



UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental



João Pedro Portela Adriano

PRÉ-SELEÇÃO DE ÁREAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE AÇAILÂNDIA-MA

Ouro Preto

2022

PRÉ-SELEÇÃO DE ÁREAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO
NO MUNICÍPIO DE AÇAILÂNDIA-MA

João Pedro Portela Adriano

Trabalho Final de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção
do Grau de Engenheiro Ambiental na
Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 04/11/2022

Área de concentração: Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. D.Sc. Múcio André dos Santos Alves Mendes– UFOP

Ouro Preto

2022



FOLHA DE APROVAÇÃO

João Pedro Portela Adriano

Pré-seleção de áreas para a implantação de aterro sanitário no Município de Açailândia-MA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental

Aprovada em 04 de novembro de 2022

Membros da banca

Prof. Dr Múcio André dos Santos Alves Mendes - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
Profª. Me Maria Luíza Teófilo Gandini (Universidade Federal de Ouro Preto)
Profª. Drª. Tamara Daiane de Souza (Universidade Federal de Ouro Preto)

Múcio André dos Santos Alves Mendes, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 04/11/2022



Documento assinado eletronicamente por **Múcio André dos Santos Alves Mendes, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/11/2022, às 21:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0422734** e o código CRC **47AC0D27**.

“Rico é aquele que sabe ter o suficiente.”

(Lao Tze)

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente aos meus pais João Armando Adriano e Helenice Portela e aos meus irmãos Alexandre e Gabriel pelo apoio e incentivo durante esses anos de graduação.

A família e aos colegas que sempre estiveram dando suporte nessa caminhada.

Ao professor Múcio André dos Santos Alves Mendes pela orientação, paciência e disponibilidade para a realização do trabalho.

A engenheira Elizene pelas oportunidades concedidas e por ter feito parte disso.

A UFOP em geral e todos os professores que fizeram parte dessa trajetória.

RESUMO

O município de Açailândia no estado do Maranhão, apesar de ser a quarta cidade com maior PIB do estado, ainda dispõe seus resíduos sólidos urbanos em lixões. Assim, é de grande importância a utilização de ferramentas que facilitem e otimizem a gestão e gerenciamento da disposição final de RSU. Desse modo, o objetivo desse estudo foi fazer um pré-seleção de áreas mais adequadas para a instalação de um aterro sanitário no município de Açailândia-MA por meio de SIG. Para isso, calculou-se inicialmente a projeção populacional e a geração de RSU para 20 anos, assim obteve-se o volume de RSU que o aterro receberá, chegando-se a área total do aterro sanitário que foi de 45,2 ha. Foram determinadas por meio de bases cartográficas 7 condicionantes técnicas: uso e ocupação do solo, corpos hídricos, declividade, mancha urbana, tipos de solo, rodovias e áreas de segurança aeroportuárias. Assim, estabeleceu-se as restrições necessárias para cada uma, e reclassificou-se adotando notas de 1 a 9 para cada critério e pesos para a análise multicritérios em um software sistemas de informações geográficas. Ao todo, 16 áreas foram classificadas como aptas considerando o tamanho da área calculada. Apesar de se mostrar uma metodologia eficiente e que otimiza o processo, se faz necessário uma análise *in loco* das áreas para o estudo de outros critérios não abordados no estudo, como a profundidade do lençol freático.

Palavras-chaves: *Saneamento. Disposição Adequada de Resíduos. SIG. Açailândia. Maranhão.*

ABSTRACT

The municipality of Açailândia in the state of Maranhão, despite being the fourth city with the highest GDP in the state, still disposes of its urban solid waste in dumps. Thus, it is of great importance to use tools that facilitate and optimize the management and management of the final disposal of MSW. Thus, the objective of this study was to make a pre-selection of the most suitable areas for the installation of a sanitary landfill in the municipality of Açailândia-MA through GIS. For this, the population projection and the generation of MSW for 20 years were initially calculated, thus obtaining the volume of MSW that the landfill will receive, reaching the total area of the sanitary landfill which was 45,2 ha. Seven technical constraints were determined through cartographic bases: land use and occupation, water bodies, slope, urban area, soil types, highways and airport security areas. Thus, the necessary restrictions for each one were established, and they were reclassified by adopting scores from 1 to 9 for each criterion and weights for the multi-criteria analysis in a geographic information systems software. Altogether, 16 areas were classified as suitable considering the size of the calculated area. Despite being an efficient methodology that optimizes the process, an on-site analysis of the areas is necessary for the study of other criteria not addressed in the study, such as the depth of the water table.

Keywords: Sanitation. Proper Waste Disposal. GIS. Açailândia. Maranhão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Disposição final adequada e inadequada no Brasil (t/ano) em 2019	9
Figura 2 Corte da seção de um aterro sanitário	11
Figura 3 Métodos empregados em aterros sanitários, trincheira, rampa e área .	12
Figura 4 Exemplo estrutural do processo AHP	15
Figura 5 Mapa de localização de Açailândia-MA	19
Figura 6 Mapa de uso e ocupação do solo.	29
Figura 7 Mapa de corpos hídricos.....	30
Figura 8 Mapa de declividade.	31
Figura 9 Mapa de mancha urbana.	32
Figura 10 Mapa de tipos de solo.	33
Figura 11 Mapa de rodovias.	34
Figura 12 Mapa de áreas de segurança aeroportuárias.	35
Figura 13 Classificação de áreas para instalação do aterro sanitário.....	37
Figura 14 Mapa de áreas recomendáveis ou ideais.	38
Figura 15 Áreas mais adequadas para instalação de um aterro sanitário.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Classificação dos Resíduos Sólidos conforme NBR 10.004/2004.....	4
Tabela 2 Classificação dos Resíduos Sólidos conforme PNRS.....	5
Tabela 3 Considerações técnicas para a escolha do local do aterro sanitário (ABNT,1997)	13
Tabela 4 Escala de importância de Saaty.....	16
Tabela 5 Classificação dos mapas segundo seus atributos	24
Tabela 6 Pesos atribuídos aos mapas na sobreposição ponderada.....	25
Tabela 7 Projeção dos habitantes e geração de RSU	26

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AHP – Análise Hierárquica de Processo

ASA – Área de Segurança Aeroportuária

NBR – Norma Brasileira

PGIRS – Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSU – Resíduo Sólido Urbano

SIG – Sistema de Informação Geográfica

Sumário

1	Introdução	1
2	Objetivo Geral	3
2.1	Objetivos Específicos	3
3	Revisão Bibliográfica.....	4
3.1	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	4
3.1.1	SITUAÇÃO NACIONAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	5
3.1.2	GESTÃO MUNICIPAL.....	6
3.2	DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	8
3.2.1	ATERRO SANITÁRIO.....	9
3.3	FATORES QUE INFLUENCIAM NA ESCOLHA DO ATERRO SANITÁRIO.....	12
3.4	METODOLOGIA DE ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSO (AHP) 14	
4	MÉTODOS	18
4.1	Local de Estudo.....	18
4.2	Cálculo da Área do Aterro Sanitário	19
4.3	Determinação das Restrição das Condicionantes Técnicas	22
4.4	Ponderação e Análise Multicritérios.....	23
5	Resultados	26
5.1	ÁREA DO ATERRO SANITÁRIO	26
5.2	CONDICIONANTES TÉCNICAS	28
5.3	ANÁLISE MULTICRITÉRIO.....	36
6	Conclusão	41

7	BIBLIOGRAFIA	43
	APÊNDICE A – MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO	47
	APÊNDICE B – MAPA DE ÁREA RECOMENDÁVEL OU IDEAL	48
	APÊNDICE C – MAPA DE ÁREAS MAIS ADEQUADAS PARA A INSTALAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO	49

1 INTRODUÇÃO

O aumento da população, juntamente com o desenvolvimento econômico, proporciona uma grande demanda na alimentação, na energia, em produtos para diversos fins e consumos, conseqüentemente, os resíduos sólidos gerados, tanto no processo, quanto ao final da cadeia, aumentam proporcionalmente. Desta forma, caso não haja, um manejo correto para os resíduos sólidos urbanos, a poluição no ambiente se torna um problema muito sério a ser considerado em âmbito global (DAMICO et al., 2018).

A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil, carece de melhorias e planejamentos adequados para a minimização de impactos ambientais e sanitários. De 2010 para 2019 a geração de RSU no Brasil teve um aumento de 66,69 milhões de toneladas por ano, para 79 milhões de toneladas por ano. Esse aumento na geração tem um grande impacto na gestão de RSU, afetando na coleta e transporte, no tratamento e no destino final (ABRELPE, 2020).

No Brasil, foi instituído pela Lei Federal nº 12.305/2010, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), a fim de determinar uma série de diretrizes e metas para o gerenciamento dos resíduos em território nacional. A PNRS, proporciona aos estados e municípios, autonomia para formulação de políticas próprias, pode-se citar que dentre os principais instrumentos do PNRS, está a obrigatoriedade da elaboração dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos ancorados em princípios como a responsabilidade compartilhada, a logística reversa e coleta seletiva. (OLIVEIRA et al., 2018).

Com base na PNRS, os resíduos sólidos podem ser classificados conforme sua origem e periculosidade. Esta caracterização é de suma importância para a caracteriza-los, já que cada tipo deve receber uma forma de ser acondicionado, coletado e transportado, além do tratamento e sua disposição final adequada (DAMICO et al., 2018).

Em relação as regiões do Brasil, observa-se no levantamento feito pela ABRELPE (2020), que a região Nordeste carece de cuidados referente aos RSU. Em 2019, essa

região, gerou um total de 19.700.875 ton/ano, sendo a segunda maior região geradora de RSU, além de ter um dos índices mais baixos de cobertura de coleta em 2019, chegando a 81%, juntamente com a região Norte. É preciso um estudo mais aprofundado para entender o motivo da alta geração de RSU na região, entretanto, fatores que podem justificar isso, são o nível educacional e cultural da população em relação ao RSU, e uma interpretação precipitada dos gestores em relação a PNRS, não prioriza-se a não geração, e a redução.

Outra grande preocupação, se dá pela disposição final desses RSU, que em 2019, teve 31,5% destinados para lixões (ABRELPE,2020). A PNRS tinha como um dos objetivos estabelecer um prazo para o fim dos lixões no país até o término de 2014, situação que não ocorreu. Neste contexto, o novo Marco do Saneamento Básico, teve como principal alteração em relação à disposição de resíduos sólidos, novos prazos para se encerrar a utilização de lixões. Para as capitais e regiões metropolitanas o período foi até o dia 2 de agosto de 2021, enquanto cidades com mais de 100 mil habitantes têm até agosto de 2022 como prazo final. Cidades entre 50 e 100 mil habitantes têm até 2023 para eliminar o problema e municípios com menos de 50 mil habitantes têm até 2024 (BRASIL,2020).

O município de Açailândia no estado do Maranhão, apesar de ser a quarta cidade com maior PIB do estado, segundo IBGE (2019), ainda dispõe seus resíduos sólidos urbanos em lixões. Assim, é de grande importância a utilização de ferramentas que facilitem e otimizem a gestão e gerenciamento da disposição final de RSU. Dentre estas ferramentas tem-se o uso do sistema de informação geográfica (SIG), para a definição de áreas levando em consideração os aspectos técnicos, ambientais e socioeconômicos (LOURENÇO et al., 2015).

2 OBJETIVO GERAL

Pré-selecionar áreas mais adequadas para a implantação de um aterro sanitário no município de Açailândia-MA por meio de SIG.

2.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Analisar o plano de saneamento básico do município;
- Calcular a área do aterro sanitário;
- Determinar e restringir condicionantes técnicas;
- Realizar ponderação e a análise multicritérios.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Ao mencionar a expressão Resíduos Sólidos, previamente vem um conceito de algo indesejável que sobrou, sem utilidade, e é por isso que normas surgiram com intuito de adequar esse conceito, deixando-o mais abrangente (BARROS,2012).

De acordo com a norma técnica brasileira NBR 10.004 (2004a) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), tem-se a definição de resíduos sólidos como:

“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta 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 esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. ” (ABNT 10004, 2004a, p.1)

A NBR 10.004/2004 apresenta a classificação desses resíduos sólidos conforme a Tabela 1.

Tabela 1 Classificação dos Resíduos Sólidos conforme NBR 10.004/2004

Classe I - Perigosos	Classe II - Não Perigosos
Inflamabilidade; Corrosividade; Reatividade; Toxicidade; Patogenicidade.	Classe II A – Não Inertes Classe II B - Inertes

Fonte: ABNT, 2004.

Em âmbito Nacional, a Lei nº 12.305/2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a qual propõe objetivos e instrumentos para a gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos (BRASIL,2010).

Os resíduos sólidos estão classificados de acordo com sua origem e periculosidade, conforme estabelecido na PNRS, e apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Classificação dos Resíduos Sólidos conforme PNRS.

Origem	Periculosidade	
	Perigoso	Não Perigoso
Resíduos domiciliares; Resíduos de limpeza urbana; Resíduos sólidos urbanos; Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço; Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico; Resíduos industriais; Resíduos de serviço de saúde; Resíduos de construção civil; Resíduos agrossilvopastoris; Resíduos de transportes; Resíduos de mineração.	Inflamabilidade; Corrosividade; Reatividade; Toxicidade; Patogenicidade; Carcinogenicidade; Teratogenicidade; Carcinogenicidade Patogenicidade.	Aqueles que não se enquadram como perigosos.

Fonte: BRASIL, 2010.

Conforme a PNRS, os resíduos sólidos urbanos são aqueles provenientes de atividades domésticas, os resíduos domiciliares, e de limpeza urbana, varrição, limpeza de vias públicas e logradouros (BRASIL,2010).

3.1.1 SITUAÇÃO NACIONAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº. 12.305/2010) prescreve acerca de princípios, objetivos e instrumentos, tal como em relação as diretrizes à gestão

integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos. Esta dispõe aos resíduos perigosos, às incumbências dos geradores e do poder público e aos instrumentos da economia que podem ser aplicados. Esta dispõe designações inerente no Capítulo II em relação aos termos gerenciamento e gestão integrada (BRASIL, 2010).

Para Lima (2002), a importância da gestão de resíduos sólidos compreende atribuições que se referem à tomada de decisões estratégicas relacionadas aos aspectos organizacionais, de administração, de operação, econômicos e ambientais.

A Lei ainda estabelece a obrigatoriedade de Estados, Distrito Federal e Municípios desenvolverem suas Políticas de Resíduos Sólidos, compartilhando obrigações e atribuições, de acordo com as características do local e região. Além da criação de planos de resíduos que devem ser determinados pelas unidades da federativas e municípios, contendo concepções mínimas de organização, de funcionamento, dos subsistemas, dentre outros quesitos (GODOY, 2013).

