



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

SHEWLYN JENYELE RODRIGUES NEVES
THATYELLY THAYLLA SANTOS DE ALMEIDA

**IDENTIFICAÇÃO DA APTIDÃO DE ÁREAS À INSTALAÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE PRAINHA-PA UTILIZANDO AVALIAÇÃO
MULTICRITÉRIO E GEOTECNOLOGIAS**

TUCURUÍ
2022

SHEWLYN JENYELE RODRIGUES NEVES
THATYELLY THAYLLA SANTOS DE ALMEIDA

**IDENTIFICAÇÃO DA APTIDÃO DE ÁREAS À INSTALAÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE PRAINHA-PA UTILIZANDO AVALIAÇÃO
MULTICRITÉRIO E GEOTECNOLOGIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador(a): Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara
Coorientador(a): Fabíola Esquerdo de Souza

TUCURUÍ
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N511i Neves, Shewlyn Jenyele Rodrigues.
Identificação da aptidão de áreas à instalação de aterro sanitário
no município de Prainha-PA utilizando avaliação multicritério e
geotecnologias / Shewlyn Jenyele Rodrigues Neves, Thatyelly
Thaylla Santos de Almeida . — 2022.
101 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara
Coorientador(a): Prof^a. Esp. Fabíola Esquerdo de Souza
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de
Engenharia Sanitária e Ambiental, Tucuruí, 2022.

1. Resíduos sólidos. 2. Aterro sanitário. 3. Sistema de
informações geográficas. 4. Geoprocessamento. I. Título.

CDD 624.162

SHEWLYN JENYELE RODRIGUES NEVES
THATYELLY THAYLLA SANTOS DE ALMEIDA

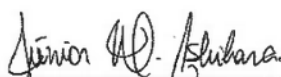
**IDENTIFICAÇÃO DA APTIDÃO DE ÁREAS À INSTALAÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE PRAINHA-PA UTILIZANDO AVALIAÇÃO
MULTICRITÉRIO E GEOTECNOLOGIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Sanitária e
Ambiental, do Campus Universitário de
Tucuruí, da Universidade Federal do Pará,
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Sanitária e
Ambiental

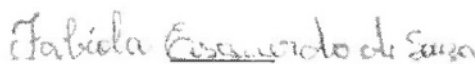
Data da aprovação: 09 / 02 / 2022

Conceito: Excelente

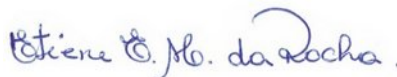
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara
Orientador – FAESA/UFPA



Engª Fabíola Esquerdo de Souza
Coorientadora – CETAM



Profª. Dra. Etienne Elayne Meireles da Rocha
Examinador Interno – FAESA/UFPA



Msc. Denilson Freitas Almeida
Examinador Externo – SEMAS/PA

AGRADECIMENTOS

Eu, Shewlyn, agradeço em especial ao autor da vida e da fé, que dá propósito à minha existência e que têm abençoado cada área da minha vida, o Senhor meu Deus que vive e que reina para sempre, aquele que nos permite realizar ciência no campo de experiência que é a sua criação, esse campo vasto e dinâmico obra das suas mãos.

À minha mãe Silvia, quem não mediu esforços para subsidiar a minha trajetória, me refiro não somente aos meses dedicados a esta pesquisa, mas a todos os anos de minha vida, aos quais ela têm doando o seu tempo, os seus recursos e o seu amor sem reservas. Tenho certeza que os seus cuidados têm potencializado os meus resultados, por isso, posso dizer com muita alegria que cada uma das minhas conquistas é dela também. Agradeço ao meu pai João, que tem me acompanhado dia após dia, que me incentiva e costuma me dirigir palavras de ânimo, que se realiza em ver a minha satisfação na área de atuação que escolhi. Agradeço ao meu sobrinho João Davi e aos meus irmãos Sidney e Jheniffer por se alegrarem comigo, por me incentivarem e manifestarem o seu afeto de diversas formas.

À minha dupla de pesquisa, Thatyelly, nossas semelhanças e diferenças na forma de pensar e de agir, bem como nossa paixão em comum pela engenharia sanitária e ambiental culminaram na elaboração desta obra singular que foi realizada com muito zelo, fruto de muito esforço e dedicação, onde foi investido tempo, paciência e perseverança de ambas as partes. Sua parceria e amizade são presentes para mim.

Ao nosso querido orientador Dr. Júnior Ishihara, que para além desse trabalho de conclusão de curso, por diversas vezes contribuiu com a nossa trajetória acadêmica nos incentivando e nos mostrando que podemos alcançar conquistas cada vez maiores. À nossa coorientadora Fabíola Esquerdo, que com alegria por vezes compartilhou conosco tanto do seu conhecimento, e nessa caminhada, se tornou uma grande amiga.

Agradeço a cada um dos meus amigos, aos de longa data, àqueles que ganhei no decorrer da graduação ou no ambiente de trabalho e também aos meus irmãos na fé, que me apoiaram de alguma forma, seja por terem contribuído no meu progresso como acadêmica, por suas palavras de encorajamento ou por me incluírem em suas orações, essas pessoas são especiais e essenciais.

Sinto-me muito feliz e realizada pela elaboração do presente trabalho, pois para mim ele simboliza a obtenção da minha graduação tão almejada, um dos meus sonhos de menina sendo realizado, representando o fechamento de mais um ciclo e abertura de um novo na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Eu, Thatyelly, agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e sabedoria para concluir essa etapa tão importante da minha vida.

À minha família, em especial, aos meus pais José Rivaldo e Maria José, que não mediram esforços para me apoiarem em toda a trajetória, sempre com palavras de encorajamento e com seus exemplos de vida que me fizeram acreditar que eu poderia fazer mais e melhor. Aos meus irmãos Thays Thayla, Thaylson Thayson e Thayná Thayla que sempre torceram por mim, e me ajudaram sempre que eu precisei, e não menos importante minha sobrinha Yasmim que mesmo pequena em suas atitudes diárias tem me incentivado a prosseguir.

Ao meu amigo, companheiro e namorado Rômulo Cavalcante, que me acompanhou com muita paciência durante toda a caminhada, entendendo todas as minhas ausências, sempre me apoiando e acreditando que eu seria capaz. Grata, pelas incontáveis vezes que você me ajudou, e pelas sábias palavras nos momentos de conflitos e desespero.

À minha parceira de pesquisa, Shewlyn, por me completar tanto e ter sido uma dupla imbatível em toda essa longa caminhada, por todas as vezes que me compreendeu e pelas suas palavras de proteção e alívio que foram essenciais para que o nosso desempenho fosse tão bom e para que finalmente a gente chegasse até aqui com o sentimento de dever cumprido. Gratidão pela sua amizade.

Ao nosso querido orientador professor Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara por toda sua disponibilidade em sanar as nossas dúvidas quando foram necessárias, todo conhecimento repassado e pelas inúmeras oportunidades proporcionadas durante esta graduação. À nossa coorientadora Fabíola Esquerdo de Souza por sua dedicação e paciência em transmitir seu conhecimento, e pela sua amizade que quero levar para a vida.

Aos meus amigos que fiz durante a graduação, por todos os sufocos compartilhados e por ter aprendido e amadurecido tanto, seja nos momentos alegres quanto nas situações mais difíceis convividas.

Por fim, grata a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta tão sonhada conquista.

