferecem uma maior resistência à percolação de possíveis contaminantes.
- Distanciamento de rodovias: maiores valores de aptidão as áreas mais distantes das vias de acesso visando a não perturbação das mesmas.
- Declividade: atendendo a restrição na Tabela 4.1, preferência para as áreas de baixa declividade pois áreas muito declivosas contribuem com o aumento do escoamento superficial durante uma precipitação;
- Unidades de conservação: para implantação de um aterro sanitário, é necessário que sejam respeitados os locais estabelecidos na legislação ambiental para Áreas de Preservação e Unidades de Conservação.
- Proximidade de aeroportos: áreas fora do raio de restrição, de acordo com a ASP, são aptas para implantação.

Para Corseuil (2006), os critérios possuem duas naturezas: restritiva e relativa. Os critérios restritivos, chamados de restrição, são caracterizados por limitar as alternativas que estão sendo consideradas, são critério de caráter *Booleano* (sim ou não). Já os critérios de natureza relativa, denominados fatores, apresentam certo grau de aptidão para uma alternativa específica para atividade que está sendo considerada.

Desta forma, foram dadas notas de 0 a 5 aos diversos critérios adotados para a realização da análise, sendo 0 para exclusão da área e 5 para a área mais adequada.

Os critérios restritivos receberam nota 0 indicando a exclusão da área e nota 5 considerando-a como adequada. Para os critérios relativos foram fornecidas notas como 0, 1, 2, 3, 4 e 5, sendo 0 indicando a exclusão da área e as outras notas, de forma crescente, como áreas adequadas, sendo 5 a melhor área e 1 a pior área dentre as áreas adequadas. A Tabela 4.2 mostra as notas dadas a cada classe dos critérios relativos.

Tabela 4.2 - Critérios, classes e notas dos critérios relativos adotados.

Critérios	classe	Nota
Tipologia do solo	Água	0
	Afloramento rochoso (Ar)	0
	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd)	1
	Latossolo Vermelho distrófico (LVd)	2
	Neossolo Litólico distrófico (RLd)	3
	Cambissolo háplico Tb distrófico (CXbd)	4
	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd)	5
Distanciamento de rodovias	Menor que 100 m	0
	Entre 100 e 1 km	1
	Entre 1 km e 2 km	2
	Entre 2 km e 3 km	3
	Entre 3 km e 4 km	4
	Maior que 4 km	5
Distanciamento de núcleo urbano	Menor de 500 m	0
	Entre 0,5 e 1 km	1
	Entre 1 e 1,5 km	2
	Entre 1,5 e 2 km	3
	Entre 2 e 2,5 km	4
	Maior que 2,5 km	5
Declividade	Menor ou igual a 1%	0
	Entre 1 e 6%	1
	Entre 6 e 12%	2
	Entre 12 e 18%	3
	Entre 18 e 24%	4
	Entre 24 e 30%	5
	Maior que 30%	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A Tabela 4.3 mostra um resumo das notas dadas a cada classe dos critérios restritivos.

Tabela 4.3 - Critérios, classes e notas dos critérios restritivos adotados.

Critérios	classe	Nota
Distanciamento de corpos hídricos	Até 200 m	0
	Mais que 200 m	5
Proximidade de aeroportos	Raio de 15 km	0
	Fora do raio de 15 km	5
Unidades de Conservação	Na área da unidade de conservação	0
	Fora da área da unidade de conservação	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.5 Método AHP

Para a aplicação do método de análise de multicritério, além de técnicas espacial, foi aplicado o processo de análise hierárquica – AHP. Este método permite a combinação e avaliação das variáveis par a par. Desta forma, inicialmente foi realizado a estruturação dos critérios, que consiste em modelar o problema de decisão numa estrutura hierárquica.

Após a hierarquização dos critérios, é realizada a coleta de julgamento dos decisores. O julgamento é feito por meio da comparação pareada entre dois elementos de uma matriz quadrada, cuja ordem é igual ao número de elementos subordinados ao nó imediatamente superior.

Para execução do julgamento, é realizado a comparação de cada elemento da linha com cada elemento da coluna e registrado o valor do julgamento na matriz na posição linha e coluna referente aos elementos comparados. A Tabela 4.4 exemplifica a aplicação e construção da matriz paritária, ou matriz de julgamentos.

Tabela 4.4 - Matriz de comparação paritária ou matriz de julgamentos.

	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D
Critério A	1	2	3	5
Critério B	1/2	1	2	4
Critério C	1/3	1/2	1	3
Critério D	1/5	1/4	1/3	1

Fonte: Adaptado de Godoi (2014).

É utilizada uma escala de referência para que sejam estabelecidas as comparações pareadas para todos os fatores. Saaty (1991) propôs uma escala que contém nove valores numéricos, com as respectivas definições, como mostrado na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Escala fundamental de Saaty – AHP.

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

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

Em seguida é realizado a normalização dos valores atribuídos aos critérios comparados. Desta forma, foram somados os valores da entrada de cada linha da matriz e realizou-se a divisão do valor obtido pelo somatório total das mesmas para cada linha. Assim sendo, foi possível obter o autovetor, ou seja, uma estimativa do peso de cada critério, estes pesos indicam quais critérios possuem mais relevância na comparação das alternativas auxiliando no processo decisório.