Dados apresentados pela ABRELPE (2020), elucidam uma análise do panorama dos resíduos sólidos no país ao longo de 10 anos, de 2010 a 2020, apresentando as principais mudanças, principalmente pela implementação da PNRS ao longo dos anos. Durante esse período, observa-se um aumento em 19% a geração de RSU, tendo a região sudeste como maior geradora com 49,88% (ABRELPE,2020).

Na coleta regular, apesar de um avanço, ainda é apresentado um déficit no alcance desse serviço, 92% de cobertura, ainda assim, 6,3 milhões de ton/ano são depositadas no meio ambiente. Somente 10 estados tem um índice de cobertura de coleta maior que a média nacional. Outro índice que preocupa, é a disposição final desses RSU, apenas cerca de 60% têm destinação correta em aterros sanitários. Já a disposição inadequada, de 2010 a 2020, teve um aumento de 16%, observa-se que as regiões com mais municípios com destinação inadequada para aterros controlados e lixões, são as regiões Norte (79%), Nordeste (74,6%) e Centro-Oeste (65%) (ABRELPE,2020).

3.1.2 GESTÃO MUNICIPAL

A PNRS propicia a gestão integrada e o gerenciamento dos RSU com interação entre os entes federativos (estaduais, distrital e municipais) e as entidades particulares, objetivando a viabilização desse gerenciamento (BONJARDIM;

PEREIRA; CRISTINA, 2020). Para tanto, o artigo 15 prevê que “[...] a União elaborará o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, com vigência por prazo indeterminado e horizonte de vinte anos” (BRASIL, 2010).

Nos termos do artigo 20 da PNRS (BRASIL, 2010), além de um Plano Nacional de Resíduos Sólidos, tem de ser preparado e executado, Planos Estaduais, Microrregionais e de Regiões Metropolitanas ou aglomerações urbanas, Planos Intermunicipais e Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) e Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) (BONJARDIM; PEREIRA; CRISTINA, 2020).

Esses planos precisam considerar às diretrizes da PNRS, como por exemplo a responsabilidade compartilhada dos geradores pelo recolhimento dos resíduos produzidos. Estes devem, estabelecer a logística reversa; a integração dos municípios na gestão dos resíduos; a ação em conjunto, isolada ou em parceria entre todos os entes federativos e privados, com vistas a se obter a gestão integrada e ambientalmente adequada dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Mesmo os planos estaduais e municipais não tendo obrigatoriedade, funcionam como aparato econômico indutor, levando entes federados a cumprirem as normas da União, sabendo-se que é um meio de conseguir recursos destinado ao manejo de resíduos sólidos (BECHARA, 2013).

Um dos pontos dos planos municipais, trata “[...] da identificação de áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, observados o Plano Diretor e o zoneamento ambiental”, de acordo com artigo 19, parágrafo II (BRASIL, 2010). Esse mecanismo deve obedecer às condições reais do local, abrangendo uma análise da situação dos resíduos, visando reduzir e reciclar, além de finalizar os lixões, buscando soluções em consórcios com outros municípios se possível (GOMES et al., 2014).

3.1.2.1 GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RSU EM AÇAILÂNDIA-MA

A cidade de Açailândia possui um Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de 2019, que visa buscar a universalização das ações e serviços de saneamento ambiental no município, abastecimento de água, esgoto, drenagem pluvial e coleta de resíduos.

O serviço de coleta de RSU passou a ser operacionalizado diretamente pela prefeitura em 2015, através do departamento de limpeza pública. O diagnóstico de resíduos sólidos urbanos apresentado no PMSB, ressalta motivos que afetam no manejo, dentre eles estão o desinteresse dos gestores públicos e a baixa importância dada pela população a essa questão.

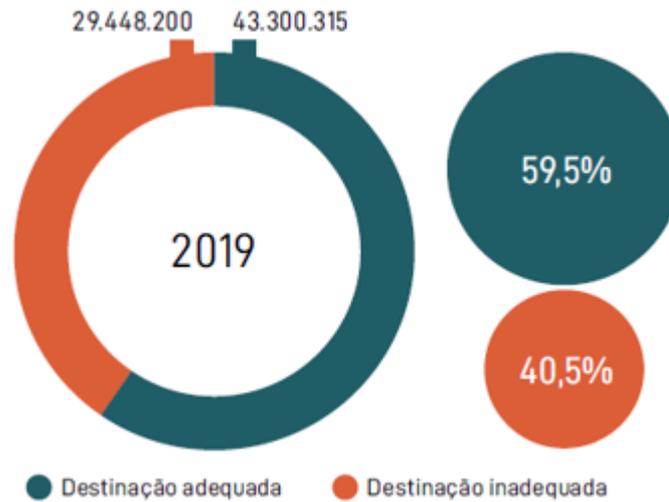
O município não possui um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), a elaboração desse plano está prevista no PMSB, além de medidas a serem adotadas a curto prazo de forma a reverter essa situação, como a implementação de programa de educação ambiental voltado ao gerenciamento de resíduos, implantar coleta seletiva, implantar aterro sanitário, criação de cooperativa de catadores.

3.2 DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A disposição final dos RSU é uma das opções ambientalmente corretas apresentadas na PNRS, desde que sejam seguidas as normas de operação determinadas a fim de evitar riscos à saúde pública e segurança, além de minimizar danos ambientais (ABRELPE, 2020).

No Brasil, são encaminhados para aterros sanitários a maior parte dos RSU coletados, cerca de 43 milhões de toneladas no ano de 2019, em contrapartida, cerca de 29 milhões de toneladas foram dispostos de maneira inadequada, ou seja, aterros controlados e lixões, conforme apresentado na Figura 1 (ABRELPE, 2020).

Figura 1 Disposição final adequada e inadequada no Brasil (t/ano) em 2019



Fonte: ABRELPE, 2020.

Os RSU ao serem dispostos de maneira inadequada, podem acarretar a poluição da água, do ar e do solo. Além de propiciar a proliferação de grandes e pequenos vetores responsáveis por doenças no ambiente (BESEN, 2011).

O aterro sanitário é a forma correta e segura sanitariamente para a saúde da população e para o meio ambiente (BARROS, 2012). Desta forma, a PNRS e agora o Marco Legal do Saneamento Básico de 2020, estabeleceram para as administrações públicas municipais um prazo para encerramento das atividades em lixões e aterros controlados (BRASIL, 2020).

É válido pontuar que a disposição final refere-se ao rejeito, ou seja, quando não há mais outro tipo de tratamento e destinação mais adequada, como por exemplo a reciclagem, a compostagem para os orgânicos. São priorizadas na PNRS a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, tratamento e só então a disposição final (BRASIL, 2010).

3.2.1 ATERRO SANITÁRIO

Segundo a ABNT NBR 8419 (1992), aterro sanitário é definido como:

“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. ” (ABNT 8419, 1992a, p.1)

A norma regulamentadora também estabelece requisitos para o projeto, licenciamento e operação, obedecendo critérios referentes: a localização, situação de topografia, hidrogeologia e geotecnia; ao monitoramento de águas subterrâneas; a queima ou aproveitamento energético de gases; ao sistema de tratamento do percolado; a permeabilidade seja recoberto internamente com argila compactada e geomembranas; assim como o plano de fechamento (BARROS, 2012).

Baseado na ABNT NBR 8419 (1992), um aterro sanitário deve conter alguns elementos básicos em seu projeto, a Figura 2 ilustra um esquema de aterro sanitário. Vale destacar os elementos técnicos presente que tem por objetivo minimizar os impactos ambientais e de saúde pública: Sistema de drenagem superficial; sistema de drenagem e remoção de percolado; sistema de tratamento de percolado; impermeabilização inferior e/ou superior; sistema de drenagem de gás (ABNT, 1992).

Figura 2 Corte da seção de um aterro sanitário



Fonte: CONDER, 2012

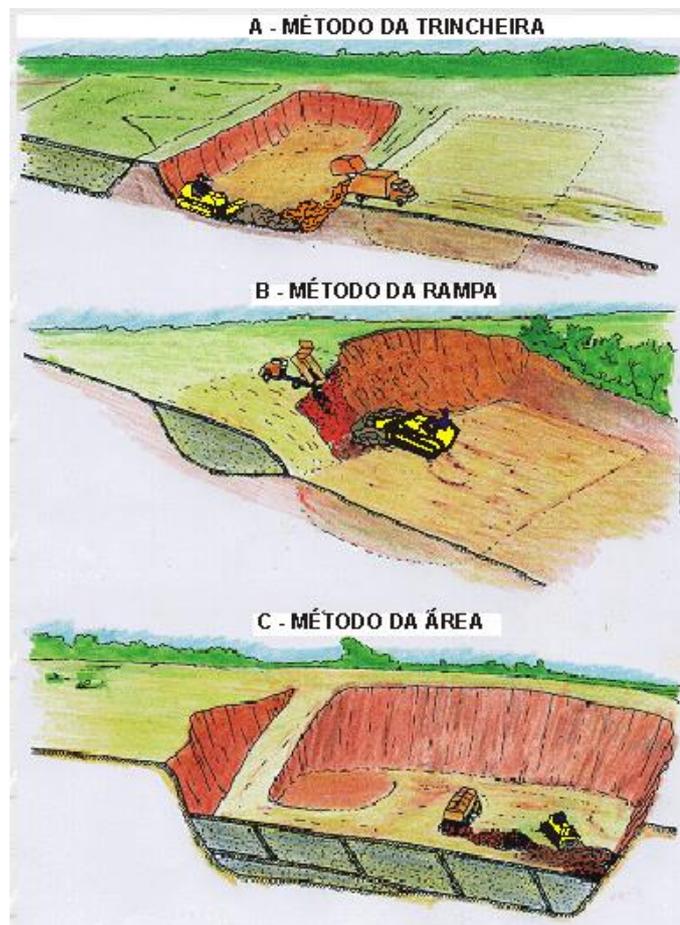
Há três métodos distintos a serem empregados em um aterro sanitário: método trincheira, método rampa e método área (OBLADEN; OBLADEN; BARROS, 2009). A Figura 3 apresenta o funcionamento desses métodos.

De acordo com a Cartilha Técnica de Planejamento, Construção e Operação de Aterros para a Disposição Final de Resíduos Sólidos (MENESES; SOUSA; FERNANDES, 2008), o método trincheira consiste em abrir valas no solo em formas de trincheira, os resíduos são basculados e depois, espalhados, compactados e recobertos diariamente por material inerte. Neste método, o material escavado pode ser utilizado como material inerte para cobrir os resíduos sólidos, diminuindo custos de transporte de materiais.

O método rampa consiste na disposição final de resíduos sólidos em rampas que usufruem do desnível natural do solo. Neste método, a disposição dos resíduos é feita de forma a compor uma rampa ascendente sobre um talude natural (MENESES; SOUSA; FERNANDES, 2008).

O método área implica na disposição final de resíduos sólidos em depressões naturais do relevo, diminuindo a necessidade de escavar células de resíduos sólidos. Neste método, os resíduos são dispostos no fundo regularizado da depressão natural de relevo, sendo o acesso dos maquinários por meio de rampas feitas nas margens dos taludes naturais. Entretanto, este método necessita o empréstimo sistemático de material inerte de cobertura para as células de resíduos sólidos, aumentando os custos de transporte de materiais (MENESES; SOUSA; FERNANDES, 2008).

Figura 3 Métodos empregados em aterros sanitários, trincheira, rampa e área



Fonte: UNESP, 2022.

3.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA ESCOLHA DO ATERRO SANITÁRIO

Para a escolha do local mais adequado da implementação de um aterro sanitário, a ABNT NBR 8419 (1992) considera como critérios básicos a serem levados em consideração no projeto: zoneamento ambiental; zoneamento urbano; vias de acesso;

vizinhança; economia de transporte; titulação da área escolhida; economia operacional; infraestrutura urbana; bacias hidrográficas.

Na norma de Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação ABNT NBR 13896 (1997), são apresentados, de forma detalhada, os critérios para escolha da área conforme a Tabela 3.

Tabela 3 Considerações técnicas para a escolha do local do aterro sanitário (ABNT,1997)

Atributos	Considerações técnicas
Topografia	Esta característica é fator determinante na escolha do método construtivo e nas obras de terraplenagem para a construção da instalação. Recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%;
Geologia e tipos de solos existentes	Tais indicações são importantes na determinação da capacidade de depuração do solo e da velocidade de infiltração. 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	Deve ser avaliada a possível influência do aterro na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas próximas. O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água;

Vegetação	O estudo macroscópico da vegetação é importante, uma vez que ela pode atuar favoravelmente na escolha de uma área quanto aos aspectos de redução do fenômeno de erosão, da formação de poeira e transporte de odores;
Acessos	Fator de evidente importância em um projeto de aterro, uma vez que são utilizados durante toda a sua operação;
Tamanho disponível e vida útil	Em um projeto, estes fatores encontram-se inter-relacionados e recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos;
Custos	Os custos de um aterro têm grande variabilidade conforme o seu tamanho e o seu método construtivo. A elaboração de um cronograma físico-financeiro é necessária para permitir a análise de viabilidade econômica do empreendimento;
Distância mínima a núcleos populacionais	Deve ser avaliada a distância do limite da área útil do aterro a núcleos populacionais, recomendando-se que esta distância seja superior a 500 m.

Fonte: ABNT (1997)

3.4 METODOLOGIA DE ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSO (AHP)

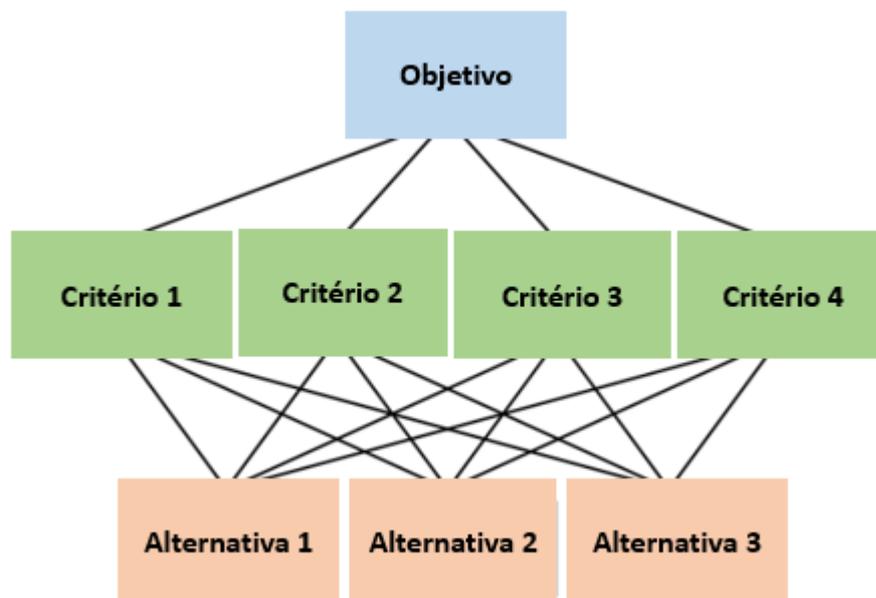
O método AHP (Analytic Hierarchy Process) é uma forma de realizar análises multicritério para tomada de decisões, criado por Tomas Saaty na década de 70, e tornou-se uma ferramenta muito utilizada em diversas áreas (VARGAS, 2010; CARLI; DELAMAROB; SALOMONC, 2010).