RESUMO

Com o intuito de contribuir com a administração pública para o planejamento e o gerenciamento dos resíduos sólidos municipais, o presente trabalho tem como objetivo realizar a identificação da aptidão de áreas para implantação de aterro sanitário no município de Prainha, situado na região do Baixo Amazonas, no interior do estado do Pará. Como ferramenta metodológica, esta pesquisa utilizou a análise multicritério fundamentada no método do Processo Analítico Hierárquico (AHP) por intermédio da utilização do *software QGIS* versão 3.16.6, um Sistema de Informações Geográficas de código aberto, no qual foi realizado o geoprocessamento dos dados pertinentes aos critérios definidos para a avaliação. Foram gerados mapas temáticos que contribuíram para elaboração do mapa resultado de aptidão final, no qual foi possível verificar o grau de aptidão das áreas. O resultado final apontou que as áreas em níveis mais satisfatórios de aptidão, aquelas classificadas em Moderadamente Boa, Boa e Ótima, tiveram uma representatividade de 35,88% do território, enquanto que 46,40% do total territorial compreendeu áreas que não podem ser utilizadas em hipótese alguma para fins de disposição final de resíduos sólidos, em conformidade com as legislações vigentes. Espera-se que os resultados contribuam para orientar na tomada de decisão, auxiliando na seleção de quais as alternativas mais adequadas do ponto de vista ambiental, operacional e socioeconômico. Vale lembrar que a classificação quanto à aptidão das áreas apresentadas neste trabalho consiste em uma etapa preliminar de avaliação, sendo primordial a efetivação de uma etapa posterior à de geoprocessamento, realizada *in loco*, a partir de trabalhos de campo e ensaios laboratoriais para a tomada de decisão definitiva.

Palavras-chave: resíduos sólidos; aterro sanitário; AHP; sistema de informações geográficas; geoprocessamento.

ABSTRACT

In order to contribute to the public administration for the planning and management of municipal solid waste, the present work aims to identify the suitability of areas for the implementation of a sanitary landfill in the municipality of Prainha, located in the Lower Amazon region, in the interior of the state of Pará. For that, this research used the multicriteria analysis based on the Analytical Hierarchical Process (AHP) method through the use of the QGIS software version 3.16.6, an open source Geographic Information System, in which it was geoprocessing of the data relevant to the criteria defined for the evaluation was carried out. Thematic maps were generated that contributed to the elaboration of the final suitability map, in which it was possible to verify the suitability degree of the areas. The final result showed that the areas with the most satisfactory levels of aptitude, those classified as Moderately Good, Good and Great, had a representation of 35.88% of the territory, while 46.40% of the territorial total comprised areas that cannot be under no circumstances for final disposal of solid waste, in accordance with current legislation. It is expected that the results will help guide decision-making, helping to select the most appropriate alternatives from an environmental, operational and socioeconomic point of view. It is worth remembering that the classification regarding the suitability of the areas presented in this work consists of a preliminary evaluation stage, being essential to carry out a subsequent stage of the geoprocessing, carried out in loco, from field work and laboratory tests for the taking of final decision.

Keywords: solid waste; sanitary landfill; AHP; geographic information system; geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de classificação dos resíduos sólidos, conforme a NBR 10.004/2004.....	23
Figura 2 - Dados da geração de RSU no Brasil para o ano de 2010 e 2019.....	24
Figura 3 - Disposição final de RSU no Brasil, por tipo de destinação (t/ano) para os anos de 2010 e 2019	26
Figura 4 - Esquema de um aterro sanitário.....	28
Figura 5 - Esquema de um aterro controlado.	33
Figura 6 - Lixão do município de Prainha-PA.	34
Figura 7 - Representação geométrica dos dados no SIG.	36
Figura 8 - Mapa de localização do município de Prainha-PA.....	42
Figura 9 - Fluxograma metodológico da pesquisa.....	46
Figura 10 - Núcleos populacionais atendidos no aterro sanitário previsto.....	48
Figura 11 - Mapa do critério Aeródromos.....	73
Figura 12 - Mapa do critério Áreas protegidas de populações tradicionais quilombolas.....	74
Figura 13 - Mapa do critério Áreas protegidas de populações tradicionais indígenas.	75
Figura 14 - Mapa do critério Áreas de patrimônio arqueológico.	76
Figura 15 - Mapa do critério Declividade.	77
Figura 16 - Mapa do critério Geologia.	79
Figura 17 - Mapa do critério Distância de recursos hídricos.....	81
Figura 18 - Mapa do critério Distância de Núcleos Populacionais.	82
Figura 19 - Mapa do critério Pedologia.....	83
Figura 20 - Mapa do critério Distância de Rodovias.....	84
Figura 21 - Mapa do critério Uso e cobertura da terra.	85
Figura 22 - Mapa do critério Unidades de Conservação.	87
Figura 23 - Mapa de aptidão final.	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Enquadramento legal envolvendo aterro sanitário.	30
Quadro 2 - Geodiversidade do município de Prainha.	43
Quadro 3 - Critérios avaliados para identificação da aptidão de áreas.	52
Quadro 4 - Notas dos critérios e descrição adotada.	54
Quadro 5 - Caracterização dos solos presentes em Prainha-PA.	59
Quadro 6 - Síntese de características pedológicas dos solos de Prainha-PA.	64
Quadro 7 - Caracterização dos solos presentes em Prainha-PA.	64
Quadro 8 - Características do Uso e ocupação da terra do município de Prainha.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Geração de RSU em cada região do Brasil.	24
Tabela 2 - Percentual da disposição final de RSU, por tipo de destinação em cada região do Brasil.....	27
Tabela 3 - Escala fundamental de Saaty para julgamentos comparativos.	39
Tabela 4 - Descrição dos dados vetoriais e matriciais utilizados para elaboração do estudo...	47
Tabela 5 - População dos núcleos contemplados e o percentual correspondente à população total de Prainha em 2021.	49
Tabela 6 - Quantidade estimada de habitantes nos núcleos considerados, para os anos de 2000 e 2010	49
Tabela 7 - Referência de área mínima recomendável da gleba para implantação de ASPP	52
Tabela 8 - Notas do critério Declividade (i).	58
Tabela 9 - Notas do critério Geologia.	60
Tabela 10 - Notas do critério Distância de cursos d'água.	61
Tabela 11 - Notas do critério de Distância de núcleos populacionais.	63
Tabela 12 - Notas do critério Pedologia.	64
Tabela 13 - Notas do critério Distância de rodovias.	65
Tabela 14 - Notas do critério Uso e cobertura da terra.....	67
Tabela 15 - Pesos finais obtidos para os critérios fatoriais pelo método AHP.....	69
Tabela 16 - Estimativa populacional da população a ser atendida pelo aterro para os anos de 2021 a 2040, utilizando o método geométrico	71
Tabela 17 - Classes de aptidão do critério Declividade, com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.....	78
Tabela 18 - Classes de aptidão do critério Geologia com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.	79
Tabela 19 - Classes de aptidão do critério Distância de recursos hídricos, com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.	81
Tabela 20 - Classes de aptidão do critério Distância de núcleos populacionais, com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.	82
Tabela 21 - Classes de aptidão do critério Pedologia com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.	83
Tabela 22 - Classes de aptidão do critério Distância de rodovias, com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.....	85

Tabela 23 - Classes de aptidão do critério Uso e cobertura da terra com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.	86
Tabela 24 - Classes de aptidão, com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AHP	<i>Analitic Hierarchy Process</i>
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ASA	Área de Segurança Aeroportuária
ASPP	Aterro Sanitário de Pequeno Porte
CNM	Confederação Nacional de Municípios
CNSA	Cadastro Nacional de Sítios Arqueológicos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CR	Consistência do Julgamento
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAPESPA	Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
ITERPA	Instituto de Terras do Pará
MAM	Métodos de Análise Multicritério
MDE	Modelos Digitais de Elevação
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
PEGIRS	Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Pará
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
RiGeo	Repositório Institucional de Geociências
RSS	Resíduos Sólidos dos Serviços de Saúde
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SIBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SIG'S	Sistemas de Informações Geográficas
SIRGAS 2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNSA	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SUASA	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivos.....	20
1.1.1 Objetivo Geral	20
1.1.2 Objetivos Específicos	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 Resíduos sólidos urbanos	21
2.2 Formas de disposição final dos resíduos.....	25
2.2.1 Aterro sanitário	28
2.2.1.1 Fundamentação legal	30
2.2.1.2 Principais critérios para avaliação das áreas.....	32
2.2.2 Aterro controlado.....	33
2.2.3 Lixões	34
2.3 Geoprocessamento	35
2.3.1 Análises multicritério	38
2.3.2 AHP	38
2.3.3 Álgebra de mapas	40
3 MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1 Classificação da pesquisa	42
3.2 Caracterização da área de estudo	42
3.2.1 Geologia e relevo.....	43
3.2.2 Hidrografia	43
3.2.3 Solos	44
3.2.4 Topografia	44
3.2.5 Vegetação	45
3.2.6 Clima	45
3.3 Métodos para identificação do grau de aptidão das áreas para implantação de aterro sanitário	45
3.3.1 Levantamento de dados	46
3.4 Determinação do tamanho da área necessária para implantação do aterro sanitário	47
3.4.1 Projeção populacional.....	47
3.4.2 Geração <i>per capita</i> , massa dos resíduos sólidos e volume do aterro	50