Após a obtenção dos pesos para cada critério, é necessário verificar o grau de consistências dos mesmos, pois um tomador de decisão nem sempre consegue realizar comparações de pares perfeitamente consistentes. Segundo Saaty (1991), a avaliação do grau de consistência é realizada por meio do cálculo da Razão da Consistência (RC), onde, são considerados valores satisfatórios de consistência $RC < 0,1$. Valores superiores a 0,1 indicam problemas de inconsistência, não podendo ser utilizado o método AHP e sendo necessário uma revisão na atribuição dos valores fundamentais. O cálculo do RC é definido pela equação 4.7.

$$RC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} / IR \quad (4.7)$$

Na qual:

n = Ordem da matriz;

$\lambda_{m\acute{a}x}$ = Autovalor da matriz; e

IR = Índice Randômico.

O Índice Randômicos (IR) é extraído da tabela de valores para matrizes quadradas de ordem n , conforme orientado por Saaty (1991) (Tabela 4.6).

Tabela 4.6 - Índices Randômicos (IR).

Ordem da Matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Valores de IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

Por fim, após a obtenção dos pesos para cada critério é gerado o produto cartográfico. Mapa final resultante da sobreposição das camadas de entrada com base nos pesos calculados a partir do método Analytic Hierarchy Process (AHP), que será foco das análises e discussões das potenciais áreas para implantação do aterro sanitário no município de São João del Rei.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A população futura da região apresentou uma tendência de aumento atingindo no ano de 2042, conforme a estimativa, a quantidade de 100432 habitantes, necessitando de uma área mínima para implantação do aterro sanitário no município de São João del Rei que atenda a necessidade da população durante os seus 20 anos de funcionamento de 62842 m², conforme demonstrado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Resultados das variáveis base para o cálculo da área do aterro sanitário para o município de São João del Rei – MG.

Variável	Resultado
População futura estimada	100432 hab
Quantidade total de resíduos produzidos diariamente	100432 kg/hab
Volume total de resíduo ao longo da vida útil do aterro (2042)	1047359 m ³
Volume final	1256831 m ³
Área necessária para implantação do aterro sanitário	62842 m ²

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

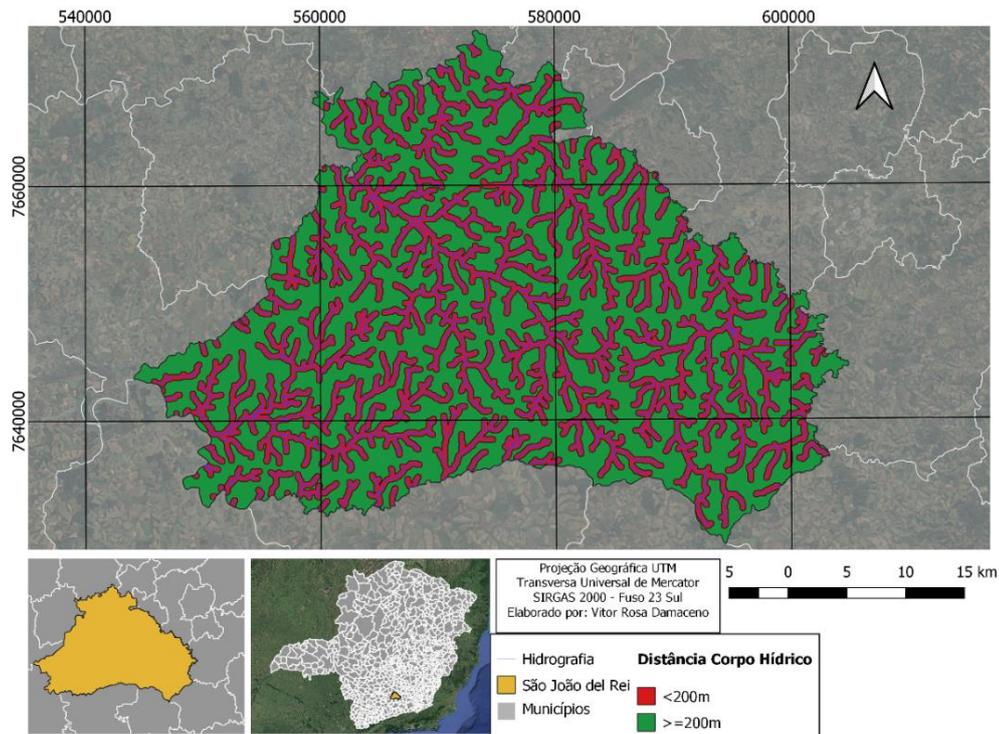
As Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam os mapas que receberão notas binárias para os critérios restritivos. De acordo com a NBR 13896 (ABNT, 1997), o aterro a ser implantado deve respeitar uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso d'água, isso se dá pelo de possível contaminação dos percolados gerados por meio da decomposição dos resíduos. No mapa é possível observar a restrição de 200 m dos corpos hídricos em vermelho e as áreas aptas em verde.

Na área do município há a presença de um aeródromo chamado Aeroporto Prefeito Octávio de Almeida Neves que se situa na porção Norte. Desta forma, foi utilizado um raio de 15 km em torno no aeródromo, conforme a CONAMA nº4 de 1995 (BRASIL, 1995), visando estabelecer uma área restritiva de segurança aeroportuária, tendo em vista que empreendimentos como os de aterros sanitários são atrativos para aves e acabam se tornando

atividades de natureza perigosa e, conseqüentemente, aumentando a possibilidade de incidentes e/ou acidentes aéreos.