O princípio dessa metodologia consiste na transformação de um estudo de sistemas a uma sequência que compara os pares, auxiliar na tomada de decisões, e

diminuir erros, sendo um diferencial essa forma de converter dados empíricos em modelos matemáticos o (SHIMIZU apud LAFETA et al., 2014).

De acordo com Saaty (1991), ao aplicar-se o AHP, pode-se realizar as fases: de estruturar os critérios e alternativas; de coletar julgamentos; calcular as prioridades; verificar a consistência do julgamento; e, por fim, calcular as prioridades globais das alternativas. A figura 4 apresenta um exemplo da estrutura desse processo.

Figura 4 Exemplo estrutural do processo AHP



Fonte: Autor, 2022.

São feitos o processamento e a comparação dos dados. Para cada um dos objetos dentro da hierarquia, atribui-se pesos. Para comparar os objetos, utiliza-se uma escala de importância proposta por Saaty (SAATY, 1991), que atribui valores de 1 a 9, assim mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 Escala de importância de Saaty

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição entre duas definições

Fonte: SAATY, 1991.

Para que sejam definidas as prioridades locais das opções, pode-se utilizar dois métodos de definição de prioridades globais dos critérios: o modo ideal e o modo distributivo. No modo distributivo, os pesos das alternativas somam 1. É empregado se houver dependência entre as alternativas, distribui-se uma prioridade unitária entre elas, ou seja, quando é desejado fazer uma escolha da melhor alternativa (SAATY, 1994).

Esse modo é adequado para alocação proporcional de algum benefício. Pode ser exemplificado numericamente como: três alternativas com relação de dependência A, B e C teriam prioridades como $A=0,2$, $B=0,5$ e $C=0,3$, que totalizam 1,0 (GRANDZOL, 2005).

O modo ideal, é usado na obtenção da melhor alternativa dentre alternativas distintas e dependência relacionada. Nesse modo, divide-se as prioridades locais das alternativas pelo maior valor entre elas. Fazendo-se em cada critério, tornando-se a alternativa ideal de valor 1 (SAATY, 2004).

Caso as alternativas sejam distintas, não havendo dependência nas definições, o modo ideal seria escolhido para análise. Exemplificando como: A, B e C, B, sendo a alternativa ideal com prioridade 1,0 ($= 0,5 \div 0,5$), C teria prioridade 0,6 ($= 0,3 \div 0,5$) e A teria prioridade 0,4 ($= 0,2 \div 0,5$) (GRANDZOL, 2005).

4 MÉTODOS

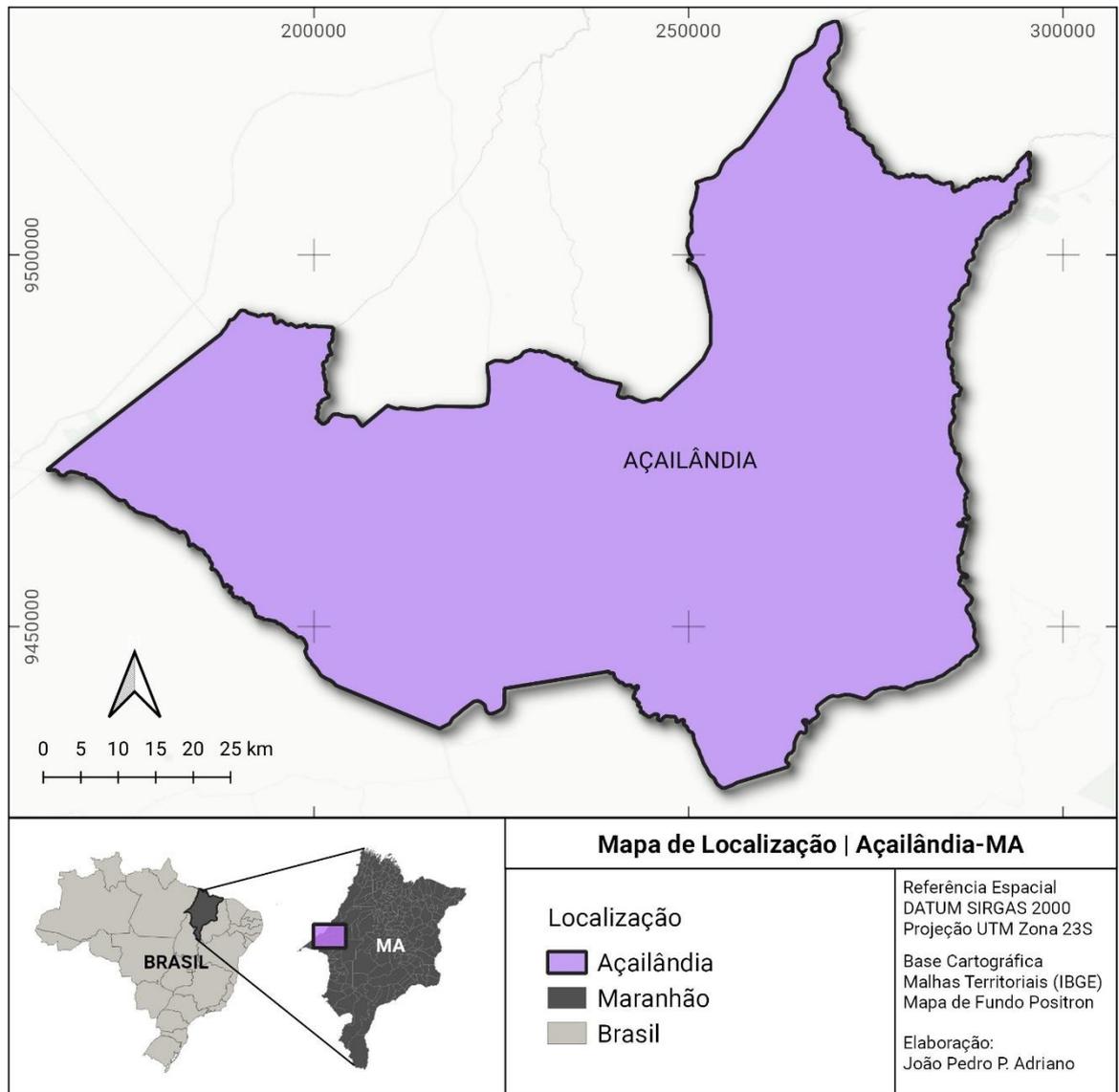
4.1 Local de Estudo

O Município de Açailândia, fica localizado no estado do Maranhão (Figura 5), e possui uma área territorial de 5.805, 159 km², sua população foi estimada em 113.783 habitantes no ano de 2021 (IBGE, 2021). Tem como principais fontes econômicas a exportação de ferro gusa gerado pelas siderúrgicas localizadas no distrito industrial, uma aciaria considerada uma das maiores da região, e o setor agropecuário.

Seu território é composto por duas bacias hidrográficas, a do rio Pindaré e do rio Gurupi. É cortada pelas rodovias BR-010 (Belém/Brasília) e BR-222, motivo pelo qual é conhecida como eixo do Maranhão, viabilizando o acesso a outros estados e regiões do país.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento SNIS (2020), o município possui uma cobertura total de coleta de resíduos sólidos de 75%, e uma geração per capita de 1,02 kg/hab/dia.

Figura 5 Mapa de localização de Açailândia-MA



Fonte: Autor, 2022.

4.2 Cálculo da Área do Aterro Sanitário

Para calcular a área do aterro, levou-se em conta uma vida útil operacional de 20 anos. Para a obtenção do volume de RSU que o aterro receberá, foi estimada a massa de RSU que será gerada pelo município em 20 anos. Para esse cálculo, primeiramente, encontrou-se a projeção populacional durante esse período, por meio

de uma projeção geométrica. A utilização desse método de projeção se deu conforme realizado no PMSB.

Para o cálculo do crescimento populacional, inicialmente calculou-se o coeficiente kg por meio da equação 1, e em seguida obteve-se as projeções da população através da equação 2.

$$kg = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_0} \quad (1)$$

Onde:

kg = coeficiente para o cálculo da projeção populacional;

P_0 = população do último censo;

P_2 = última população estimada;

t_0 = ano referente a P_0 ;

t_2 = ano referente a P_2 .

$$P_t = P_0 \cdot e^{kg(t-t_0)} \quad (2)$$

Onde:

P_t = projeção da população para o ano t ;

P_0 = população do último censo;

kg = coeficiente;

t_0 = ano referente a P_0 ;

t = ano referente a população a ser projetada.

Para estimativa da geração per capita de RSU, utilizou-se o dado do SNIS (2020), e adotou-se uma taxa de aumento por ano de 0,39%, com base no aumento de geração per capita no Brasil de 2017 para 2018 (ABRELPE, 2019). Desta forma foi obtida a geração de RSU em quilograma por dia e a geração de RSU em tonelada por ano, como na equação 3.

$$GRSU_t = \frac{P_t \cdot GPC \cdot 365}{1000} \quad (3)$$

Onde:

GRSU_t = massa gerada de resíduos sólidos urbanos no ano t, em ton/ano;

P_t = população no ano t;

GPC = geração per capita de resíduos sólidos urbanos, em kg/hab/ano.

Para o cálculo de volume de RSU que o aterro receberá em 20 anos, considerou-se o peso específico do resíduo compactado de 0,7 ton/m³, de acordo com Catapreta & Simões (2007), o valor escolhido baseia-se nas condições básicas na compactação, juntamente com grande composição de matéria orgânica, características comuns em aterros no país, esse número pode variar de 0,7 a 1,1 ton/m³. O volume de terra considerado para a cobertura foi de 20% do volume que o aterro receberá (BARROS,2012), como mostrado na equação 4.

$$VRSU = \frac{GRSU}{MERC} \cdot (1,2) \quad (4)$$

Onde:

VRSU = volume de resíduos que o aterro receberá em 20 anos, em m³;

GRSU = total de massa de resíduos gerados em 20 anos, ton;

MERC = massa específica do resíduo compactado, ton/m³.

A área a ser ocupada pelo aterro foi calculada levando em consideração um formato paralelepípedo retangular, com uma altura de 5 metros, então a área da seção foi dada pela equação 5, considerou-se 30% da área total do aterro, como área adicional para operação (BARROS,2012).

$$At = \frac{VRSU}{h} \cdot (1,3) \quad (5)$$

Onde:

At = área total do aterro sanitário;

h = altura da seção do aterro sanitário.

4.3 Determinação das Restrição das Condicionantes Técnicas

Os critérios estabelecidos, obedeceram sobretudo uma diretriz legal, com legislações praticadas em âmbito nacional, abrangendo aspectos técnicos, físicos, econômicos, ambientais e sociais. De acordo com LOURENÇO et al. (2015), foram escolhidos 7 critérios para a análise da área:

- Proximidade de recursos hídricos;
- Proximidade de rodovias;
- Proximidade de áreas de segurança aeroportuárias;
- Proximidade da mancha urbana;
- Declividade;
- Uso e ocupação do solo;
- Tipo de solo.

Para o uso e ocupação do solo, foram restringidas as áreas de corpo hídrico e de mancha urbana. Conforme a resolução CONAMA 404 (2008), priorizou-se áreas antropizadas. Verificou-se no território para a restrição as Unidades de Conservação de acordo com a Lei Federal 9.985 de 2000.

A NBR 13.896 (1997), apresenta critérios para o projeto de implantação do aterro sanitário, neste sentido utilizou-se a mesma para a definição destes critérios. Estabeleceu-se uma distância mínima de corpos hídricos de 200 m, e uma distância mínima de núcleos populacionais de 500 m. Os tipos de solo foram instruídos por essa Norma, a fim de obter-se locais mais estáveis e com maior grau de impermeabilidade.

Referente as Áreas de Segurança Aeroportuárias (ASA's), a resolução CONAMA 04 (1995) é o marco regulatório que restringe o uso do solo em torno de aeródromos a um raio mínimo de 13 km de distância de qualquer atividade que proporcione riscos, como por exemplo possível atração de aves.

Em relação as rodovias, a distância recomendada de no mínimo 100 metros, de modo a minimizar impactos no ambiente, como ruídos, odores, modificação de paisagem, movimento de animais, mudança da paisagem (SNSA 2008). Em contrapartida, é válido pontuar que maiores distâncias refletem em custos mais elevados de transporte.

As bases cartográficas territoriais foram obtidas por meio do IBGE (2021), já os dados cartográficos referentes aos corpos hídricos, rodovias e ASA's foram por meio do IBGE (2017). A base dos tipos de solo, foram por meio de uma colaboração IBGE-EMBRAPA (2001).

Os dados de declividade gerados através do software de SIG, vieram por meio de um modelo digital de elevação SRTM de 30m de resolução, do ano de 2009, adquiridos pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

Para a classificação do uso e ocupação do solo, utilizou-se imagens fornecidas pelo MapBiomas Coleção 7 (2021), assumindo 5 macro-classes: mancha urbana, cobertura arbórea, agricultura, corpos hídricos e campos antrópicos, que englobam solo exposto, pastagem e afloramento rochoso. A partir do mapa de uso e ocupação do solo, foi extraído o mapa de mancha urbana.

4.4 Ponderação e Análise Multicritérios

Todos os mapas foram reclassificados, atribuindo-se notas para cada critério. Esta nota variou de 1 a 9 (um a nove), onde um representa a restrição e nove a melhor aptidão. As zonas previamente identificadas como restritas foram desclassificadas e retiradas da análise.

Os usos para rodovias, hidrografia, ASA's e manchas urbanas foram reclassificadas e atribuiu-se notas de aptidão pelo grau de importância referente aos critérios de distância.

Em relação a declividade do terreno, os tipos de solos e o uso e ocupação, foram atribuídas notas de aptidão a reclassificação referente aos critérios de importância ambiental do local.

A Tabela 5 apresenta o resultado da ponderação feita na reclassificação dos mapas segundo seus atributos, e a Tabela 6, apresenta os pesos atribuídos para os mapas na análise multicritério, que permitiu delimitar áreas aptas para implantação de aterro sanitário.