3.4.3 Área necessária para implantação do aterro sanitário	51
3.5 Estabelecimento dos critérios de avaliação	52
3.6 Elaboração dos mapas temáticos.....	53
3.6.1 Distância de aeródromos	54
3.6.2 Áreas protegidas de populações tradicionais quilombolas	55
3.6.3 Áreas protegidas de populações tradicionais indígenas	56
3.6.4 Áreas de patrimônio arqueológico.....	56
3.6.5 Declividade.....	57
3.6.6 Geologia	58
3.6.7 Hidrografia	60
3.6.8 Distância de Núcleos Populacionais.....	62
3.6.9 Pedologia	63
3.6.10 Distância de Rodovias	64
3.6.11 Uso e cobertura da terra.....	66
3.6.12 Unidades de Conservação (UC's)	68
3.7 Obtenção e atribuição dos pesos das variáveis pelo método AHP	69
3.8 Álgebra de mapas para obtenção do mapa de aptidão	70
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
4.1 Projeção populacional	71
4.2 Massa dos resíduos sólidos e volume do aterro.....	72
4.3 Área necessária para implantação do aterro sanitário	72
4.4 Mapas temáticos	72
4.4.1 Distância de aeródromos	72
4.4.2 Áreas protegidas de populações tradicionais quilombolas	73
4.4.3 Áreas protegidas de populações tradicionais indígenas	75
4.4.4 Áreas de patrimônio arqueológico.....	75
4.4.5 Declividade.....	77
4.4.6 Geologia	78
4.4.7 Distância de recursos hídricos	80
4.4.8 Distância de núcleos populacionais.....	82
4.4.9 Pedologia	83
4.4.10 Distância de Rodovias	84
4.4.11 Uso e cobertura da terra.....	85
4.4.12 Unidades de Conservação (UC's)	86

4.5 Mapa de aptidão final	87
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
REFERÊNCIAS	93

1 INTRODUÇÃO

Os aterros sanitários são meios de disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, que por sua vez, são materiais que já passaram por todas as possibilidades de tratamento e recuperação, e, não têm outra possibilidade de direcionamento a não ser sua disposição em aterro sanitário, conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010.

Essa disposição adequada ainda é um desafio para grande parte dos municípios brasileiros, tendo em vista que a geração de resíduos tem crescido com o passar dos anos, e o percentual de resíduos enviados para locais de disposição inadequada (aterros controlados e lixões) aumentou em cerca de 30% na última década (ABRELPE, 2020). Esse é um dos reflexos das deficiências apresentadas pelo Brasil na gestão dos resíduos sólidos, as quais provêm de causas diversas relacionadas a “questões culturais, barreiras políticas e institucionais e a resistência de segmentos empresariais”, segundo Philippi, Roméro e Bruna (2014, p. 217).

Após a instituição da PNRS, houve um aumento da quantidade de RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) coletados no país, e atualmente, 60% do total são encaminhados para a disposição ambientalmente adequada (BRASIL, 2020). Mesmo assim, ainda se constitui um resultado insipiente, uma vez que isso corresponde a uma média de 0,72% de redução de disposição inadequada de resíduos desde 2010 até 2020, o que significa que nessa velocidade de adequação somente em 55 anos os aterros controlados e lixões poderiam ser encerrados no Brasil como um todo (ABRELPE, 2020).

O que acontece, segundo Philippi, Roméro e Bruna (2014, p. 217), é que além das dificuldades na aplicação das determinações legais que levam a ocorrência de episódios críticos “no Brasil, os diversos órgãos gestores têm se preocupado mais com os problemas de destinação de resíduos, ou seja, limitando-se ao planejamento imediato ou à solução ou à remediação dos problemas já concretizados”.

Logo, conforme a perspectiva do Plano Nacional de resíduos sólidos de 2020:

O processo para avançar com a destinação final ambientalmente adequada de resíduos depende, dentre outros fatores, da implementação efetiva das políticas públicas, com ênfase na gestão integrada e, quando aplicável, no desenvolvimento de arranjos regionais, de forma a conferir ganhos de escala e redução de custos; da cadeia de produção e consumo, iniciando com a concepção de produtos para a não geração, redução, reutilização, reciclagem e recuperação; de ações direcionadas ao consumo e descarte conscientes; de recursos financeiros e incentivos econômicos para conferir atratividade e viabilidade a todas as etapas previstas. (BRASIL, 2020, p. 25 – 26).

Em Prainha, município do interior do estado do Pará, objeto do presente estudo, percebe-se uma alta fragilidade ainda mais preocupante no que se refere à Saneamento Básico, em especial, à gestão de resíduos sólidos, tendo em vista a dificuldade encontrada até mesmo na obtenção de informações de indicadores municipais em plataformas nacionais reconhecidas. O município dispõe de serviço de coleta de resíduos, porém, se utiliza de lixão a céu aberto para o descarte, cenário atual que denota a importância do estudo da área, de maneira que se contribua para a gestão de resíduos sólidos, e com isso, seja possível aquecer os esforços para a melhoria da qualidade sanitária e ambiental.

O presente estudo objetiva a identificação do grau de aptidão das áreas para disposição final de resíduos sólidos no referido município por meio de técnicas e ferramentas de geoprocessamento, ressaltando-se a importância dessa articulação no âmbito de uma política municipal de gestão integrada de resíduos sólidos.

A relevância do presente trabalho chega ainda a outros patamares importantes, contribuindo para o desenvolvimento econômico, ambiental e social do município, sendo possível minimizar os efeitos negativos oriundos do gerenciamento inadequado dos resíduos sólidos, além de possibilitar o atendimento às legislações ambientais vigentes, bem como, evitar custos e movimentação de recursos para estudos de seleção de área para implantação do aterro.

Com base nessas considerações iniciais, a estrutura do estudo foi dividida em cinco tópicos contínuos, o qual está organizado da seguinte maneira:

- Tópico 1: Corresponde a introdução à temática com uma breve descrição do problema de pesquisa, a justificativa do estudo e os objetivos pertinentes à pesquisa.
- Tópico 2: Apresenta o referencial teórico, abordando a respeito dos resíduos sólidos urbanos com seus conceitos e classificações; definições e formas de disposição final dos resíduos; geoprocessamento e análises de multicritério.
- Tópico 3: Destaca a metodologia da pesquisa, o desenvolvimento e todas as suas etapas.
- Tópico 4: Apresentação e Discussão dos resultados obtidos e suas etapas.
- Tópico 5: Aborda as conclusões do estudo, segundo a metodologia aplicada e os resultados alcançados.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar a aptidão das áreas para instalação de um aterro sanitário no município de Prainha-PA através da utilização de geotecnologias.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estabelecer os critérios a serem avaliados;
- Elaborar os mapas temáticos de cada um dos critérios;
- Atribuir pesos aos critérios fatoriais utilizando o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*);
- Realizar a álgebra dos mapas dos critérios;
- Apresentar o mapa geral georreferenciado identificando o grau de viabilidade das áreas para a instalação do aterro sanitário municipal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos sólidos urbanos

No ramo ambiental é usualmente empregado diferentes termos referindo-se à resíduos sólidos, sendo estes “lixos”, “rejeito” e “resíduos sólidos”, no entanto, sabe-se que os conceitos diferem entre si. Neste contexto, na literatura é comum encontrar várias denominações para estes termos.