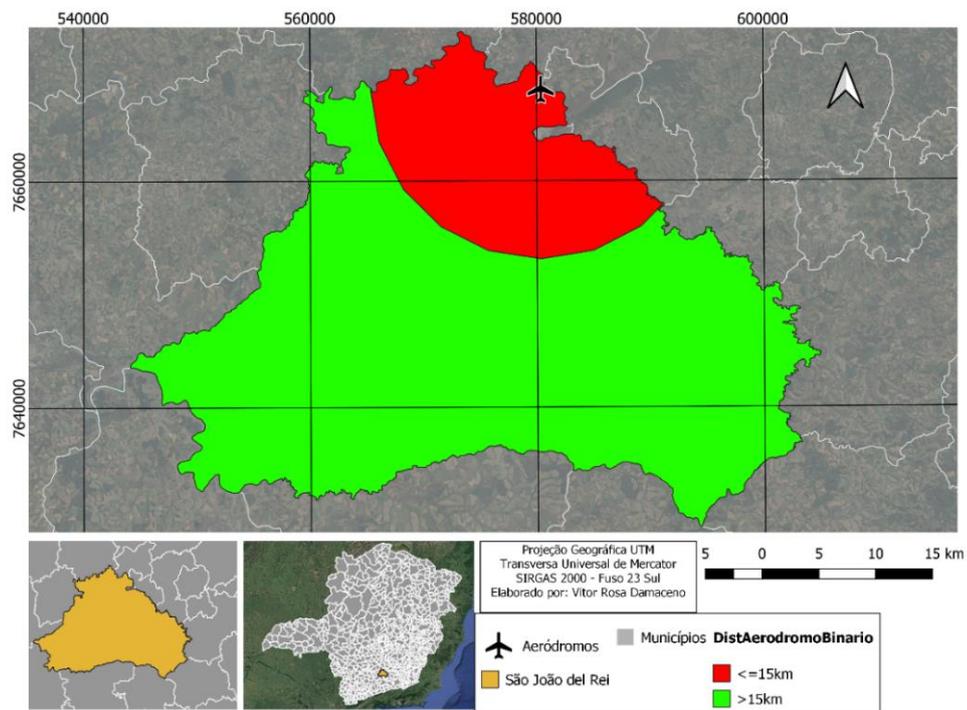
Próximo ao limite do município de São João del Rei há uma unidade de conservação de federal, chamada Floresta Nacional de Ritópolis, no qual a sua zona de amortecimento é integrante do município. Também, uma pequena parte da unidade de conservação estadual Refugio de Vida Silvestre Estadual Libélulas da Serra de São Jose ocupa parte do território do município. Para as unidades de conservação foi realizado um buffer de 3 km considerando como área de restrição suas respectivas zonas de amortecimento. Nas pesquisas realizadas, não se observou presença de terras indígenas e quilombolas na região.

Figura 5.1 - Mapa da hidrografia do município de São João del Rei - MG.



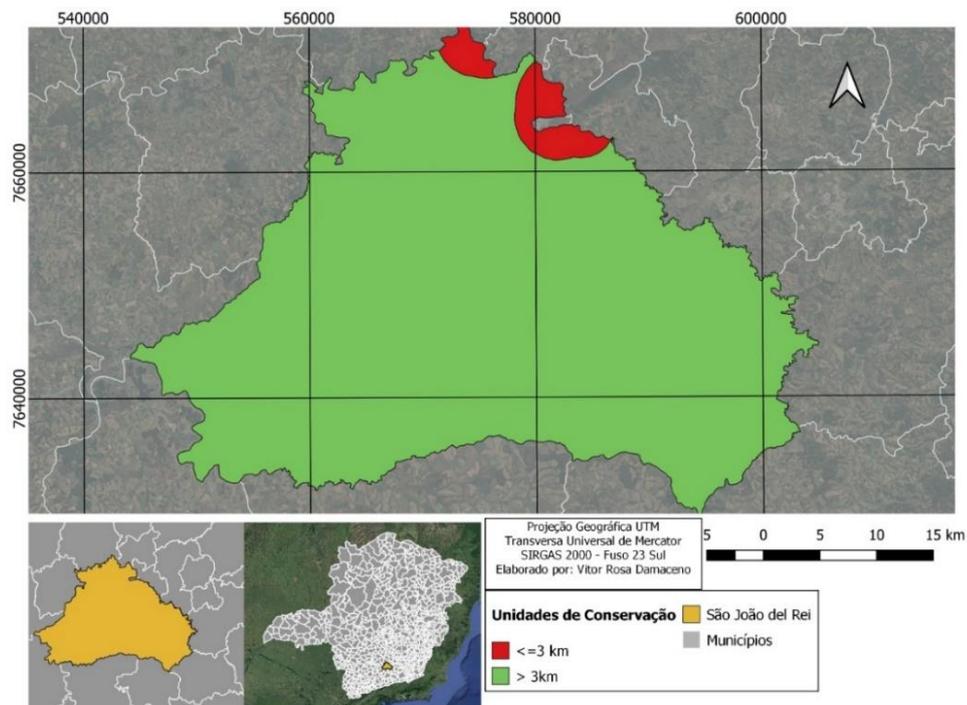
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 5.2 - Mapa de distanciamento de aeroportos do município de São João del Rei - MG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 5.3 - Mapa de restrição das unidades de conservação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

As figuras 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7, apresentam os mapas de restrição dos critérios relativos adotados.

Foi realizado o levantamento de solo da região e posteriormente a classificação dos mesmos conforme sua permeabilidade (Tabela 4.2). Os afloramentos rochosos foram considerados área inaptas devido à dificuldade de manuseio deste tipo de área. De acordo com a Figura 5.4, é possível observar que grande parte do município de São João del Rei é formado pelos tipos de solo latossolo vermelho-amarelo distrófico (LVAd) que possui uma permeabilidade média a alta e cambissolo háplico tb distrófico (CXbd) que possui permeabilidade média a baixa.