Tabela 5 Classificação dos mapas segundo seus atributos

Categoria	Crêterios	Notas
Corpo Hídricos	0 - 200m	restringido
	200 - 600 m	3
	600 - 1000 m	7
	>1000 m	9
Mancha Urbana	0 - 500 m	restringido
	500 - 1000 m	3
	1000- 2000 m	5
	2000 – 4000 m	9
	4000 – 10000 m	7
	>10000 m	2
ASA	0 - 13000 m	restringido
	> 13000 m	9
Rodovias	0 - 100 m	restringido
	100 - 500 m	2
	500 - 1000 m	7
	1000 - 2000 m	9
	> 2000 m	5
Declividade (%)	0 - 3 %	9
	3 - 5 %	8
	5 - 10 %	7
	10 - 20 %	5
	20 – 30 %	3
	> 30 %	restringido
Tipo de solo	Argilossolo Vermelho-Amarelo	9
	Latossolo Amarelo	5
Uso e Ocupa�o	Cobertura arbórea	2
	Agricultura	5
	Campos antrópicos	9
	Mancha urbana	restringido
	Corpo hídrico	restringido

Fonte: Autor, 2022.

Os pesos conferidos a sobreposi o dos mapas tiveram ranqueamento de acordo com sua importância para a implanta o do aterro sanitário. O uso do solo recebeu um peso de 25% por conter importantes classe restritivas quanto a implanta o do aterro sanitário, como área urbanas e corpos hídricos.

Como há riscos de contamina o das águas e prolifera o de doenças causadas por animais, atribuiu-se um peso igual a 20% ao mapa de proximidade   hidrografia.

Esse peso foi dado levando em consideração que o mapa de uso e ocupação do solo também restringiu corpos hídricos. Já em relação ao mapa de manchas urbanas o peso atribuído foi de 15%. O mapa de declividade também recebeu peso igual a 15%, já que, a inclinação do terreno é ligada ao grau de estabilidade contra processos erosivos e deslizamentos, sendo um fator importante na escolha de áreas para aterro sanitário. O mapa de tipo de solo também recebeu um peso de 10% devido as características físicas do solo, como impermeabilidade.

Referente a proximidade às vias, atribuiu-se um peso de 10%. O que se justifica pelo possível aumento da presença de animais nas vias, por haver a presença com mais constância de transportes de resíduos, o que aumentam riscos de, além do odor exalado pelos resíduos. O mapa de proximidade à ASA recebeu um peso de 5%, por não trazer tantos riscos em comparação com os outros temas estudados.

Tabela 6 Pesos atribuídos aos mapas na sobreposição ponderada

Mapas	Pesos (%)
Uso e ocupação do solo	25
Proximidade a hidrografia	20
Declividade	15
Proximidade a mancha urbana	15
Tipos de solo	10
Proximidade a rodovias	10
Proximidade a ASA	5
Total (%)	100

Fonte: Autor, 2022.

Após a realização da análise multicritérios, foi possível selecionar as áreas mais adequadas para implantação do aterro no município, levando em consideração o dimensionamento da área aproximada que o aterro sanitário vai demandar, de acordo com a geração de resíduos sólidos urbanos na cidade. A classificação baseou-se na pontuação final determinada em cada de cada área.

5 RESULTADOS

5.1 ÁREA DO ATERRO SANITÁRIO

Para a obtenção da área total, calculou-se a quantidade de resíduos sólidos gerados no município para um tempo de 20 anos por meio da Equação 3 para cada ano. O valor da geração per capita utilizado foi 1,02 kg/hab/dia, esse número está próximo da geração média estadual que de 1,03 kg/hab/dia e da média nacional que é 1,01 kg/hab/dia (SNIS, 2020). O valor final obtido foi de 1.014.127,68 ton/20 anos, a Tabela 7 apresenta os resultados para cada ano. Previamente encontrou-se a projeção populacional para cada ano durante esse período utilizando a Equação 1 para encontrar o valor do coeficiente kg que foi de 0,008 e foi aplicado e consequentemente a Equação 2 para cada ano.

Tabela 7 Projeção dos habitantes e geração de RSU

Ano	População (hab)	Geração Per Capita (kg/hab/dia)	Geração RSU (kg/dia)	Geração RSU (ton/ano)
2022	114.712	1,020	117.006,28	42.707,29
2023	115.649	1,024	118.421,69	43.223,92
2024	116.593	1,028	119.854,22	43.746,79
2025	117.545	1,032	121.304,08	44.275,99
2026	118.505	1,036	122.771,47	44.811,59
2027	119.472	1,040	124.256,62	45.353,67
2028	120.448	1,044	125.759,74	45.902,30
2029	121.431	1,048	127.281,03	46.457,58
2030	122.423	1,052	128.820,73	47.019,57
2031	123.422	1,056	130.379,06	47.588,36
2032	124.430	1,060	131.956,23	48.164,03
2033	125.446	1,065	133.552,49	48.746,66
2034	126.470	1,069	135.168,05	49.336,34
2035	127.503	1,073	136.803,16	49.933,15
2036	128.544	1,077	138.458,05	50.537,19
2037	129.594	1,081	140.132,96	51.148,53

2038	130.652	1,086	141.828,12	51.767,26
2039	131.718	1,090	143.543,80	52.393,49
2040	132.794	1,094	145.280,23	53.027,28
2041	133.878	1,098	147.037,66	53.668,75
2042	134.971	1,103	148.816,35	54.317,97
			Geração RSU Total (ton/20 anos)	1.014.127,68

Fonte: Autor, 2022.

Dessa forma, utilizou-se a Equação 4 para a obtenção do volume de resíduos sólidos que o aterro sanitário receberá durante esse período, considerando o peso específico dos RSU compactado como 0,7 ton/m³ e um acréscimo de volume de terra para cobertura de 20%. É válido ressaltar que devido a atual situação do município em relação ao manejo de RSU, o PMSB indica um cenário tendencial, no qual apenas se manteriam os serviços de limpeza e coleta. Em vista disto, optou-se pelo cálculo de uma área maior para essa primeira pré-seleção de uma região mais adequada. Espera-se que no projeto de dimensionamento oficial para a construção do aterro sanitário, seja levado em consideração projetos para a coleta seletiva, projetos de educação ambiental para que se chegue o mais perto possível do estabelecido na PNRS. A fim de diminuir consideravelmente o que vai para o aterro, além de ser possível obter uma parte menor das áreas apresentadas neste estudo para a construção, de modo a deixar mais viável economicamente.

$$VRSU = \frac{1.014.127,68 \text{ ton}}{0,7 \text{ ton/m}^3} \cdot (1,2)$$

(4)

$$VRSU = 1.738.505 \text{ m}^3$$

Após, o cálculo do volume de RSU que o aterro sanitário receberá, definiu-se a área total necessária para a construção do aterro por meio da Equação 5. De acordo com BARROS, 2021, considerou-se uma altura de 5 m em um formato paralelepípedo e um acréscimo de 30% da área total para áreas adicionais.

$$At = \frac{1.738.505 m^3}{5 m} \cdot (1,3)$$

(5)

$$At = 452.011,2 m^2$$

$$At = 45,2 ha$$

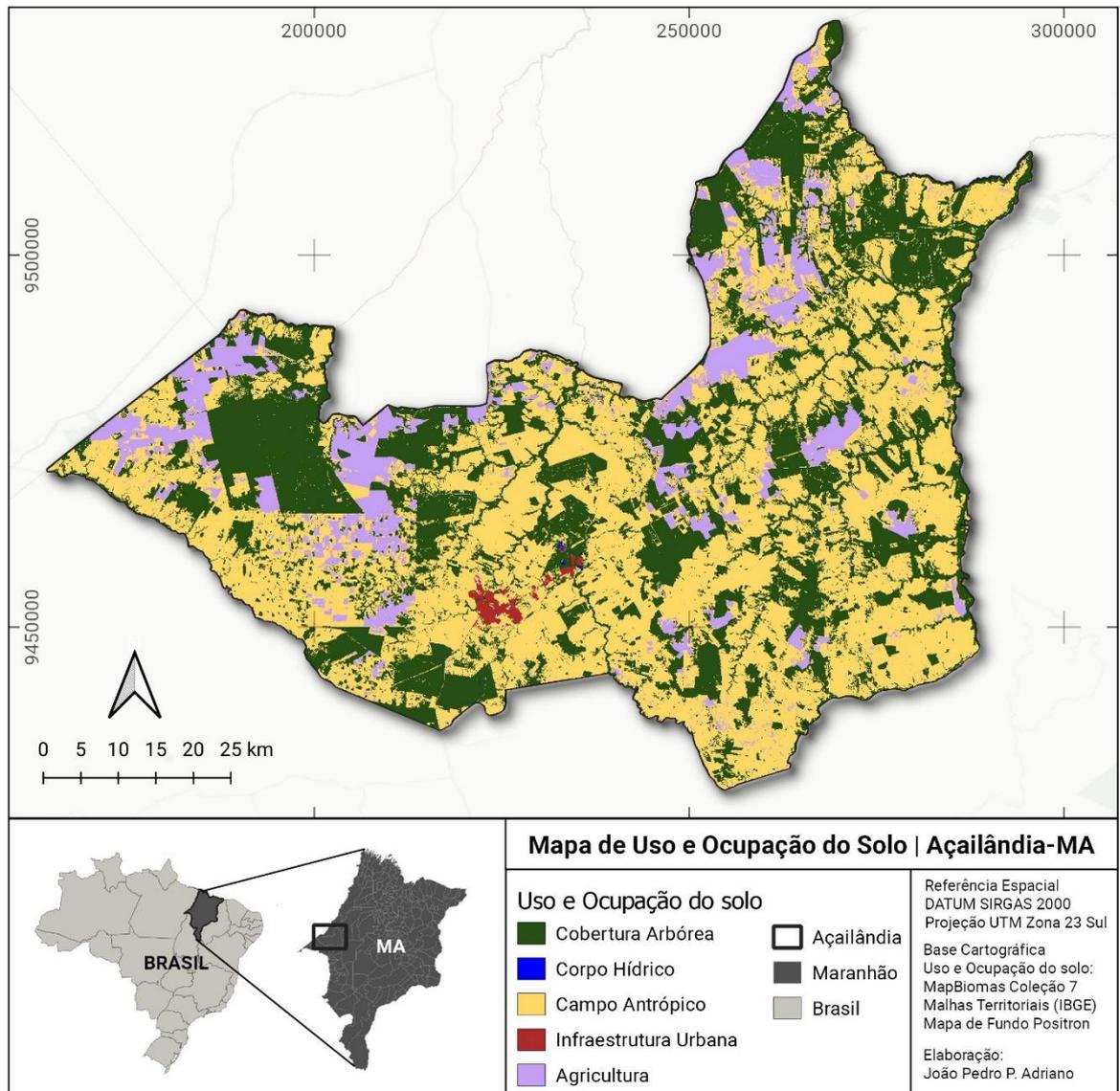
A área para o aterro sanitário obtida foi de 45,2 ha.

5.2 CONDICIONANTES TÉCNICAS

Cada parâmetro utilizado para a análise, foi determinado e restringido principalmente com base na ABNT NBR 13.896 (1997), ABNT NBR 15.849 (2010), resolução CONAMA 404 (2008), resolução CONAMA 04 (1995).

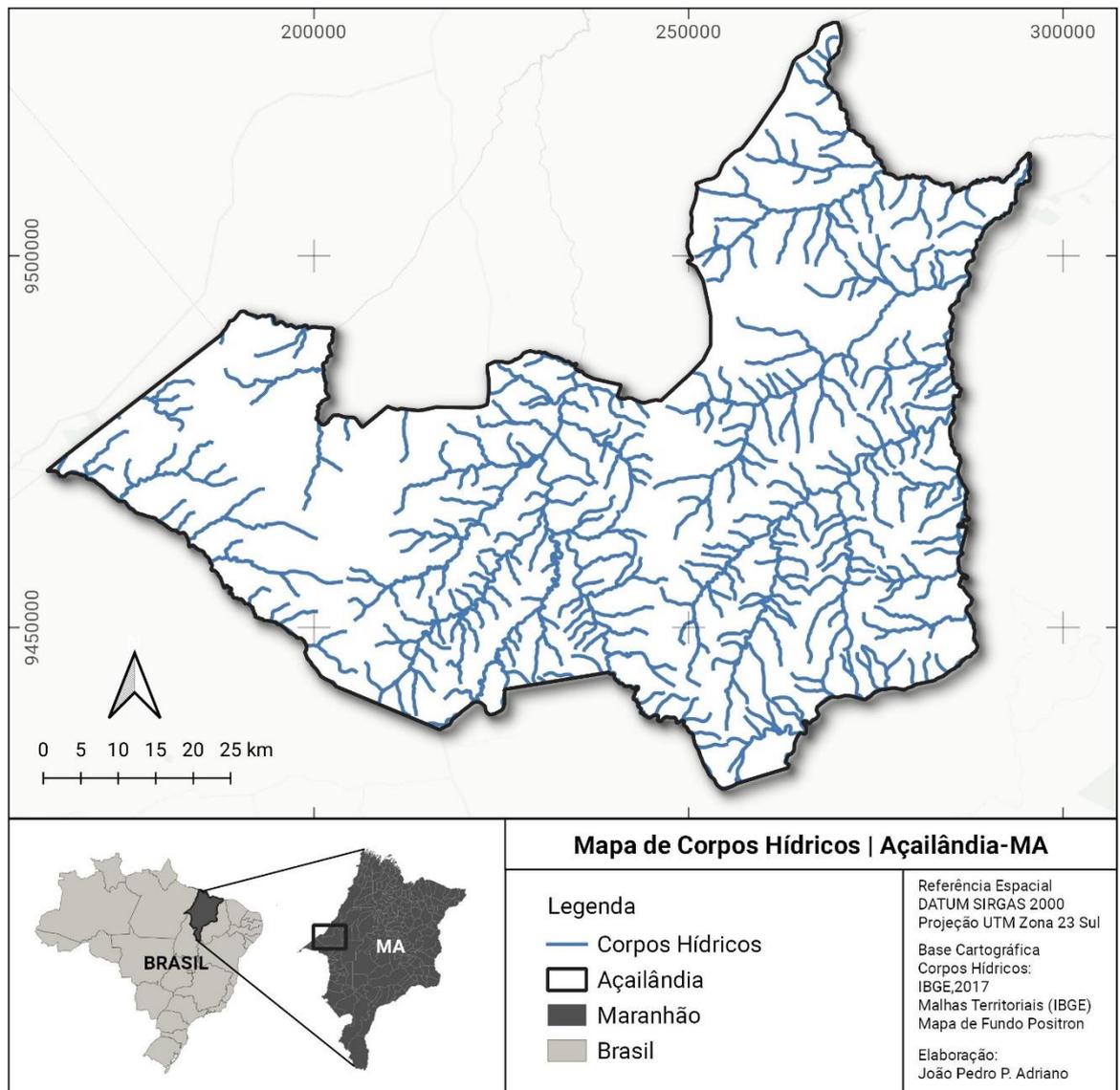
Para cada parâmetro elaborou-se um mapa com o propósito de ilustrar a situação no município estudado. Para o uso e ocupação do solo foram considerados 5 tipos de uso e ocupação, conforme a figura 6. O campo antrópico ocupa cerca de 52% do território, a cobertura arbórea 36,7%, agricultura 10,5% e mancha urbana 0,5%. Posteriormente foram reclassificadas com notas que variaram de 1 a 9.