Conforme Vilhena (2018) a expressão “lixo” refere-se a parcela considerada inútil, indesejável ou descartável pelos usuários dos produtos, ou seja, os restos oriundos das atividades humanas. Geralmente, encontram-se no estado físico sólido, semissólido ou semilíquido. Da mesma maneira que, para Santos (2009) o resíduo sólido é compreendido como o remanescente do processo de produção ou de consumo, sendo aquilo que é considerado como descartável.

No que se refere ao termo resíduos sólidos, este é definido pela Norma Brasileira de Regulamentação (NBR) 10.004 (ABNT, 2004) como sendo:

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, 2004, p. 1).

Tendo em vista a todos os conceitos de resíduos sólidos encontrados na literatura, Almeida (2016) frisa que sob a perspectiva jurídica e profissional, a definição mais ampla é a estabelecida na Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Que define da seguinte forma:

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, capítulo II, Art3º, inciso XVI).

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) podem ser classificados de duas maneiras distintas, sendo estas a classificação quanto a sua origem e segundo a sua periculosidade. No que se refere

à origem dos resíduos sólidos a PNRS (BRASIL, 2010), com a Lei nº 12.305/2010 em seu Art. 13 classifica-os como:

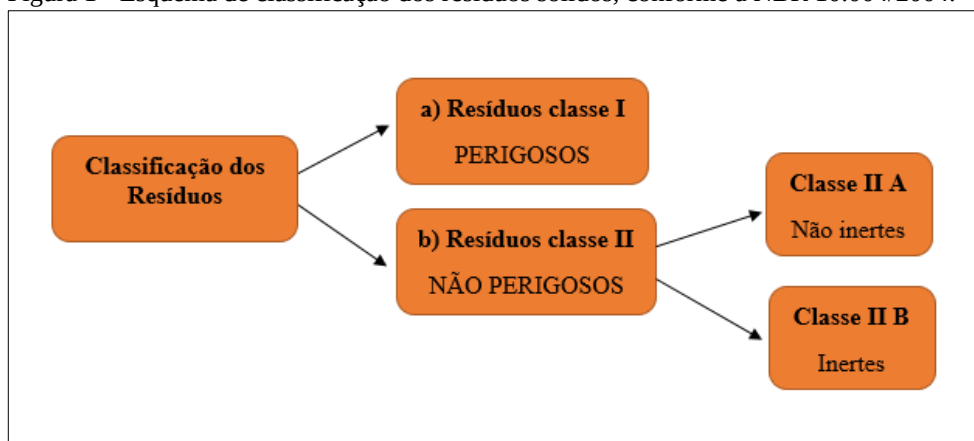
- a) **Resíduos domiciliares:** são os resíduos oriundos de tarefas domésticas nas residências urbanas;
- b) **Resíduos de limpeza urbana:** são os resíduos resultantes da varrição, limpeza dos logradouros, vias públicas e demais serviços realizados de limpeza urbana;
- c) **Resíduos sólidos urbanos:** são os resíduos que abrangem os resíduos domiciliares e de limpeza urbana;
- d) **Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços:** são os resíduos originados nessas atividades, com exceção dos resíduos de limpeza urbana, serviços públicos de saneamento básico, serviços de saúde, construção civil e serviços de transportes;
- e) **Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico:** são os resíduos originados nessas atividades, com exceção dos resíduos sólidos urbanos;
- f) **Resíduos industriais:** são os resíduos derivados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) **Resíduos de serviços de saúde:** são os resíduos provenientes dos serviços de saúde, segundo estabelecido em regulamento ou em normas decretadas pelos órgãos do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e pelo Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS);
- h) **Resíduos da construção civil:** são os resíduos resultantes das construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, juntamente com os oriundos da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) **Resíduos agrossilvopastoris:** são os resíduos oriundos de atividades agropecuárias e silviculturais, como também os resíduos referentes aos insumos empregados nessas atividades;
- j) **Resíduos de serviços de transportes:** são os resíduos provenientes de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) **Resíduos de mineração:** são os resíduos originados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Em relação à periculosidade, a Lei 12.305 de 2010, classifica os resíduos em perigosos e não perigosos tal como:

- a) **Resíduos perigosos:** são os resíduos que apontam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, segundo lei, regulamento ou norma técnica. Em virtude de apresentarem características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade.
- b) **Resíduos não perigosos:** são os resíduos que não correspondem a resíduos sólidos perigosos.

Outra maneira de classificar os resíduos sólidos é a estabelecida pela NBR 10.004 (ABNT, 2004), que os classifica em relação aos riscos potenciais à saúde pública e ao meio ambiente, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema de classificação dos resíduos sólidos, conforme a NBR 10.004/2004.



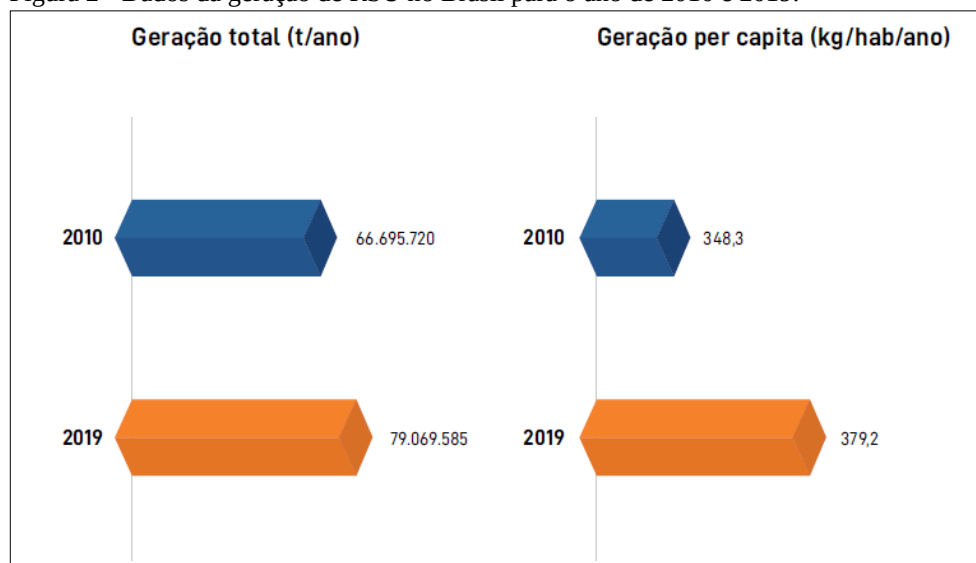
Fonte: Autoras (2021).

Os resíduos classificados como resíduos da classe I – perigosos, são assim definidos por apresentarem risco à saúde pública e ao meio ambiente ou propriedades de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade ou estão presentes nos anexos A ou B da NBR 10.004/2004. No que se refere aos resíduos de classes II – não perigosos, são aqueles que não fazem parte das classificações de resíduos classe I, estes são subdivididos em classe II A não inertes e classe II B inertes (ABNT, 2004, p. 3).

Os resíduos da classe II A também conhecidos como não inertes, consistem nos resíduos que não se enquadram nas demais classificações e podem apresentar características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Já os da classe II B que são os resíduos inertes, corresponde aos resíduos que no momento em que amostrados de uma forma representativa, conforme a NBR 10.007, e expostos um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada à temperatura ambiente, segundo a NBR 10.006, não apresentarem solubilidade a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, com exceção do aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (ABNT, 2004, p. 3).

Segundo dados apresentados pelo Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2020), no ano de 2019, a geração total de RSU chegou a 79,1 milhões de toneladas, expressando um aumento significativo comparado ao ano de 2010, que apontou 66,7 milhões de toneladas. Em relação à geração *per capita* destes resíduos, houve também um incremento considerável, apresentando 348,3 kg/ano em 2010 e 379,2 kg/ano no ano de 2019. Estas informações podem ser melhor observadas na Figura 2.

Figura 2 - Dados da geração de RSU no Brasil para o ano de 2010 e 2019.



Fonte: ABRELPE (2020).