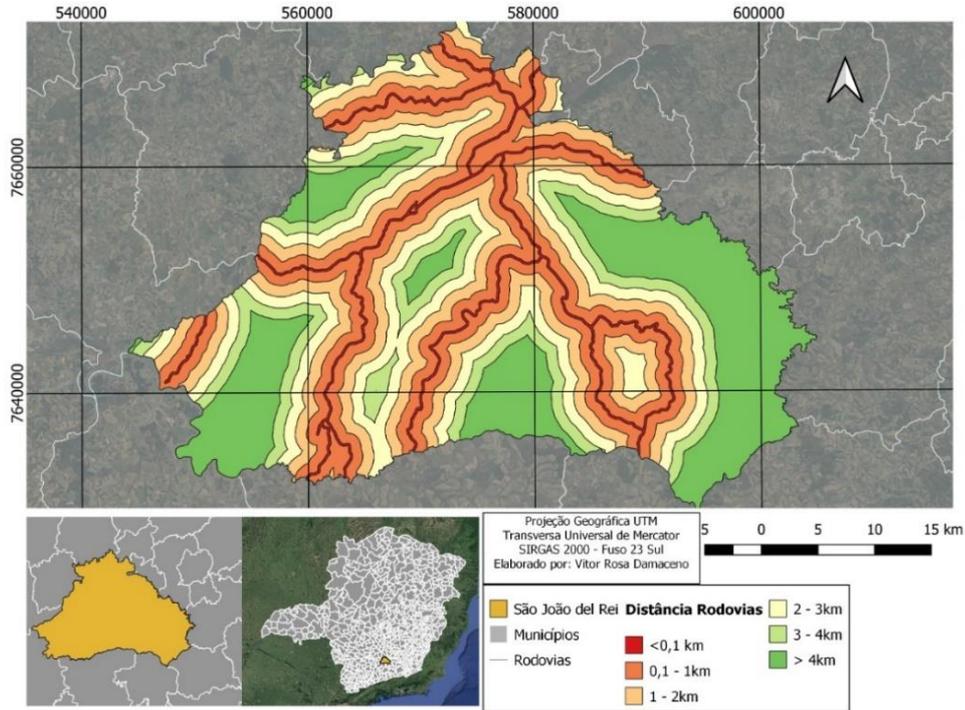
Apesar da norma estabelecer critérios técnicos para construção de aterro sanitários, como um eficiente sistema de impermeabilização do solo, é imprescindível a preocupação necessária de que este tipo de empreendimento seja implantado em áreas que possuem solos de baixa permeabilidades, de forma a diminuir os riscos de contaminação do solo e lençol freático.

A Figura 5.5 apresenta o mapa com as principais rodovias que cortam o município de São João del Rei. Para atendimento a NBR 13896, em vermelho se encontra o raio restritivo de 100 m das rodovias. O intervalo de raio de 100 m a 1 km foi considerado uma área de baixo interesse de implantação do aterro devido a possibilidade de ainda houver impactos ambientais, como ruídos, odores e modificação de paisagem na região.

Por ser um município de significativa área territorial e possuinte de um mediano número de rodovias, há uma área expressiva apta a implantação, tendo em vista apenas este critério.

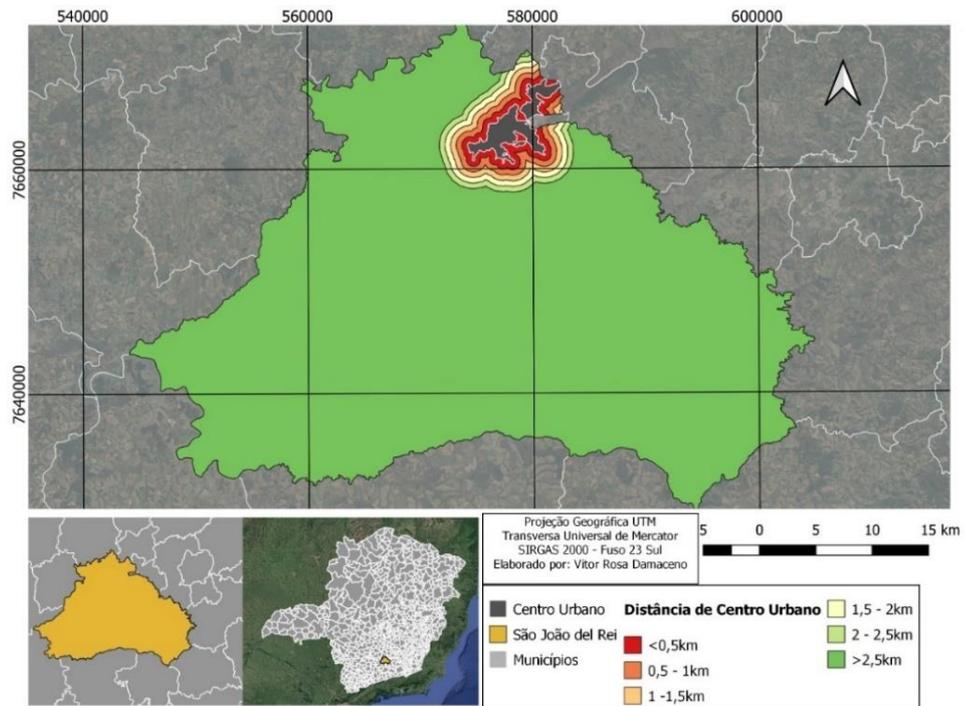
O núcleo urbano de São João del Rei se localiza na porção norte do município (Figura 5.6), fazendo interligação com o município de Santa Cruz de Minas e Tiradentes. É recomendado a implantação de aterros sanitários em locais mais distantes de núcleos populacionais, uma vez que um aterro sanitário localizado muito próximo pode afetar a qualidade de vida da população, principalmente quando operado de forma inadequado podendo contribuir para proliferação de vetores, afetando a saúde local, e sendo atrativo para pessoas que vivem da coleta de resíduos.