Figura 6 Mapa de uso e ocupação do solo.



Fonte: Autor, 2022.

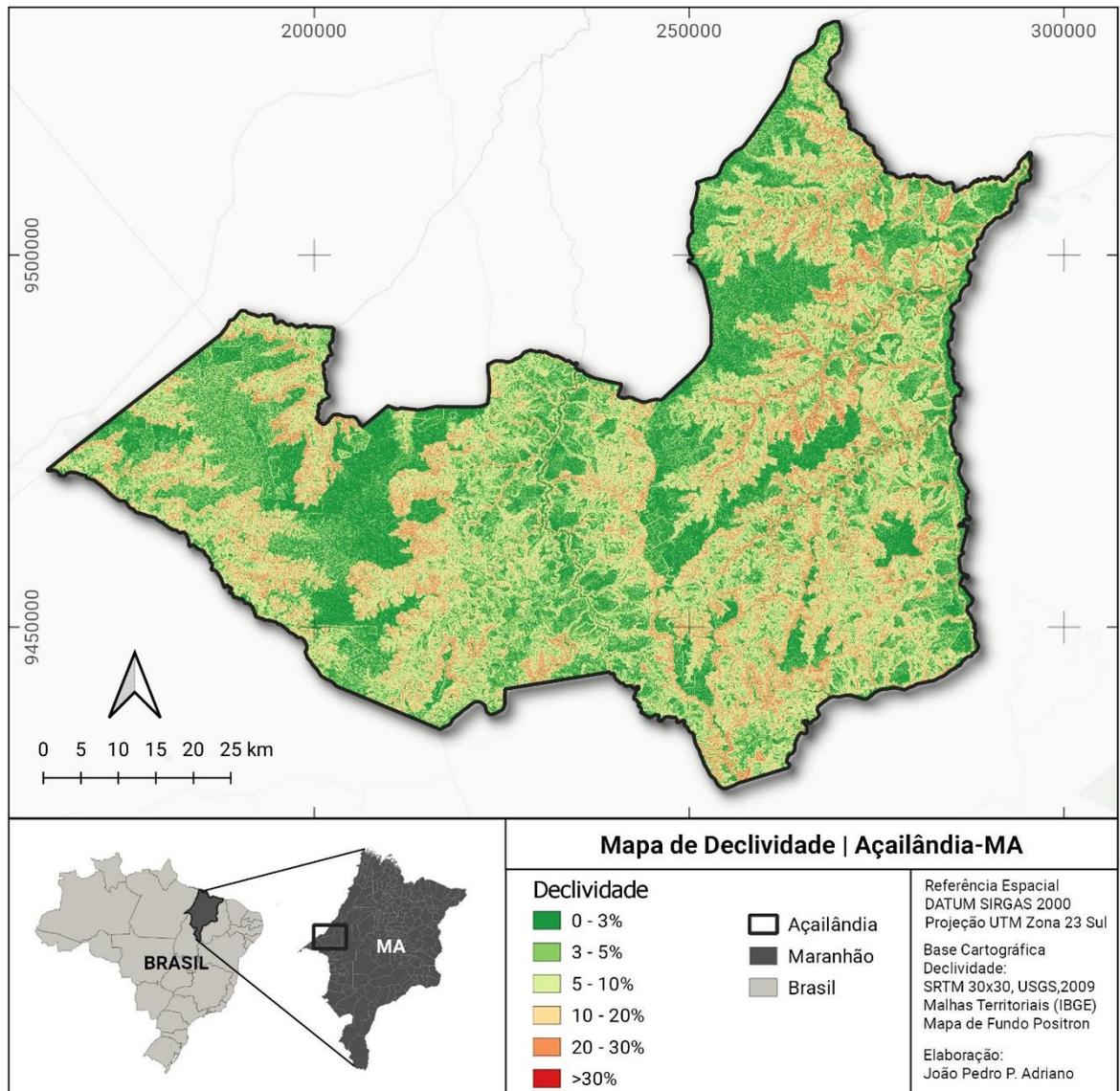
O mapa de corpos hídricos do município apresenta todas as drenagens conforme a Figura 7. Todas as drenagens tiveram uma restrição de 200 m de distância, e posteriormente foram reclassificadas de acordo com os critérios de distância adotados para a ponderação.

Figura 7 Mapa de corpos hídricos.

Fonte: Autor, 2022.

O mapa de declividade mostrado na Figura 8, apresenta as declividades em porcentagem, que variam de 0 a valores maiores que 30, esses valores foram restringidos na reclassificação. Observa-se que a maior parte do terreno apresenta uma declividade abaixo de 30%.

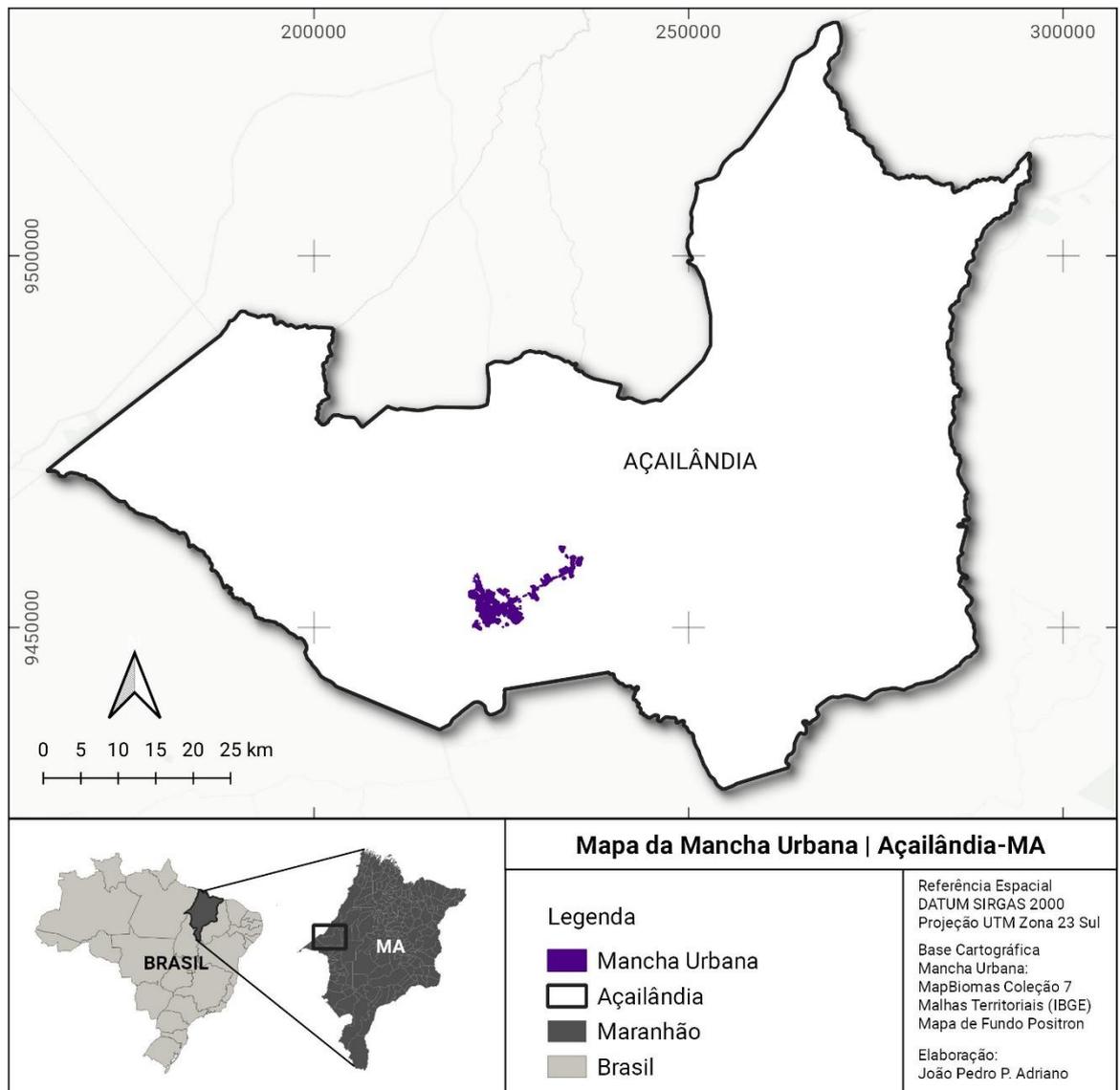
Figura 8 Mapa de declividade.



Fonte: Autor, 2022.

O mapa de mancha urbana da Figura 9, foi retirado do mapa de uso e ocupação e mostra a sede municipal juntamente com o polo industrial, principais centros geradores de RSU. Para a reclassificação, restringiu-se uma proximidade de 500 m, levou em conta também que distâncias muito grandes da fonte geradora podem inviabilizar economicamente a utilização do aterro sanitário.

Figura 9 Mapa de mancha urbana.



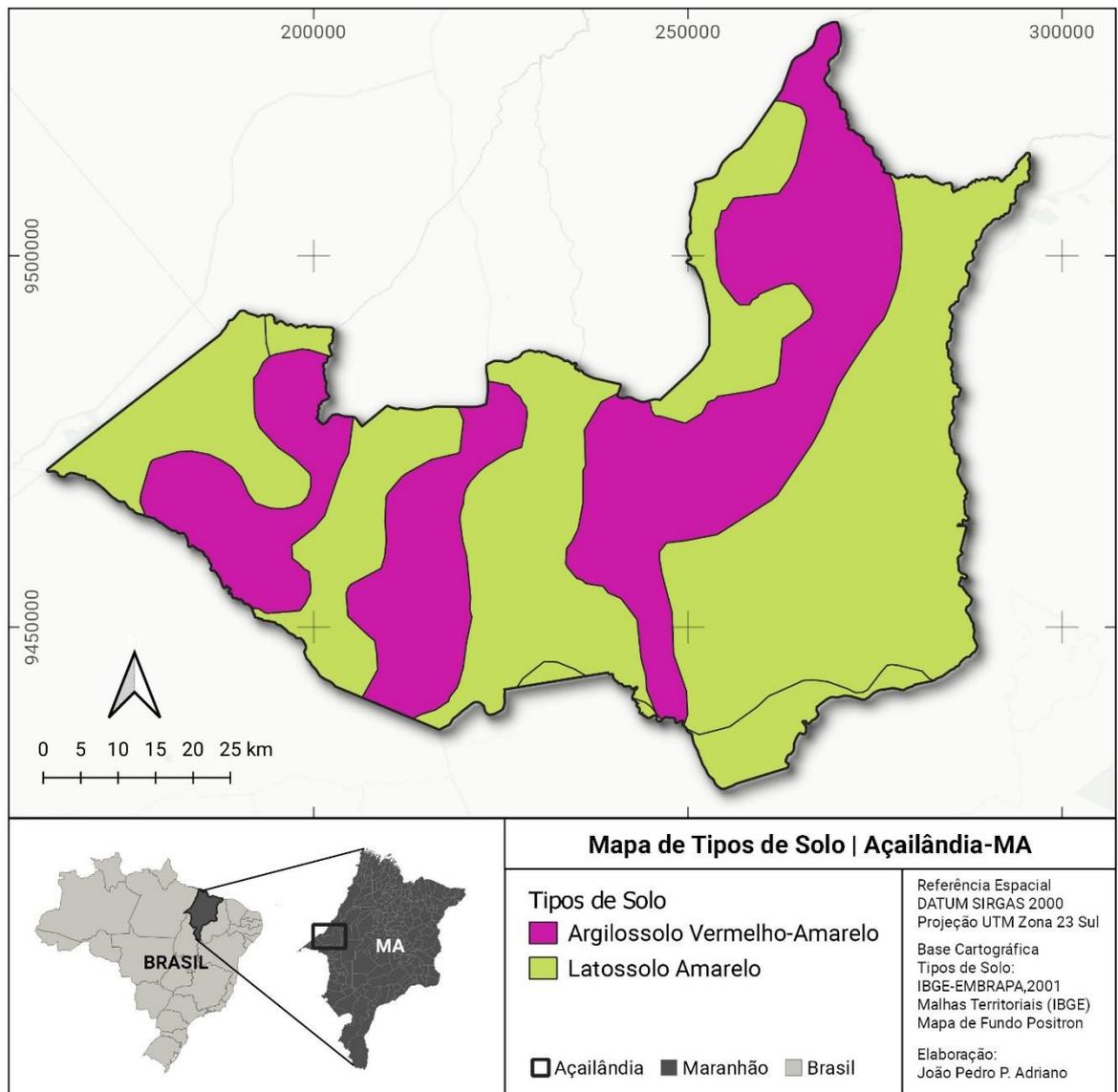
Fonte: Autor, 2022.

O território apresenta dois tipos de solos, Argilossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo compondo a maior área do terreno, conforme a Figura 10. Esse mapa é importante para se saber a permeabilidade do terreno, já que busca-se solos mais impermeáveis como descrito na NBR 13.896 (1997). Desta forma dificulta-se a contaminação de águas subterrâneas e reduz custos com métodos mais avançados de impermeabilização do solo.

Os Latossolos apresentam, portanto, elevada porosidade e permeabilidade interna, com drenagem excessiva ou muito rápida, garantindo maior resistência aos

processos erosivos em relação às outras classes de solos (EMBRAPA, 2018). Os argilossolos possuem um índice de permeabilidade baixo, tornando-se estas áreas prioritárias para determinação da localização do aterro. Por esse motivo, as áreas com argilossolo foram priorizadas na reclassificação em relação ao latossolo.