No que se refere à geração de RSU nas regiões brasileiras, de acordo com o mesmo Panorama dos Resíduos Sólidos, a região Norte no ano de 2010 apresentou 4,40 milhões de toneladas, sendo a menor geração total de resíduos em relação as demais regiões. Enquanto que, em 2019 foi possível perceber um crescimento desta geração, apontando 5,87 milhões de toneladas, ficando atrás somente da região Centro-Oeste que expressou a menor geração (Tabela 1).

Tabela 1 - Geração de RSU em cada região do Brasil.

Regiões	Ano de 2010	Ano de 2019
	RSU - Geração Total (t/ano)	RSU - Geração Total (t/ano)
Norte	4.406.280	5.866.645
Nordeste	17.397.725	19.700.875
Centro - Oeste	5.076.055	5.815.180
Sudeste	32.652.900	39.442.995
Sul	7.162.760	8.243.890

Fonte: Adaptado do ABRELPE (2020).

O Pará está entre os estados do território brasileiro que apresenta um dos índices mais baixos de cobertura de coleta de resíduos sólidos, e infelizmente, houve um déficit na comparação entre os anos de 2010 e 2019, saindo de 78,4% para 76,7% respectivamente, conforme dados da ABRELPE (2020).

Vilhena (2018, p. 10) afirma que “a produção de lixo nas cidades brasileiras é um fenômeno inevitável que ocorre diariamente em quantidades e composições que variam com seu nível de desenvolvimento econômico, com sua população e seus diferentes estratos sociais”.

Pereira (2011 apud PHILIPPI; ROMERO; BRUNA, 2014, p. 217) destaca que o crescimento da geração de resíduos no país está ligado ao crescimento econômico e à ausência de políticas públicas direcionadas à redução da geração desses resíduos, fatores esses que colaboram para o aumento da quantidade de resíduos gerados.

Os resíduos gerados refletem os padrões de determinado grupo social, demonstrando as atividades cotidianas que são realizadas pelos indivíduos, e por meio de sua composição é possível aferir o grau de desenvolvimento deste grupo. São diversas as formas de tratamento e de disposição final dos resíduos que podem ser adotados, e irão depender do grau de evolução da sociedade e dos recursos disponíveis para a aplicação (SILVA; ZAIDAN, 2013 p. 261).

2.2 Formas de disposição final dos resíduos

No Brasil, as formas de disposição final dos resíduos são consideradas, em grande parte inadequadas, o que é um fato preocupante, principalmente com a saúde pública das comunidades que residem próximas aos lixões e aterros (SANTOS, 2009, p. 61).

Conforme a ABRELPE (2020), nos últimos dez anos, registrou-se um aumento da disposição dos RSU em aterros sanitários, saindo de 33 milhões de toneladas por ano para 43 milhões de toneladas. Em contrapartida, houve também um crescimento de pouco mais de 4 milhões de toneladas por ano na parcela de resíduos que são direcionados para lixões e aterros controlados, considerados disposições inadequadas.

Para a PNRS (BRASIL, 2010), a disposição final ambientalmente adequada consiste na ordenação de rejeitos em aterros, considerando as normas operacionais específicas de maneira a impossibilitar a ocorrência de danos ou riscos à segurança e saúde pública e visando minimizar os impactos ambientais adversos.

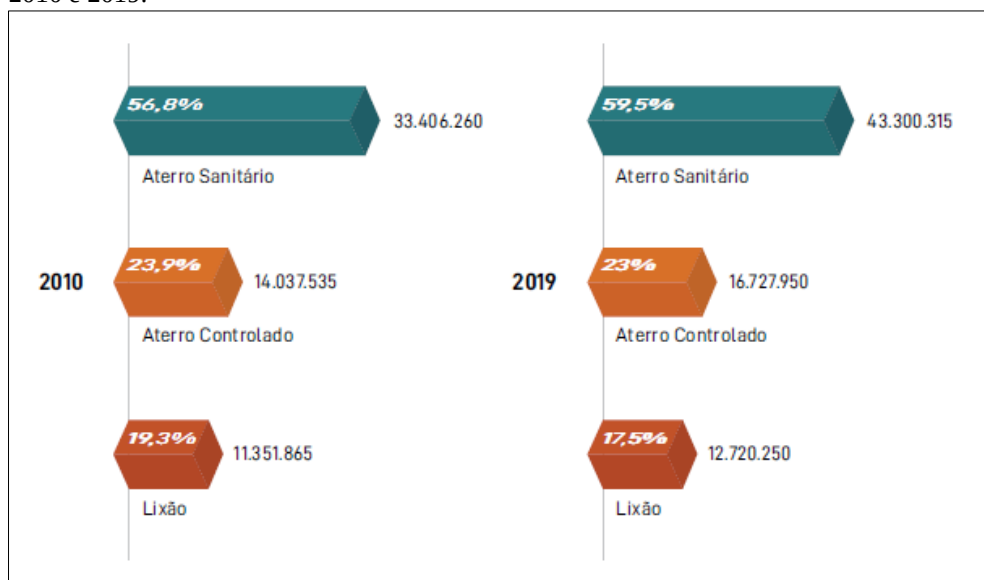
No que concerne à destinação final ambientalmente adequada, a PNRS define como:

Destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Unificado de Atenção à

Sanidade Agropecuária (SUASA), entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. (BRASIL, 2010, capítulo II, Art3º, inciso VII).

Conforme pode ser visualizado na Figura 3, no Brasil, em termos de percentuais, pode-se perceber uma pequena evolução na prática de destinação ambientalmente adequada de RSU, apontando que em 2010 cerca de 57% de todos os resíduos produzidos foram direcionados para aterros sanitários e após nove anos, esse percentual passou para 59,5%. No entanto, verifica-se ainda disposições incorretas em aterros controlados e lixões, correspondendo ao percentual de 43,2% no ano de 2010 e 40,5% em 2019 (ABRELPE, 2020).

Figura 3 - Disposição final de RSU no Brasil, por tipo de destinação (t/ano) para o ano de 2010 e 2019.



Fonte: ABRELPE (2020).

Em relação a disposição final dos RSU pelas regiões brasileiras, a região Norte destina ainda grande parte dos seus resíduos para aterros controlados e lixões, apontando conforme dados da ABRELPE (2020) em 2019 um percentual de apenas 33% destes resíduos sendo encaminhados para aterros sanitários. Já as regiões Sudeste e Sul são as que expressam maiores percentuais de resíduos com destinação em aterros sanitários, tanto para o ano de 2010 quanto para o ano de 2019, como se mostra na Tabela 2.

Tabela 2 - Percentual da disposição final de RSU, por tipo de destinação em cada região do Brasil.

Regiões	Ano de 2010			Ano de 2019		
	Aterro Sanitário	Aterro Controlado	Lixão	Aterro Sanitário	Aterro Controlado	Lixão
Norte	33%	28,8%	38,2%	35,3%	29,8%	34,9%
Nordeste	32,9%	32,9%	34,2%	35,6%	32,9%	31,5%
Centro - Oeste	28,1%	49%	22,9%	41,3%	35,9%	22,8%
Sudeste	71,2%	17,1%	11,7%	72,7%	17,2%	10,1%
Sul	69,1%	18%	12,9%	70,6%	18,3%	11,1%

Fonte: Adaptado do ABRELPE (2020).

Na maioria dos municípios brasileiros, a disposição final dos seus resíduos ainda é em lixões, apesar de nos últimos anos o percentual de municípios que adotam áreas de disposição de forma inadequada tenha reduzido. No ano de 2010, os RSU dos municípios destinados em lixões e aterros controlados expressaram percentual de 70,8%, e em 2018, houve um decréscimo nesse percentual apresentando apenas 40,5%. Quanto aos municípios que realizam a destinação final ambientalmente adequada, estes representaram em 2010 um percentual de apenas 29,2%, enquanto que no ano de 2018 verificou-se um avanço para 59,5% (BRASIL, 2020).