Figura 5.5 - Mapa de distanciamento de rodovias do município de São João del Rei - MG.



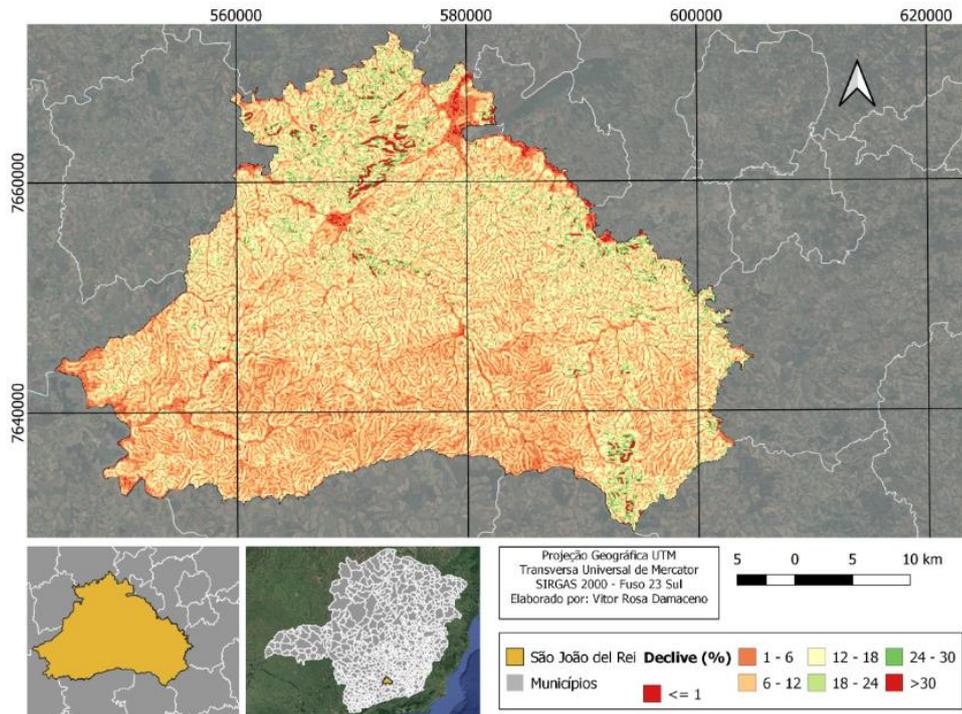
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 5.6 - Mapa de distanciamento do núcleo populacional do município de São João del Rei - MG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 5.7 - Mapa de declividade do município de São João del Rei - MG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Aplicando a análise de multicritérios pelo método AHP nos 7 critérios selecionados foram obtidos os autovetores para cada critério (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 - Autovetores dos critérios de seleção de área.

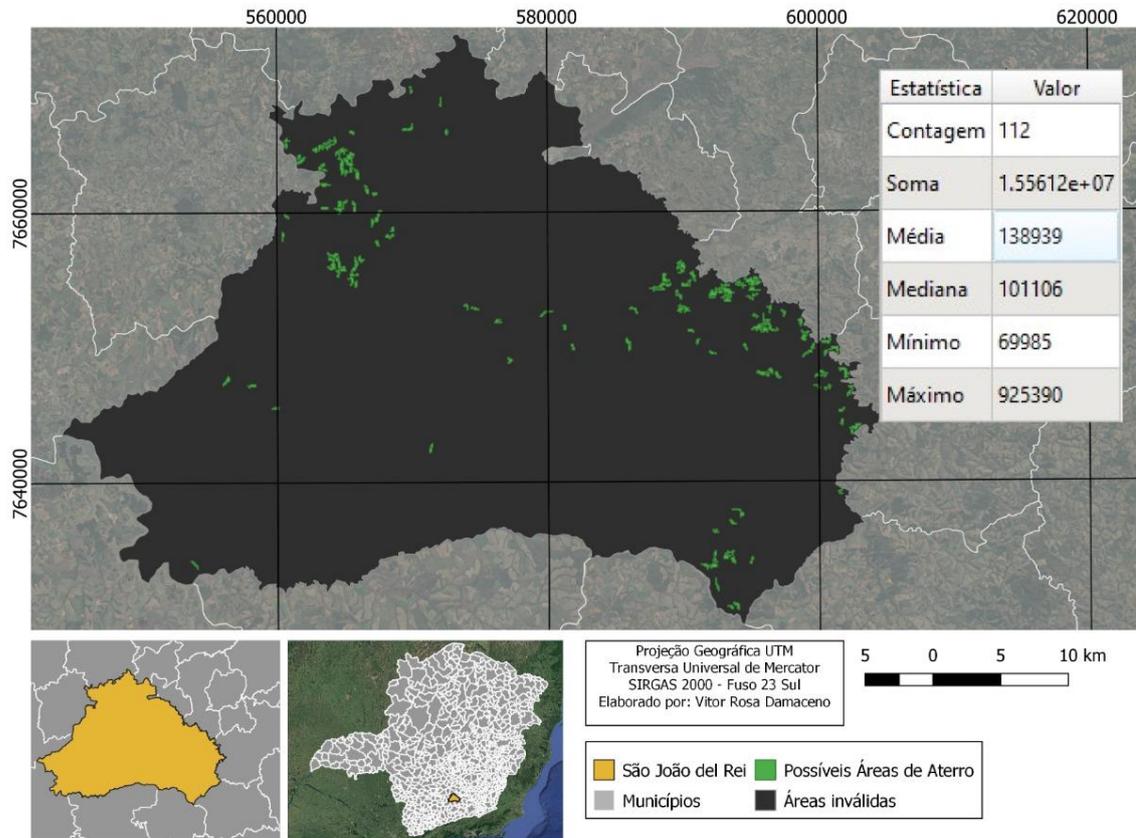
Critério	Hidrografia	Declividade	UC	Urbano	Solo	Aeroporto	Rodovias
Autovetor	0,3086	0,2369	0,1745	0,1221	0,0803	0,0490	0,0286