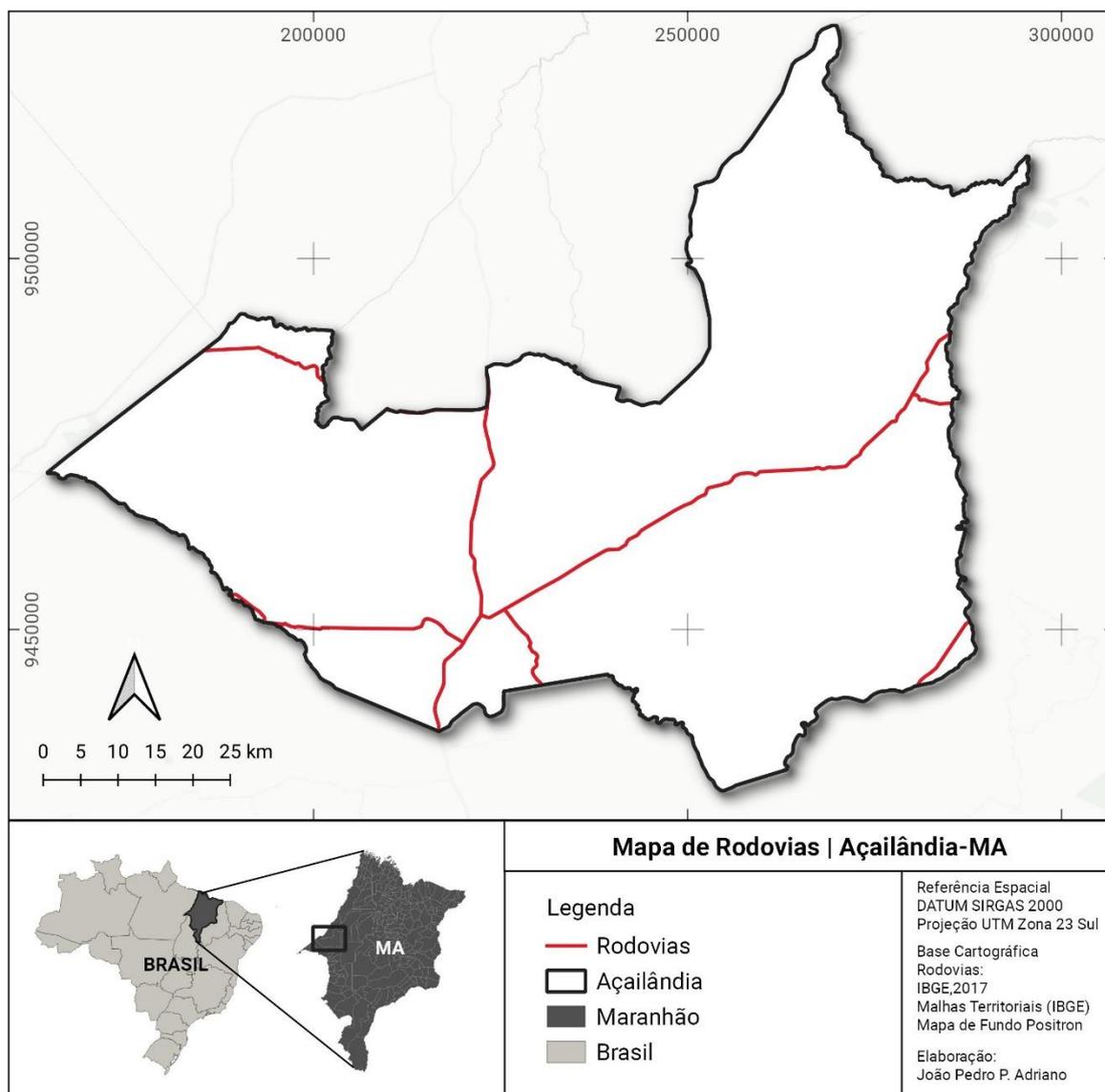
Figura 10 Mapa de tipos de solo.



Fonte: Autor, 2022.

A proximidade das rodovias restringidas para uma distância de 100 m, tiveram como base o mapa de rodovias no município, traz-se as rodovias pavimentadas, principalmente as rodovias federais BR-010 e BR-222, como mostrado na Figura 11. Assim como a proximidade das rodovias não é tão aconselhável, grandes distâncias também não são devido a questões econômicas.

Figura 11 Mapa de rodovias.

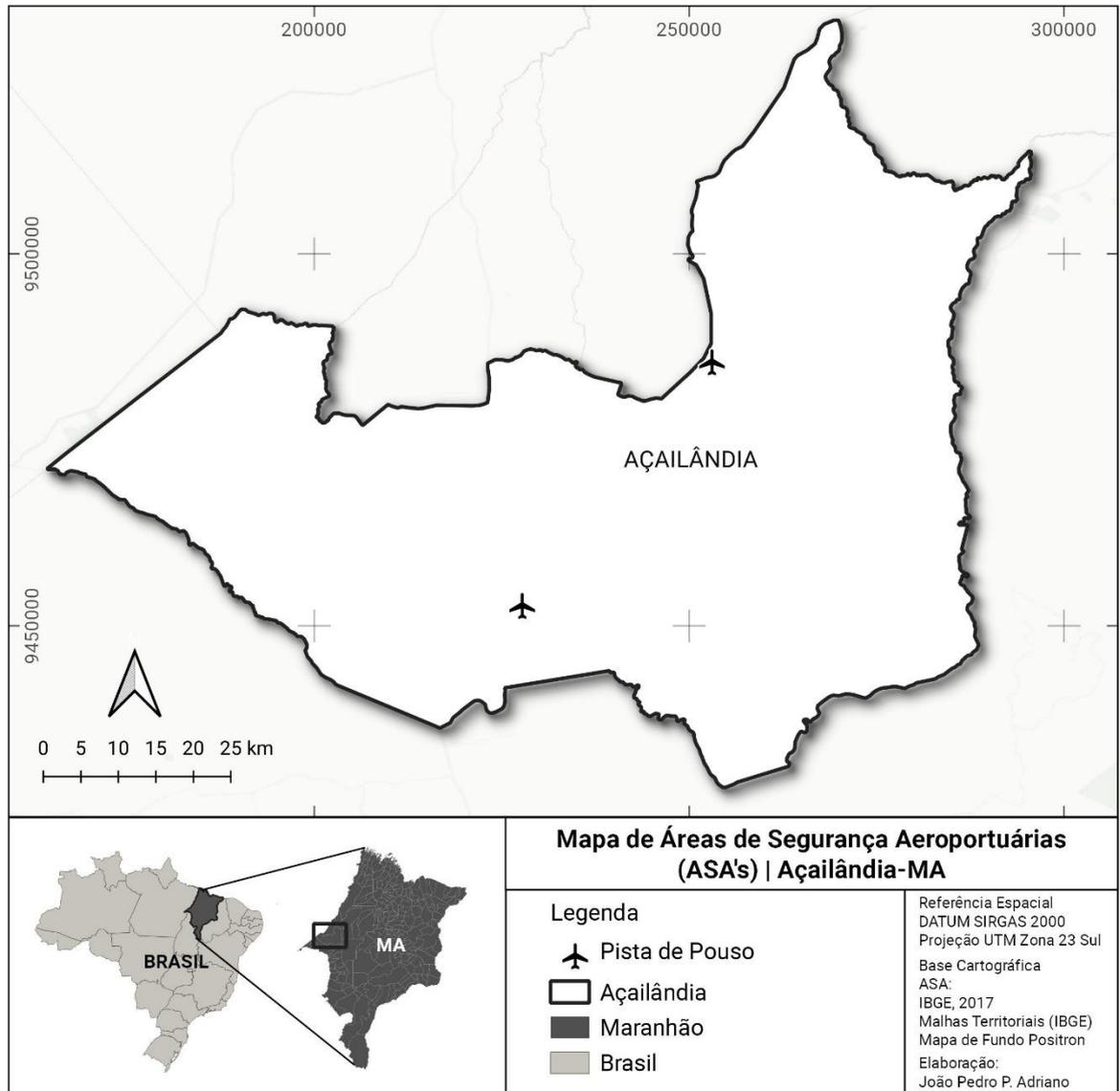


Fonte: Autor, 2022.

Apesar de o município não possuir um aeroporto de fato, existem duas pistas de pouso na região para aviões de pequeno porte como mostrado na Figura 12, então

foram consideradas como áreas de segurança aeroportuárias, restringindo a construção do aterro sanitário em um raio de 13 km.

Figura 12 Mapa de áreas de segurança aeroportuárias.



Fonte: Autor,2022.

5.3 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

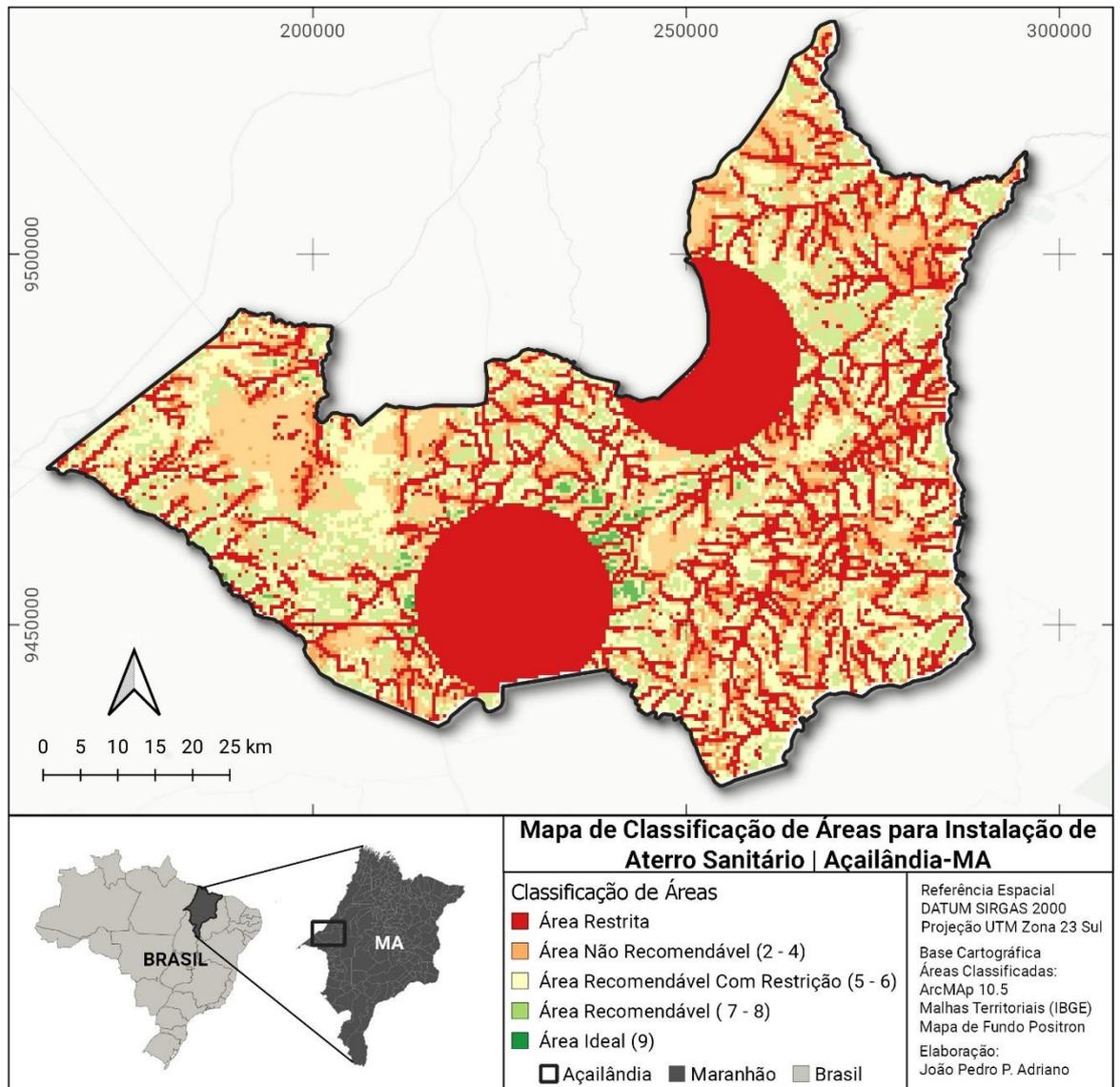
A análise multicritério considerou todas as ponderações e todos os pesos dados para cada condicionante, e por meio de um software SIG, foi possível a obtenção de um mapa com as notas para cada área de acordo com a análise processada como ilustra a Figura 13.

Essas áreas foram divididas e classificadas em:

- Área restrita;
- Área não recomendável;
- Área recomendável com restrições;
- Área recomendável;
- Área Ideal.

Essa divisão foi adotada com a intenção de orientar a busca de áreas com melhores notas. As áreas restritas, já foram previamente restringidas por cada parâmetro estudado e equivaleram aproximadamente a 36,47% do total, as áreas não recomendáveis receberam notas entre 2 e 4, e corresponderam a 11,78%, áreas recomendáveis com restrição, receberam notas entre 5 e 6, o que corresponde a 39,48%. Já as áreas recomendáveis foram pontuadas de 7 a 8, ocupando 12,24% e a área ideal recebeu nota 9, e ocupa 0,004% do território.

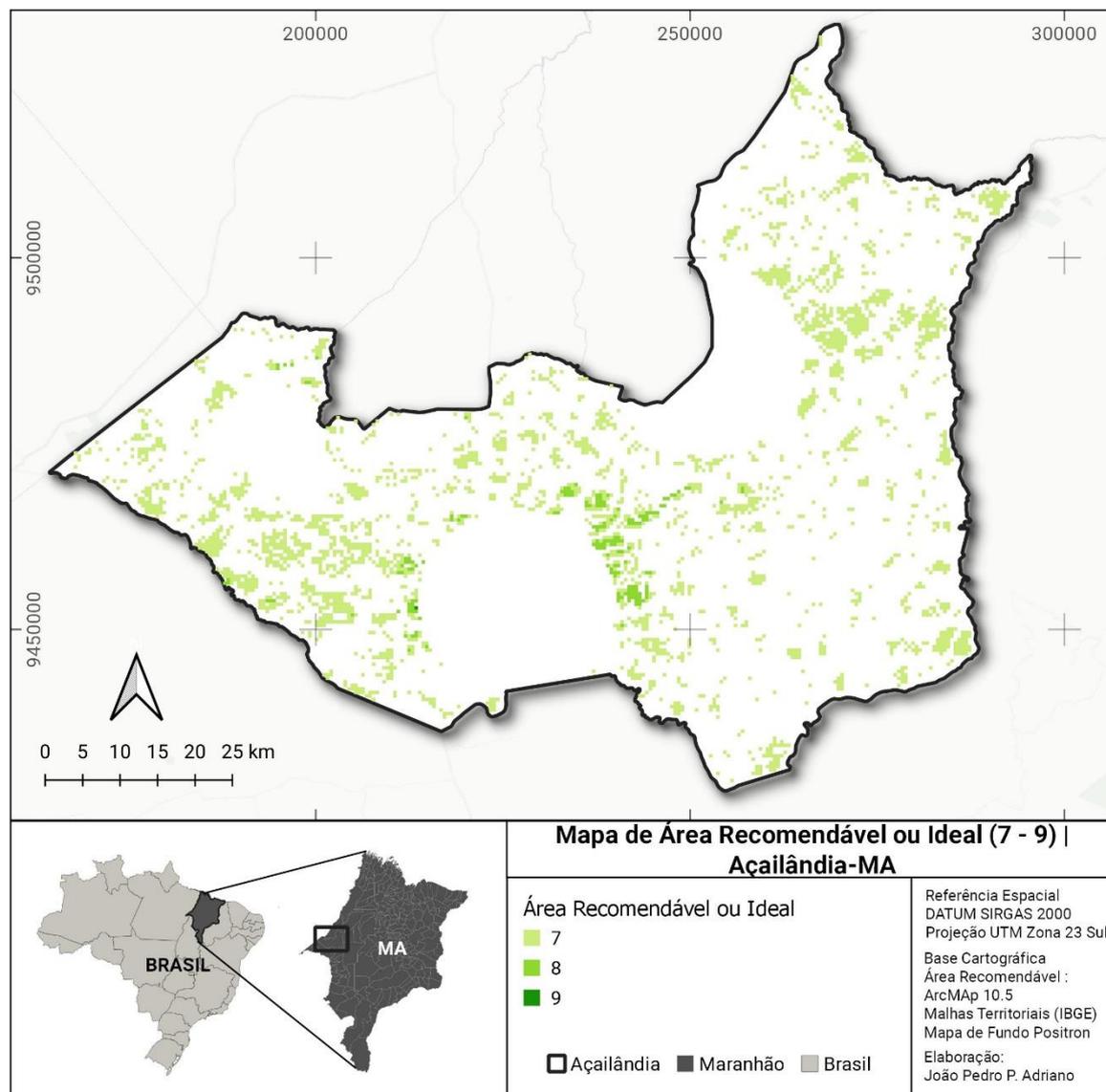
Figura 13 Classificação de áreas para instalação do aterro sanitário.