As prefeituras normalmente são as responsáveis pela destinação final dos resíduos gerados pelos municípios, no entanto, infelizmente algumas agem de forma isolada com a intenção de simplesmente destinar os resíduos coletados sem a preocupação de realizar uma destinação ambientalmente adequada, direcionando os resíduos para locais mais longe, geralmente para localidades mais carentes do município sem um prévio tratamento, reciclagem e redução daquilo que de fato resultará em lixo (SANTOS, 2009, p. 227).

No município de Prainha, situado no Estado do Pará, a população conta com o serviço de coleta de resíduos sólidos, porém, de forma precária, além disso, a disposição final é realizada de maneira irregular em um lixão a céu aberto que se localiza próximo de pelo menos um corpo d'água superficial importante para a região. Situação essa que geralmente favorece a ocorrência de graves problemas de saúde pública e degradação ambiental (SILVA; ZAIDAN, 2013).

Verifica-se ainda a dificuldade na obtenção de informações de indicadores municipais para compreensão da realidade local e utilização na pesquisa, sendo notória a falta de dados em plataformas importantes reconhecidas nacionalmente para acesso à informação, como o banco de dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) e IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Com isso, nota-se a alta fragilidade na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos em Prainha.

2.2.1 Aterro sanitário

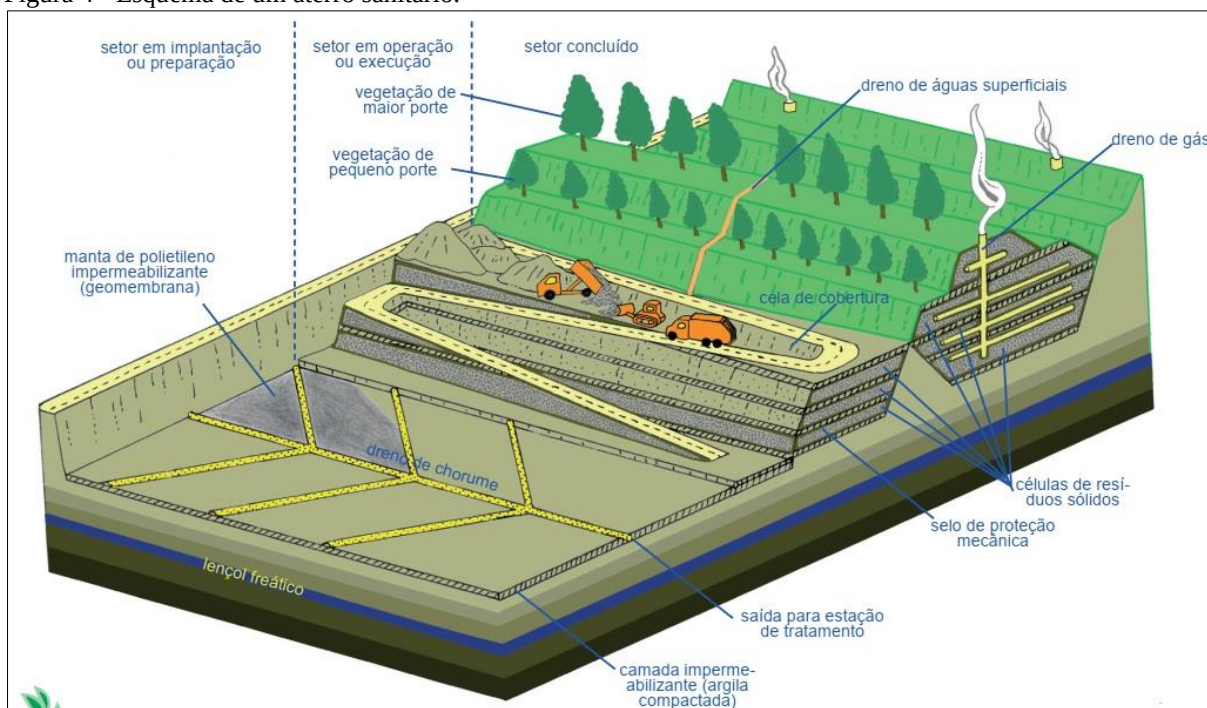
Um aterro sanitário corresponde a uma técnica de engenharia voltada para o confinamento de resíduos sólidos, em área de menor dimensão possível, com dispositivos e instalações que assegurem o controle ambiental de maneira que não haja danos decorrentes da atividade à saúde pública e os impactos ambientais sejam minimizados (ABNT, 2010). No aterro sanitário os resíduos são dispostos no solo, em seguida, compactados e depois cobertos com material inerte (SILVA; ZAIDAN, 2013).

Segundo Monteiro *et al.* (2010) um aterro sanitário conta necessariamente com as seguintes unidades:

- Unidades operacionais: 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 (chorume); sistema de coleta e queima (ou beneficiamento) do biogás; sistema de drenagem e afastamento das águas pluviais; sistemas de monitoramento ambiental, topográfico e geotécnico; pátio de estocagem de materiais.
- Unidades de apoio: 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. (MONTEIRO *et al.*, 2010, p. 151).

Na Figura 4 é possível verificar a representação esquemática de um aterro sanitário, com seus respectivos sistemas de controle de poluições decorrentes da atividade.

Figura 4 - Esquema de um aterro sanitário.



Fonte: SANTAELLA (2014).

“Embora sua construção exija uma extensa área e na maioria dos casos alto custo de implantação e manutenção, com relação a disposição final de resíduos sólidos, essa é a forma mais vantajosa”, afirma Moda (2017). Além disso, diversos autores sustentam ainda que o aterro sanitário é um mecanismo de operação relativamente simples, seguro e devido ao seu baixo custo continua sendo o mais utilizado no mundo (PHILIPPI; ROMÉRO; BRUNA, 2014; QUADROS; AUDIBERT; FERNANDES, 2018).

Entre outras vantagens desse tipo de instalação, pode-se citar que além da segurança sanitária proporcionada, o mesmo pode ser implantado em terrenos de baixo valor, com uso de equipamentos de baixo custo e de fácil operacionalidade (PHILIPPI; ROMÉRO; BRUNA, 2014, p. 225).

Conforme o Manual de Gerenciamento Integrado, elaborado por Vilhena (2018), o aterro sanitário serve para a disposição de todo tipo de resíduo, inclusive, resíduos sólidos provenientes dos serviços de saúde (RSS). A normatização brasileira traz consigo uma série de regulamentações existentes relativas à construção e operação de aterros, de maneira que estes venham a cumprir satisfatoriamente seus objetivos, considerando a distinção entre o resíduo a ser abrigado, como os urbanos ou industriais, conforme comentado por Philippi, Roméro e Bruna (2014, p. 225).

Para o presente trabalho considerou-se a implementação de um aterro sanitário para resíduos domiciliares, considerando a não inclusão de resíduos provenientes dos serviços de saúde, uma vez que os RSS:

“[...] merecem atenção especial em todas as suas fases de manejo (segregação, condicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final) em decorrência dos imediatos e graves riscos que podem oferecer, por apresentarem componentes químicos, biológicos e radioativos” (ANVISA, 2006).

Logo, sugere-se que o manejo de tais resíduos seja realizado de forma independente à operação do aterro proposto e que esteja em conformidade com todas as exigências da RDC nº 222, que regulamenta as boas práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências (ANVISA, 2018).

Diante do exposto e em virtude da quantidade de população contemplada pelos serviços do aterro, considerou-se entre as principais normas aplicáveis:

- NBR 15.849:2010 — Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.
- NBR 13.896:1997 — Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, construção e operação.

2.2.1.1 Fundamentação legal

A discussão sobre a localização de empreendimentos é uma etapa importante para a avaliação da viabilidade ambiental. É possível assumir a combinação de fatores para estabelecer a capacidade (ou aptidão) do meio para comportar determinadas atividades humanas, sendo primordial que os impactos oriundos dessas não excedam os níveis aceitos pela sociedade e/ou impostos pela legislação. Sendo assim, as características dos meios físico, biológico e antrópico conferem, para cada parcela de território, maior ou menor adequabilidade para distintas tipologias de ocupação, contando ainda com elementos que potencializam ou restringem a aptidão das áreas (MONTAÑO *et al.*, 2012).