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O valor para a Razão de Consistência (RC) encontrado foi de 0,035, ou seja, menor 0,1. Este resultado permite afirmar que os julgamentos para a matriz são considerados consistentes, logo, os pesos calculados são satisfatórios.

Atribuídos os pesos para cada critério, foi gerado o produto cartográfico (Figura 5.8), tendo seus dados variando de 0 a 1. Dando importância a uma maior proteção ambiental e social, foi realizada uma reclassificação dos dados, gerando uma faixa binária, sendo de 0 a 0,9 áreas inaptas a implantação do aterro sanitário e 0,91 a 1 áreas aptas a implantação.

Figura 5.8 - Mapa de áreas aptas a implantação de aterro sanitário no município de São João del Rei - MG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Visando atender a área mínima necessária de 62842 m² para implantação do aterro sanitário que atenda a necessidade da população até o ano de 2042, é possível observar, no município de São João del Rei, 112 possíveis áreas aptas a implantação com base nos critérios analisados.

As regiões leste, noroeste e sudeste do município apresentam as maiores concentrações de áreas aptas a implantação. Além disso, grande parte das áreas estão próximas do limite territorial do município, ou seja, pode-se pensar na possibilidade da formação de consórcios intermunicipais para o gerenciamento conjuntos dos RSU, tendo em vista a dificuldade econômica de alguns municípios para implantação de um aterro sanitário e/ou de encontrar áreas aptas para implantação.

É importante ressaltar que apesar de os resultados da análise multicritério utilizando o método AHP indicarem os melhores resultados para as áreas mais adequadas para implantação do aterro sanitário no município, essas não necessariamente correspondem a áreas mais viáveis em todos os aspectos, principalmente econômico, tendo em vista que não foram considerados fatores como aquisição de terreno, distância da fonte geradora de RSU ao ponto de disposição final, entre outros. Além disso, há diversos fatores de difícil mensuração que interferem na seleção da área que não é possível ser mensurado por meio de dados espaciais.

Ademais, as áreas excluídas pelo método não necessariamente significa que sejam áreas proibidas para a implantação de um aterro sanitário, mesmo porque, os resultados obtidos por meio do método servem para orientar a escolha de locais mais favoráveis de acordo com as restrições, ponderações e critérios analisados.

6 CONCLUSÕES

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, especificamente a destinação final, tem sido um grande problema a ser enfrentado em diversos municípios, seja por questões econômicas, sociais ou ambientais. Nesse sentido, a utilização do geoprocessamento se mostrou uma técnica eficaz na redução de custos e tempo, além do mais, a metodologia descrita neste trabalho permite a adaptação de acordo com os dados espaciais disponíveis para a região e critérios a serem analisados, obtendo resultados preliminares satisfatórios para seleção de área para implantação de aterros sanitários.

A utilização do método Analytic Hierarchy Process (AHP) apresenta-se com uma alternativa viável para ponderação de múltiplos critérios. Os pesos atribuídos a cada critério de restrição de área apresentaram um valor para a Razão de Consistência (RC) de 0,035, sendo inferior 0,1, ou seja, os pesos atribuídos são considerados consistentes e permitiram a construção de um mapa que auxilia na tomada de decisões.

Com base nos 7 critérios analisados (hidrografia, declividade, unidades de conservação, núcleo urbano, solo, aeroportos e rodovias), foram encontradas 112 possíveis áreas aptas a implantação de aterros sanitários com capacidade de 20 anos no município de São João del Rei - MG. As regiões leste, noroeste e sudeste do município apresentaram as maiores concentrações de áreas aptas, ademais, há uma quantidade expressiva de áreas próximas ao limite do município.

Por fim, é importante ressaltar que as técnicas apresentadas no presente trabalho são uma etapa preliminar de indicação de áreas aptas, sendo necessário a realização estudos aprofundados das áreas selecionadas, como a utilização de mais critérios, vistoriais “in loco”, estudo do planejamento urbano da região, entre outros, com o intuito de evitar a seleção de áreas que podem vir a ser inviáveis.

7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se estudos mais aprofundados sobre as áreas consideradas aptas para implantação de aterros sanitários em São João del Rei - MG, tendo em vista que o presente trabalho apresenta técnicas referentes a uma etapa preliminar, não sendo avaliados fatores econômicos como aquisição de terreno e distância das fontes geradoras de RSU. Além disso, alguns critérios presentes na NBR 13896/97 são de difícil mensuração por meio de dados espaciais.

Devido ao fato de grande parte das áreas aptas a implantação se localizarem próximo ao limite do município, a formação de consórcios intermunicipais para o gerenciamento em conjunto dos RSU pode ser uma boa alternativa a ser estudada. No entanto, também deve-se realizar um estudo local, visto que o presente trabalho teve foco no Município de São João del Rei e a implantação nessas áreas pode implicar em efeitos negativos a municípios vizinhos.

Sugere-se que pesquisas deste tipo sejam realizadas nos demais municípios do Estado, pois servem de subsídio para implementação de políticas sustentáveis.