Fonte: Autor,2022.

Para a melhor visualização das regiões tidas como recomendável ou ideal, fez-se um mapa apenas com essas áreas, com pontuação de 7 a 9, mostrado na Figura 14. Observou-se que um único polígono alcançou a nota máxima, por ter atendido todas as condições, delimitado por uma área de 22,46 ha.

Figura 14 Mapa de áreas recomendáveis ou ideais.



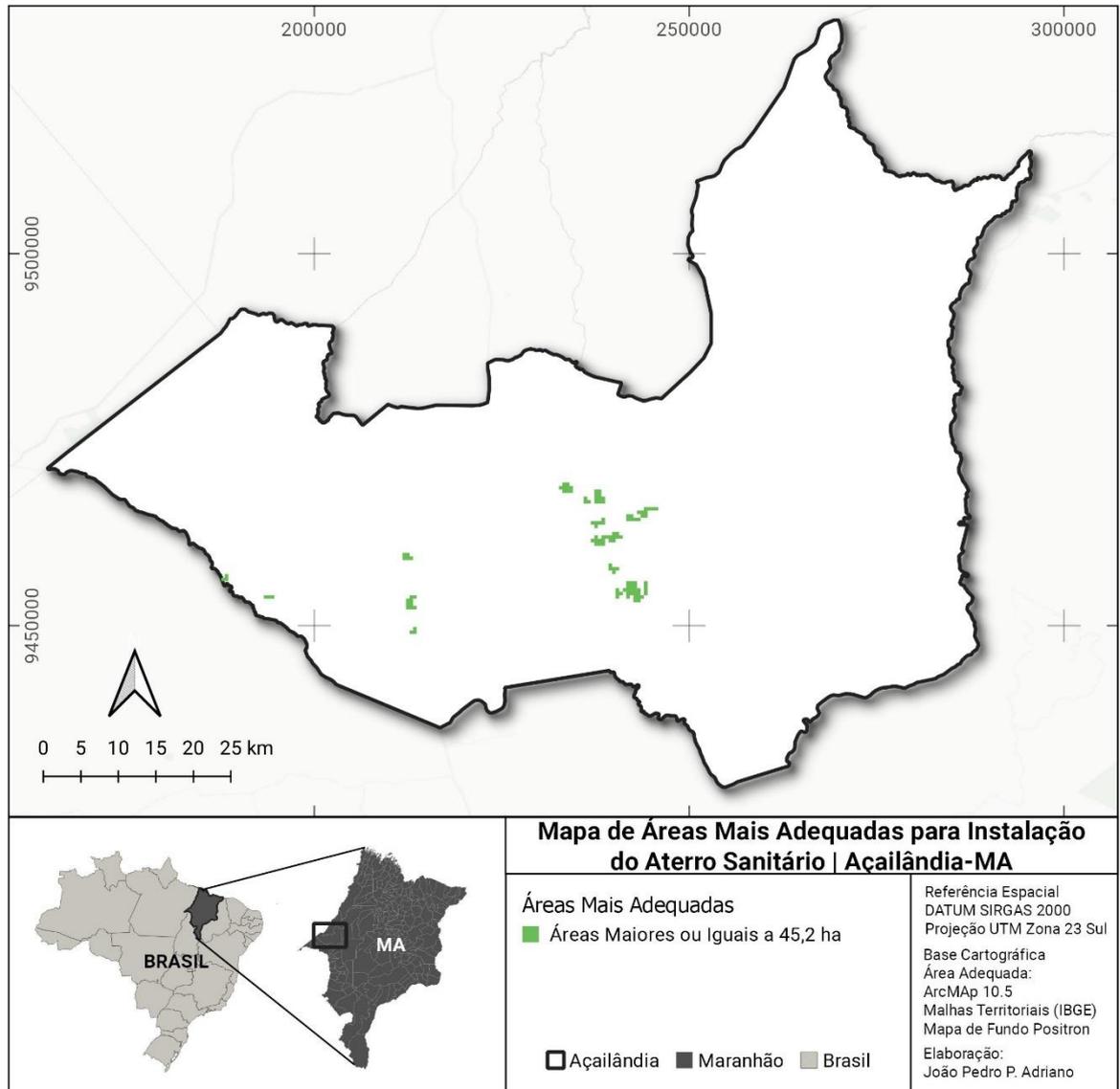
Fonte: Autor,2022.

Para a pré-seleção de áreas mais adequadas para a implantação de um aterro sanitário, utilizou-se a as áreas com maior pontuação. Desta forma, buscou-se aquelas que se encaixaram no tamanho total da área necessária calculada previamente.

Neste contexto, ao final dessa triagem, 16 áreas com maior pontuação e que obedeciam ao tamanho mínimo 45,2 ha foram selecionadas como áreas mais adequadas para o aterro sanitário como ilustrado na Figura 15. A única área com a pontuação máxima não foi escolhida nesse processo por não atender a área

estabelecida para o aterro sanitário. Como o objetivo é ter as melhores pontuações que obedeceram ao limite de tamanho estabelecido, as áreas com nota abaixo de 8 foram retiradas da análise.

Figura 15 Áreas mais adequadas para instalação de um aterro sanitário.



Fonte: Autor,2022.

Apesar dos resultados da análise multicritério apontarem áreas mais adequadas para a instalação do aterro sanitário, é válido ressaltar que essas não necessariamente correspondem a opções mais viáveis economicamente, visto que

alguns fatores não entraram na análise, como custo de aquisição da área, e até mesmo de transporte. Um parâmetro muito importante que não foi analisado nesse estudo, foi a profundidade do lençol freático, devido à dificuldade na obtenção desses dados. Desta forma, esse parâmetro teria que ser analisado *in loco* ao escolher uma das áreas indicadas como adequadas na pré-seleção.

É válido pontuar que a elaboração de planos municipais que englobam a educação ambiental para a conscientização da população, coleta seletiva, compostagem, levariam a uma diminuição significativa da área necessária para o aterro sanitário e até mesmo aumentar a vida útil do mesmo.

Em relação a metodologia aplicada, considera-se uma forma consolidada e muito utilizada para o selecionamento de áreas para aterro. Segundo Isabella et al. (2018), que utilizou a metodologia no município de Jundiaí, o geoprocessamento juntamente com a análise multicritério mostrou-se eficiente em relação a esse tipo de análise, e alcançou o objetivo proposto ao considerar-se as condicionantes estabelecidas para o estudo.

Para Lourenço et al. (2015), que realizou o estudo na região metropolitana de Sorocaba, esse método empregado exige a manipulação de uma grande quantidade de dados, o que pode tornar o processo mais complexo para regiões que não possuem alguns dados à disposição. Desta forma, pode-se criar um banco de dados de fácil atualização e implementação para estudos multitemáticos, principalmente em caso de soluções consorciadas futuras.

6 CONCLUSÃO

O município de Açailândia apresenta um grande déficit no que tange a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, e apresenta uma disposição final desses resíduos de forma completamente inadequada por meio de lixões. Nesse contexto é inserida a análise multicritério aliada ao geoprocessamento, que otimizam o processo o qual se refere a escolha de áreas mais adequadas para instalação de um aterro sanitário.

A análise realizada necessita previamente o cálculo para uma área mínima para a alocação do aterro, que para o município estudado é de 45,2 ha. Para encontrar essa área foi necessário realizar uma projeção populacional para o tempo de atividade do aterro, determinando assim, a quantidade de RSU gerado e o volume que o aterro pode receber.

É importante estabelecer as condicionantes a serem utilizadas, que nesse caso são: o uso e ocupação do solo, os corpos hídricos, a mancha urbana, a declividade do terreno, os tipos de solo, as rodovias, e as áreas de segurança aeroportuárias. A ABNT NBR 13.896 de 1997 é fundamental para essa escolha, além da determinação das restrições estabelecidas em cada parâmetro. A partir disso, é possível elaborar mapas para cada condicionante definida, o que facilita no entendimento e na visualização desses parâmetros no território municipal.

A ponderação e distribuição dos pesos é um fator importante para o resultado final analisado. Observa-se que apenas uma área recebe a pontuação máxima, mas não comporta o espaço mínimo para o aterro, assim, as áreas com a maior pontuação alcançada passam por uma triagem, a fim da obtenção somente das áreas com maior pontuação que se enquadram na área calculada. Dessa forma, 16 áreas estão aptas a serem pré-selecionadas para a instalação de um aterro sanitário no município de Açailândia-MA.

Pensando em trabalhos futuros, é sugerido o estudo de cada área escolhida individualmente, de modo a verificar-se outros parâmetros não englobados no presente estudo, como a profundidade do lençol freático, análises econômicas e sociais, que se fazem de suma importância na escolha de uma área para aterro

sanitário. Outra sugestão válida é elaboração de planos de coleta seletiva e de educação ambiental, de forma a conscientizar a população, e ocasionar assim, uma diminuição da quantidade resíduos para a disposição final no aterro, e reduzir a área necessária para a implantação do mesmo.

7 BIBLIOGRAFIA

ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2019. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE**, 2019.

ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE**, 2020.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1987. **NBR 10004** – Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1992. **NBR 8419** – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1997. **NBR 13896** – Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro.

BECHARA, Erika. (org.). Aspectos relevantes da política nacional de resíduos sólidos. São Paulo: **Atlas**, 2013.

BESSEN, G. R. Coleta seletiva com inclusão de catadores: construção participativa de indicadores e índices de sustentabilidade. São Paulo: **Universidade de São Paulo**, 2011.

BONJARDIM, E. C.; PEREIRA, S.; CRISTINA, I. Solid waste management in brazil paradoxes and solutions. v. 11, p. 36–52, 2020.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Poder Executivo, Brasília, DF. 2010.

BRASIL. Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000**. Poder Executivo, Brasília, DF. 2020.

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.

BRASIL. Resolução Conama nº 404, de 11 de novembro de 2008. **Estabelece Critérios e Diretrizes para o Licenciamento Ambiental de Aterro Sanitário de Pequeno Porte de Resíduos Sólidos Urbanos.** Poder Executivo, Brasília, DF. 2008.

CATAPRETA, C. A. A.; SIMÕES, G.F. Procedimentos operacionais de aterros sanitários: análise de 6 anos de monitoramento do aterro sanitário de Belo Horizonte, MG In: **Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental**, 6, 2007, Recife, PE. Anais... São Paulo: ABMS, 2007a.

DAMICO, R. V. L. et al. Redes para a sustentabilidade: estudos de caso sobre o manejo dos resíduos sólidos no Brasil. **Organizações e Sustentabilidade**, v. 6, n. 2, p. 72–88, 12 jul. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5.ed. Brasília, 2018. 356p.

GODOY, M. R. B. Dificuldades para aplicar a Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil Difficulties regarding the application of the Brazilian National Law of Solid Waste. 2013.

GOMES, Maria H. S. C; OLIVEIRA, Edenis C.O.; BRESCIANI, Luis P.; PEREIRA, Raquel da S. Política Nacional de Resíduos Sólidos: perspectivas de cumprimento da Lei 12.305/2010 nos municípios brasileiros, municípios paulistas e municípios da região do ABC. **Revista de Administração da UFSM**, Santa Maria, v. 7, Edição Especial, p. 93-110, NOV. 2014.

GRANDZOL, J. R. Improving the faculty selection process in higher education: a case for the analytic hierarchy process. **IR Applications**, Tallahassee v. 6, n. 24, 2005.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Produto Interno Bruto dos Municípios.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/sao-luis/pesquisa/38/47001?tipo=ranking>> Acesso em: 15 de julho de 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Panorama.** Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/acailandia/panorama>> Acesso em: 23 de setembro de 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).2001. **Mapa de solos do Brasil – Escala 1:5.000.000**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php>. Acesso em: 08 de maio de 2022.

ISABELLA, K. et al. SIG na seleção de áreas para implantação de aterros sanitários : estudo de caso em Jundiaí – SP. v. 66, n. 31, p. 59–75, 2018.

LIMA,J.D. Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. João Pessoa: **ABES**. 2002.

LOURENÇO, R. W. et al. Metodologia Para Seleção De Áreas Aptas À Instalação De Aterros Sanitários Consorciados Utilizando Sig. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 3, p. 122–140, 2015.

MENESES, H. B.; SOUSA, V. M. P. L.; FERNANDES, F. J. S. Cartilha Técnica: Planejamento, Construção e Operação de Aterros para a Disposição Final de Resíduos Sólidos. 2008.

OBLADEN, N. L.; OBLADEN, N. T. R.; BARROS, K. R. DE. Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos. v. III, 2009.

OLIVEIRA, A. P. et al. Alinhamento de legislações de estados e municípios brasileiros com a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Acta Brasiliensis**, v. 2, n. 3, p. 89–95, 12 set. 2018.

PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Açailândia-MA. 2019.

Projeto MapBiomass – Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. 2021. Disponível em: <https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-7/lclu/coverage/brasil_coverage_1985.tif> Acesso em: 06 de outubro de 2022.