Dessa forma, a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) permite a conciliação do desenvolvimento econômico e social com a garantia da qualidade ambiental, uma vez que estabelece o prévio licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras, capazes de causar degradação ambiental. Tal procedimento constitui-se em um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, previsto em seu artigo 9º, inciso IV, cujo objetivo principal é agir preventivamente para a proteção do meio ambiente.

Sendo assim, o licenciamento ambiental de disposição final ambientalmente adequada de resíduos sólidos urbanos é preconizado pelas leis, resoluções e normas técnicas específicas, conforme descrito no Quadro 1.

Quadro 1 - Enquadramento legal envolvendo aterro sanitário.

Legislação	Descrição	Pertinência à temática
Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.	Conforme o Art. 3º, inciso VIII, entende-se por disposição final ambientalmente adequada: “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 o Art. 7º, inciso II, entre os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, estão: “não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”. Ressalta-se ainda que segundo essa Lei (Art. 19, inciso II), o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos deve conter em seu conteúdo mínimo a “identificação de áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos”.
Lei nº 5.887, de 9 de maio de 1995	Dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente e dá outras providências.	Art. 13 - O Poder Público manterá, sob sua responsabilidade, áreas especificamente destinadas para disposição final de resíduos de qualquer natureza, cabendo-lhe a elaboração e

		aprovação dos projetos necessários e específicos relativos a essa utilização do solo. § 2º - Quando o destino final do resíduo exigir a execução de aterros, deverão ser asseguradas medidas adequadas para a proteção das águas superficiais e subterrâneas.
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.	Para efeito desta Resolução, no Art. 1º, parágrafo 1º, “são considerados aterros sanitários de pequeno porte aqueles com disposição diária de até 20 t (vinte toneladas) de resíduos sólidos urbanos”. Conforme Art. 2º, em seu parágrafo único, para os aterros tratados nesta resolução será dispensada a apresentação de EIA/RIMA. Ressalta-se que o órgão ambiental competente exigirá o EIA/RIMA quando verificado que o aterro proposto é potencialmente causador de significativa degradação do meio ambiente.
Resolução COEMA nº 162 de 02 de fevereiro de 2021 (em vigor, alterada pelas resoluções COEMA nº 163 de 18/05/2021 e COEMA nº 169 de 27/01/2022)	Estabelece as atividades de impacto ambiental local, para fins de licenciamento ambiental, de competência dos Municípios no âmbito do Estado do Pará, e dá outras providências.	Conforme o Art. 4º, “Estão sujeitas ao licenciamento ambiental municipal as atividades ou empreendimentos relacionados no Anexo I, II e III, partes integrantes desta Resolução, bem como as atividades ou empreendimentos localizados em unidades de conservação instituídas pelo Município”. Os aterros sanitários constam no Anexo I, cuja tipologia foi classificada como de impacto local, logo, passível de licenciamento ambiental municipal até os limites estabelecidos na referida resolução.
NBR 15849:2010	Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.	Esta Norma especifica os requisitos mínimos para localização, projeto, implantação, operação e encerramento de aterros sanitários de pequeno porte, para a disposição final de resíduos sólidos urbanos; estabelece as condições mínimas exigidas para as instalações de pequeno porte para a disposição final de resíduos sólidos urbanos, e; estabelece também as condições para a proteção dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos, bem como a proteção do ar, do solo, da saúde e do bem-estar das populações vizinhas.
NBR 13.896:1997	Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, construção e operação.	Esta Norma fixa as condições mínimas exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos, de forma a proteger adequadamente as coleções hídricas superficiais e subterrâneas próximas, bem como os operadores destas instalações e populações vizinhas.
NBR 8.419:1992	Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.	Esta Norma fixa as condições mínimas exigíveis para a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Conforme essa NBR, na justificativa da escolha do local destinado ao aterro sanitário devem ser considerados critérios básicos para a seleção como os seguintes: a) zoneamento ambiental; b) zoneamento urbano; c) acessos; d) vizinhança; e) economia de transporte; f) titulação da área escolhida; g) economia operacional do aterro sanitário (jazida, etc.); h) infra-estrutura urbana; i) bacia e sub-bacia hidrográfica onde o aterro sanitário se localizará.

Fonte: Autoras (2022).

2.2.1.2 Principais critérios para avaliação das áreas

A busca por áreas aptas à implantação de aterro sanitário requer a compatibilização de diversos fatores, almejando o equilíbrio entre aspectos sociais, alterações no meio ambiente e custos decorrentes da instalação e as inerentes ao empreendimento, de modo que haja segurança sanitária e ambiental (VILHENA, 2018). Logo, deve possuir condições favoráveis em suas “características geotécnicas, topográficas, hidrogeológicas, ambientais, hidrográficas, sociais, econômicas, entre outras limitações e condicionantes” (BARROS, 2012, p. 231).

Além disso, a área para a instalação do aterro deve ser suficiente para atender a demanda de geração de resíduos por um período de tempo que justifique os investimentos (SILVA; ZAIDAN, 2013, p. 268). A ABNT NBR 15849 recomenda a vida útil mínima de 15 (quinze) anos.

Dentre os principais critérios considerados no presente trabalho para a seleção de área apta para implantação de aterro, destacam-se:

O local utilizado para a implantação de aterros sanitários de pequeno porte para resíduos sólidos urbanos deve ser tal que:

- a) minimize o potencial de impacto ambiental e sanitário associado à instalação, operação e encerramento do aterro, em consonância com a legislação ambiental;
- b) minimize os custos envolvidos;
- c) maximize a aceitação da instalação pela população; e
- d) esteja de acordo com a legislação de uso e ocupação do solo, com a legislação ambiental e demais normas pertinentes. (ABNT, 2010, p. 4)

Devem ser observados ainda os seguintes fatores de análise:

- a) para tipo consistência e granulometria das camadas de subsolo na base do aterro; recomenda-se a utilização de solos naturalmente pouco permeáveis (solos argilosos, argilo-arenosos, ou argilosiltosos);
- b) no caso de existência de corpos d'água superficiais na área ou em seu entorno imediato; recomenda-se o respeito a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso d'água;
- c) proximidade do freático em relação à base do aterro ou em seu entorno imediato;
- d) ocorrência de inundações: as áreas com essas características não devem ser utilizadas;
- e) as características topográficas da área devem ser tais que permitam uma das soluções adotáveis para o preenchimento do aterro, recomendando-se locais com declividade superior a 1 % e inferior a 30 %;
- f) recomenda-se distância do limite da área útil do aterro a núcleos populacionais vizinhos mínima de 500 m;
- g) a vida útil previsível do aterro sanitário de pequeno porte passível de ser implantado na área deve ser superior a 15 anos. (ABNT, 2010, p. 5)

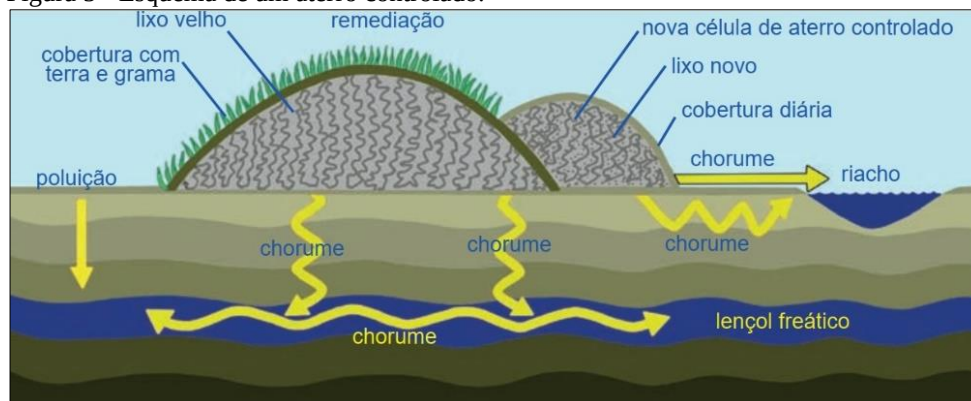
2.2.2 Aterro controlado

O aterro controlado pode ser definido como um local de disposição final de resíduos sólidos urbanos, onde são utilizadas técnicas de confinamento, no menor volume permissível, e cobertura de resíduos com camada inerte (VILHENA, 2018). Esse método é semelhante ao aterro sanitário, uma vez que a área de disposição é minimizada, porém, não dispõe de sistemas de controle de poluições decorrentes da operação, sendo assim, não se enquadra como um mecanismo ambientalmente adequado para essa finalidade, observando as exigências da PNRS (CNM, 2015).