Por último, ressalta-se a importância da utilização de fontes credíveis e atualizadas para projetos que se baseiam em dados espaciais.

8 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8849. Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos.** Rio de Janeiro: ABNT, 1985. 9p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8419. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 7p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13896. Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 12p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA - ABNT. **NBR 10004 Resíduos sólidos - Classificação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **BBR 15849. Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 24p.
- ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020.** São Paulo: ABRELPE, 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 05 mai. 2022.
- ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021.** São Paulo: ABRELPE, 2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>. Acesso em: 05 mai. 2022.
- ALBERTIN, R. M.; MORAIS, E; NETO, G. A.; ANGELIS, B. L. D.; CORVELONI, E.; SILVA, F. F. et al. Diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos urbanos do município de Flórida Paraná. **Revista Agro@mbiente On-line.** v.4, n. 2, p. 118-125, jul-dez, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277236659_Diagnostico_da_gestao_dos_residuos_solidos_urbanos_do_municipio_de_Florida_Parana. Acesso em: 05 mai. 2022.
- ALBUQUERQUE, J. B. T. **Resíduos sólidos.** Leme: Independente, 2011.
- BRASIL. **Resolução Conama nº 004, de 11 de dezembro de 1995.** Estabelece as Áreas de Segurança Portuária – ASAs. Ministério do Meio Ambiente. Poder Executivo, Brasília, DF. 1995. Disponível em: https://www.pilotopolicial.com.br/wp-content/uploads/2017/04/CONAMA_RES_CONS_1995_004.pdf. Acesso: 14 mai. 2022.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 06 mai. 2022.

BRUSCHI, D. M. **Análise do Programa Minas Sem Lixões: Contribuição à Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Minas Gerais, 2003-2010.** Dissertação de Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2011. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2907>. Acesso em: 06 mai. 2022.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. 1 - Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2001. cap. 1, 57 p. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2022.

CEMPRE. **Lixo municipal: Manual de gerenciamento integrado.** 4 ed. São Paulo: CEMPRE, 2018. 316 p. ISBN 978-85-87345-02-8. Disponível em: https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf. Acesso em: 22 jun. 2022.

CHERNICHARO, C. A. L.; RUTKOWSKI, E. W.; JUNIOR, I. V.; CASSINI, S. T. (coord.). **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: Guia do profissional em treinamento: nível 2.** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 120 p. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/projetooperacaoemonitoramentodeaterrossanitarios-nivel2.pdf. Acesso em: 23 jun. 2022.

CORSEUIL, C. W. **Técnicas de geoprocessamento e de análise de Multicritérios na adequação de uso das terras.** Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu. 2006. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/101716/corseuil_cw_dr_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 03 dez. 2022.

DAVIS, C. CÂMARA, G. 3 - Arquitetura de sistemas de informação geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2001. cap. 3, 57 p. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2022.

ESCOSTEGUY, P. A. V. **Gerenciamento de resíduos sólidos e seus impactos Ambientais: uma visão do contexto atual.** Passo Fundo: UPF Editora, 2003. 112 p.

FERREIRA, F. C.; MOURA, A. C. M.; QUEIROZ, G. C. **Geoprocessamento no Planejamento Urbano**. XIII CONFIBSIG - Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica. Toluca, México, 2011. 15 p. Disponível em: <https://geoprocea.arq.ufmg.br/publicacoes/2011/geoprocessamento-no-planejamento-urbano>. Acesso em: 23 jun. 2022.

FERREIRA, A. C.; ROCHA, L. C.; FIGUEIREDO, M. A. Resíduos Sólidos: Estudo sobre a Atual Situação no Município de São João del Rei/MG. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**. v. 01, n. 05, p. 107-122, 2013. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/516/542. Acesso em: 14 mai. 2022.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. **Panorama da Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de Minas Gerais em 2018**. Belo Horizonte: FEAM, 2019. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/2019/MINAS_SEM_LIXOES/Relat%C3%B3rio_de_Progresso_2019_-_PANORAMA_RSU_Ano_base_2018_v_1912.pdf. Acesso em: 10 mai. 2022.

GODOI, W. C. Método de Construção das Matrizes de Julgamento Paritários no AHP – Método do Julgamento Holístico. **Revista Gestão Industrial**. v. 10, n. 03: p.474- 493, 2014. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/viewFile/1970/1862>. Acesso em: 03 dez. 2022.

GUNTHER, W. M. R. **Resíduos Sólidos no Contexto da Saúde Ambiental**. Faculdade de Saúde Pública – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/6/tde-19072010-144112/publico/Textolivredocwandariisso.pdf#page=36>. Acesso em: 22 jun. 2022.

HADDAD, J. F. **Disposição de lixo no solo, aterro sanitário e aterro controlado**. Curso Latino-Americano de limpeza urbana e administração de resíduos sólidos UERJ/Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1994.

HAMADA, J. **Concepção de Aterros Sanitários: Análise Crítica e Contribuições para seu Aprimoramento no Brasil**. Tese de Livre Docência. UNESP/FEB. Bauru. 2003.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

KATAOKA, S. M. **Avaliação de Áreas para Disposição de Resíduos: Proposta de Planilha para Gerenciamento Ambiental Aplicado a Aterro Sanitário Industrial**. 2000. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-15062018-183803/publico/Dissert_Kataoka_SergioM.pdf. Acesso em: 05 mai. 2022.

LOPES, L. **Gestão e gerenciamento integrados dos resíduos sólidos urbanos: Alternativas para pequenos municípios.** Dissertação de Mestrado em Geografia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-01102008-162337/publico/DISSERTACAO_LUCIANA_LOPES.pdf. Acesso em: 20 jun. 2022.