SAATY, T. L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. **Interfaces**, v. 24, n. 6, p. 19- 43, 1994.

SAATY, T. L., Método de Análise Hierárquica, **Makron Books do Brasil Editora Ltda.**, 1991

SAATY, T.L. “How to make a decision: The analytic hierarchy process”, **European Journal of Operational Research**, Vol.48 No.1, pp.9-26, 1990.

SHIMIZU, T. Decisão nas Organizações. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2006.

SNIS - PAINEL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-residuos-solidos>>. Acesso em: 05 de outubro de 2022.

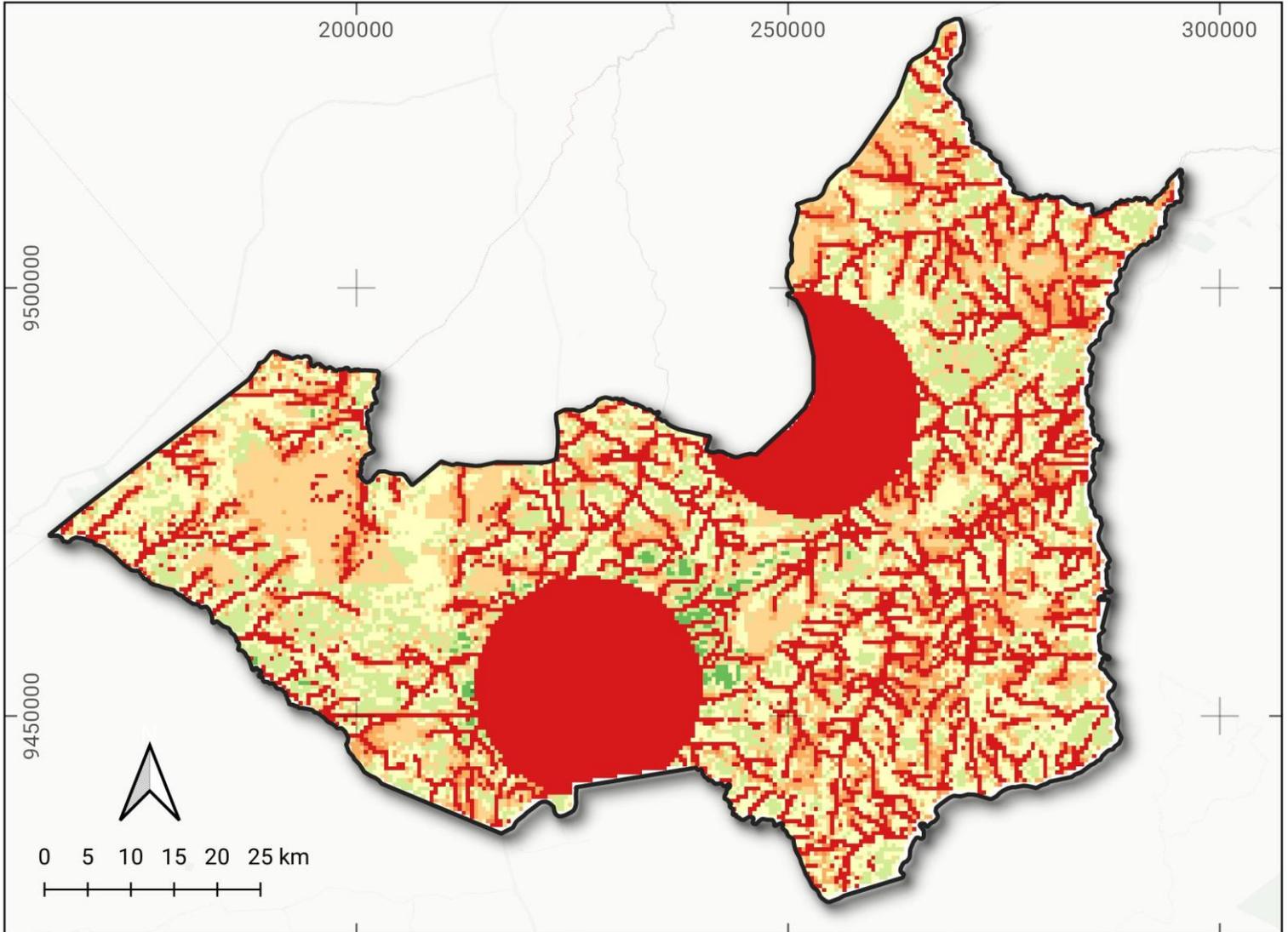
SNIS - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Mapa de indicadores de resíduos sólidos em Açailândia.** 2020. Disponível em: <http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores/web/residuos_solidos/mapa-indicadores?cod=2100055 > Acesso em: 23 de setembro de 2022.

SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental – ReCESA. **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento: nível 2.** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.) – Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 120 p.

UNESP – Universidade Federal Paulista. Formas de disposição de resíduos: aterro sanitário. Disponível em: <<http://www1.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res14.html>> Acesso em: 13 de setembro de 2022.

VARGAS, R. V. Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process – AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. In: **PMI GLOBAL CONGRESS**, 2010, [Washington, DC]. Proceedings... [Washington, DC]: PMI, 2010. P1-22.

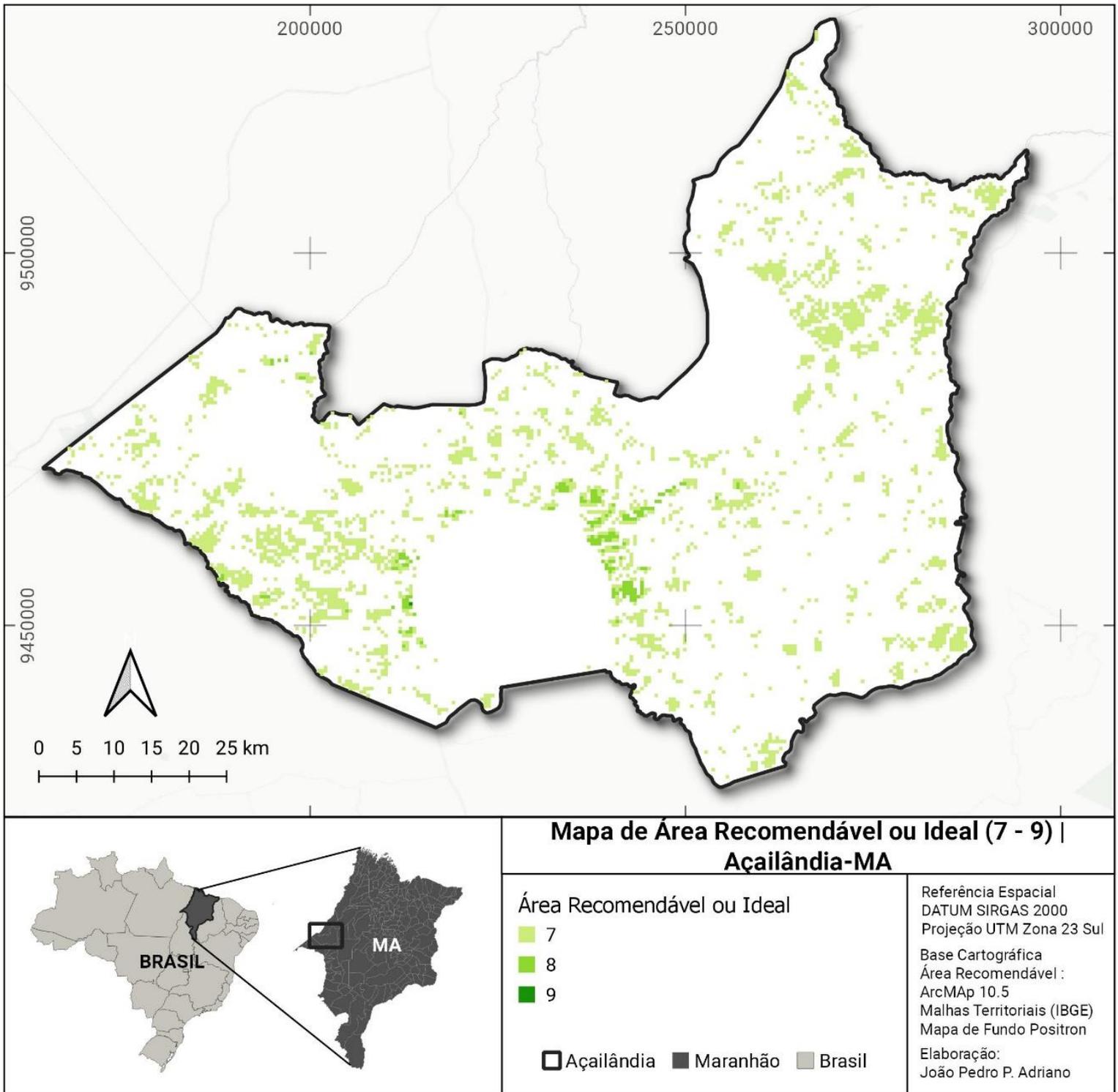
APÊNDICE A – MAPA DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO



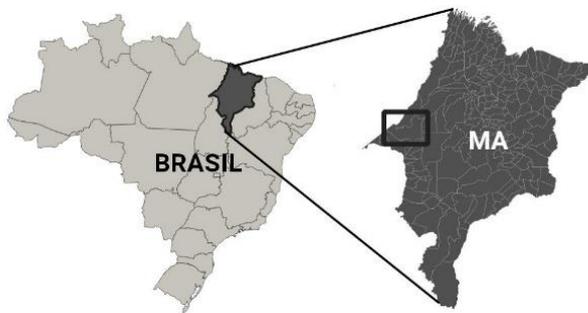
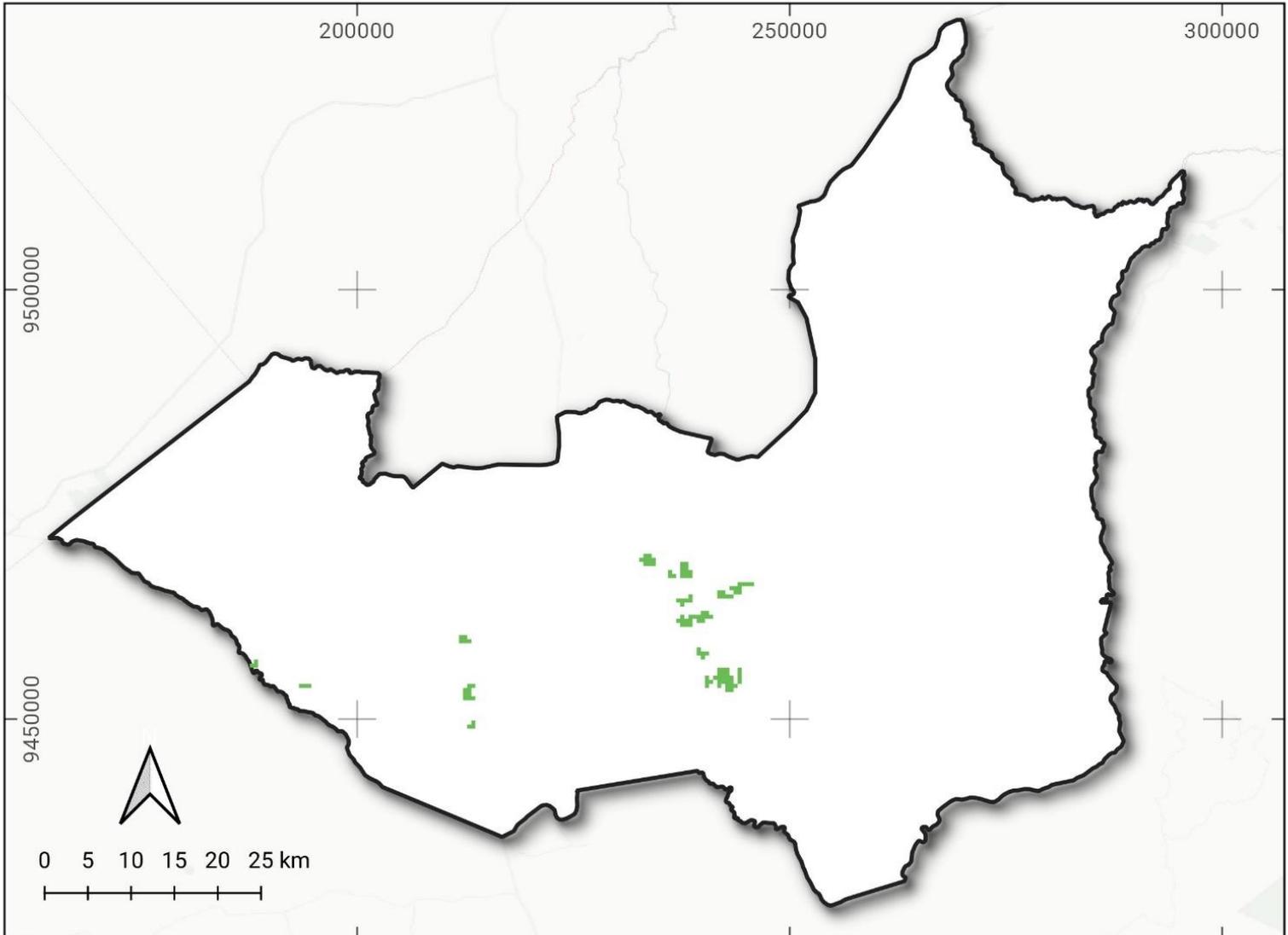
Mapa de Classificação de Áreas para Instalação de Aterro Sanitário | Açailândia-MA

Classificação de Áreas ■ Área Restrita ■ Área Não Recomendável (2 - 4) ■ Área Recomendável Com Restrição (5 - 6) ■ Área Recomendável (7 - 8) ■ Área Ideal (9)		Referência Espacial DATUM SIRGAS 2000 Projeção UTM Zona 23 Sul Base Cartográfica Áreas Classificadas: ArcMap 10.5 Malhas Territoriais (IBGE) Mapa de Fundo Positron Elaboração: João Pedro P. Adriano
□ Açailândia ■ Maranhão ■ Brasil		

APÊNDICE B – MAPA DE ÁREA RECOMENDÁVEL OU IDEAL



APÊNDICE C – MAPA DE ÁREAS MAIS ADEQUADAS PARA A INSTALAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO



Mapa de Áreas Mais Adequadas para Instalação do Aterro Sanitário | Açailândia-MA

Áreas Mais Adequadas

■ Áreas Maiores ou Iguais a 45,2 ha

□ Açailândia ■ Maranhão ■ Brasil

Referência Espacial
DATUM SIRGAS 2000
Projeção UTM Zona 23 Sul

Base Cartográfica
Área Adequada:
ArcMap 10.5
Malhas Territoriais (IBGE)
Mapa de Fundo Positron

Elaboração:
João Pedro P. Adriano