MELO, A. L. O. **Avaliação e seleção de áreas para implantação de aterro sanitário utilizando lógica fuzzy e análise multicritério: uma proposta metodológica. aplicação ao município de Cachoeiro de Itapemirim - ES.** Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/11276/1/texto%20completo.PDF>. Acesso em: 22 jun. 22.

NETO, J. T. O. **Determinação de áreas favoráveis à implantação de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos par ao município de Piumhi - MG.** Monografia (especialização). Instituto de Geociências – Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-955QS7/1/jose_terra_netto.pdf. Acesso em: 29 nov. 22.

NOGUEIRA, R. C.; ROCHA, M. S. **Auditorias Operacionais em Aterros Sanitários.** VI Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas (VI SINAOP). Florianópolis, 2001. Disponível em: <https://xdocs.com.br/doc/auditorias-em-aterros-anitarios-gdokg2px99ny>. Acesso em: 22 jun. 2022.

PINA, M.F.R.P. Potencialidades dos Sistemas de Informações Geográficas na Área da Saúde. In: NAJAR, et al. **Saúde e espaço: estudos metodológicos e técnicas de análise.** Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 1998. Disponível em: <https://static.scielo.org/scielobooks/wjkcx/pdf/najar-9788575412954.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2022.

PORTELLA, M. O.; RIBEIRO, J. C. J. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 4, n. 1, p. 115-134, 2014. Disponível em: <file:///C:/Users/bebel/Downloads/3687-13083-1-PB.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2022.

QGIS. org, %Y. **QGIS Geographic Information System.** QGIS Association. Disponível em: <http://www.qgis.org>. Acesso em: 28 nov. 2022.

SAATY, T.L. **The Analytic Hierarchy Process.** New York: McGraw-Hil, 1980.

SAATY, T.L. **Método de Análise Hierárquica.** São Paulo, Editora Makron, 1991.

SAMIZAVA, M. T.; KAIDA, R. H.; IMAI, N. N.; NUNES, J. O. R. SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 60,v. 1, p. 15-22. abril 2008. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/279490803_SIG_APLICADO_A_ESCOLHA_DE_AREAS_POTENCIAIS_PARA_INSTALACAO_DE_ATERROS_SANITARIOS_NO_MUNICIPIO_DE_PRESIDENTE_PRUDENTE_-_SP. Acesso em: 14 mai. 2022.

SANTOS, J. S. dos; GIRARDI, A. G. **Utilização de geoprocessamento para localização de áreas para aterro sanitário no município de Alegrete-RS**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, p.01-08, 2007. Disponível em: <http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.52/doc/5491-5498.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2022.

SANTOS, L. Q. **Lixo Urbano: Um estudo da disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Porto Nacional - TO**. 2018. Dissertação de Mestrado em Ciências do Ambiente. Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2018. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/924/1/Luana%20Quadros%20dos%20Santos%20-%20Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2022.

SANTOS, S. M. (coord.). **Sistemas de Informações Geográficas e Análise Espacial na Saúde Pública**. Ministério da Saúde, Fundação Oswaldo Cruz. Brasília: Ministério da Saúde, 2007. Disponível em: https://ares.unasus.gov.br/acervo/html/ARES/1198/1/livro_2.pdf. Acesso em: 25 jun. 2022.

SCHALCH, V.; LEITE, W. C. A.; JÚNIOR, J. L. F.; CASTRO, M. C. A. A. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002. Disponível em: http://www.deecc.ufc.br/Download/Gestao_de_Residuos_Solidos_PGTGA/Apostila_Gestao_e_Gerenciamento_de_RS_Schalch_et_al.pdf. Acesso em: 20 jun. 2022.

SENA, M. V. O. **Índice de Qualidade Ambiental e Análise Swot da Central de Rratamento de Resíduos de Belo Horizonte – MG**. 2019. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: https://www.dcta.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/21/2020/02/201322080429_Marcos-Vinicios.pdf. Acesso em: 22 jun. 2022.

SILVA, R. M.; BELDERRAIN, M. C. N. **Considerações sobre métodos de decisão multicritério**. Instituto de Aeronáutica. s.l. 2000.

SILVA, C. A.; NUNES, F. P. **Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal: INPE, 2009. p. 5435-5442. Disponível em: <http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.19.56/doc/5435-5442.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2022.

SOUZA, S. **Geoprocessamento Aplicado à Identificação de Áreas Potenciais à degradação da Qualidade da Água**. 2008. Tese de especialização em Geoprocessamento. Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

Disponível em: http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/sonia_souza.pdf. Acesso em: 16 mai. 2022.

ZAMBON, K. L.; CARNEIRO, A. A. F. M.; SILVA, A. N. R.; NEGRI, J. C. **Análise de decisão multicritério na localização de usinas termelétricas utilizando SIG**. Pesquisa Operacional. vol.25 nº.2. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-74382005000200002. Acesso em: 25 jun. 2022.

ZANETTI, I. C. B. B.; SÁ, L. M. **A educação ambiental como instrumento de mudança na concepção da gestão de resíduos sólidos domiciliares e na preservação do meio ambiente**. ANPAS, 2002. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/cea/cea/Texto_Zaneti.pdf. Acesso em: 05 mai. 2022.

ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. F. A. Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. In: JUNIO, A. B. C. **Alternativa de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades**. Rio de Janeiro, 2003. Projeto PROSAB. ISSN. ISBN 85-86552-70-4. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabArmando.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2022.

ZVEIBIL, V. Z. (coord.). **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Disponível em: <http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2022.