Geralmente, não dispõe de impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas) nem de sistemas de tratamento do percolato (termo empregado para caracterizar a mistura entre o chorume, produzido pela decomposição do lixo, e a água de chuva que percola o aterro) ou do biogás gerado. (VILHENA, 2018, p. 244)

Conforme versam Silva e Zaidan (2013), tal procedimento é ainda preferível ao lixão. Porém, acaba sendo de qualidade bastante inferior ao aterro sanitário, uma vez que gera poluição localizada (por conta dos problemas ambientais gerados) e pelos seus custos de operação. Na Figura 5 ilustra-se um aterro controlado.

Figura 5 - Esquema de um aterro controlado.



Fonte: SANTAELLA (2014).

É possível observar, conforme a Figura 5, que devido serem desprovidos de dispositivos de controle de poluições decorrentes da sua operação, a utilização de aterros controlados “pode gerar impactos ambientais e sociais significativos, principalmente em relação à poluição do solo, do ar e de recursos hídricos, através da migração dos elementos constituintes dos efluentes líquidos e gasosos gerados”, de acordo com Catapreta e Simões (2016).

2.2.3 Lixões

Os lixões, também conhecidos como vazadouros ou descarga de resíduos a céu aberto, são locais onde é feita de forma inadequada a disposição final de resíduos sólidos, caracterizando-se pelo despejo direto sobre o solo, sem quaisquer tipos de sistemas de controle de poluições (PHILIPPI; ROMÉRO; BRUNA, 2014, p. 205). “Acrésceta-se a essa situação o total descontrole quanto aos tipos de resíduos recebidos nesses locais, verificando-se até mesmo a disposição de dejetos originados dos serviços de saúde e das indústrias”. (SILVA; ZAIDAN, 2013, p. 264).

Dessa forma, Silva e Zaidan (2013) afirmam que riscos são conferidos à saúde pública por conta da possibilidade de proliferação de vetores de doenças, da poluição do solo, das águas superficiais e também subterrâneas, além da geração de maus odores, tudo isso, devido, especialmente, pelo elevado potencial poluidor da decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos sólidos.

A Figura 6 mostra o atual lixão do município de Prainha, onde os resíduos sólidos gerados no município são lançados sem qualquer controle, sendo diversos os tipos de resíduos encontrados no local, até mesmo provenientes de serviços de saúde.

Figura 6 - Lixão do município de Prainha-PA.



Fonte: Autoras (2021).

2.3 Geoprocessamento

A expressão geoprocessamento é formada pela união da palavra geo (terra, superfície, espaço) e processamento que se refere à informações e informática. Desse modo, é compreendido como sendo o estudo do processamento de informações georreferenciadas com uso de *softwares*, que comumente são os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), além de utilizar também computadores e periféricos e um conjunto de dados provenientes de várias fontes e de profissionais especializados no assunto (PIROLI, 2010).

Na visão de Rosa (2013), entende-se por geoprocessamento o conjunto de técnicas que visa a coleta e tratamento de informações espaciais, bem como a concepção de novos sistemas e aplicações, expressando distintos graus de sofisticação. O autor afirma também, que o geoprocessamento pode ser utilizado por diferentes profissionais que atuam com cartografia digital, processamento digital de imagens e sistemas de informação geográfica.

Em vista disso, o uso das técnicas de geoprocessamento na organização de dados em estruturas de SIG's, perfaz benefícios incontáveis para a análise e gerenciamento de dados espaciais. Da mesma forma que, é de extrema importância a utilização destas técnicas, tanto na coleta, organização e gerenciamento de dados espaciais quanto na aquisição e disponibilização das informações finais (PRINA, 2015, p. 53).

No que concerne aos SIG's, para Florenzano (2007) este consiste de um sistema operacional que possibilita o armazenamento e a integração de informações geográficas oriundas de distintas fontes e escalas. Piroli (2010) reforça que:

Os SIG's são sistemas de informações destinados a trabalhar com dados referenciados a coordenadas espaciais. São normalmente constituídos por programas e processos de análise, que tem como característica principal relacionar uma informação de interesse com sua localização espacial. Estes aplicativos permitem a manipulação de dados geograficamente referenciados e seus respectivos atributos e a integração desses dados em diversas operações de análise geográfica (PIROLI, 2010, p. 5).

De posse dos conceitos de SIG's, é possível descrever algumas de suas características principais, e Câmara e Queiroz (2001) apontam as seguintes:

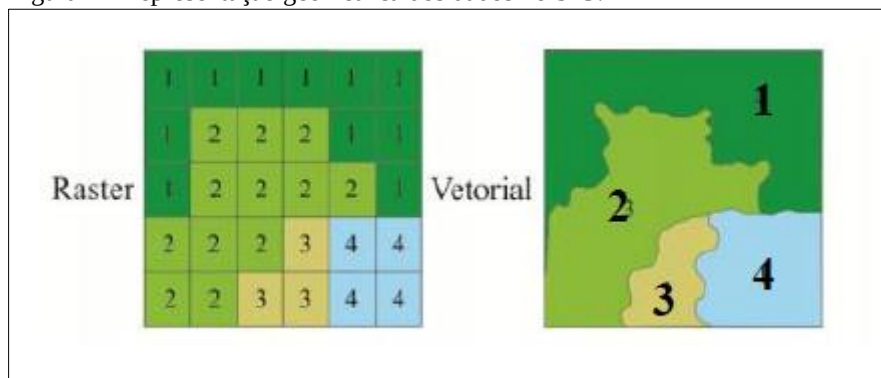
- Capacidade de introduzir e integrar diversas informações espaciais oriundas de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Proporcionar ferramentas para a combinação de várias informações, por meio de algoritmos de manipulação e análise, assim como permite consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

Com relação aos tipos de dados armazenados por um SIG, estes são de dois tipos no qual um se refere as definições geográficas das feições da superfície da terra e o outro aos atributos ou características apresentadas pelas feições. São diversas as lógicas utilizadas pelo sistema para realizar isto, entretanto, comumente emprega-se a combinação de duas técnicas fundamentais de representação de mapas sendo estas conhecidas como vetorial e *raster* (MELO, 2008, p. 26).

De acordo com Silva (2003), o dado vetorial representa o mundo real por meio de sistema de coordenadas, logo esta é uma representação gráfica a qual apresenta como unidade fundamental o par de coordenadas x, y. Já o dado *raster*, também conhecido como matricial, diz respeito à representação gráfica do mundo real por meio de pixels (do inglês *picture element*, ou seja, elemento da imagem) ou células, apresentando formato poligonal regular, em geral quadrada, além disso, são determinadas pelas suas localizações em relação às colunas e linhas de uma malha.

A Figura 7 mostra as duas classes de representação geométrica no SIG, vetorial e *raster*. De forma mais clara, como exemplo de dados matriciais têm-se as imagens de sensoriamento remoto, enquanto que os vetoriais é um elemento representado geometricamente a partir de pontos, linhas e polígonos.

Figura 7 - Representação geométrica dos dados no SIG.



Fonte: MARTINS (2013).

No que diz respeito ao sensoriamento remoto, conforme afirma Novo (2010), trata-se do registro e análise das interações que ocorre entre a radiação eletromagnética e as substâncias que os constitui, através do uso de um conjunto de sensores e equipamentos de transmissão de dados afim de estudar os diferentes acontecimentos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície da terra.

Dessa forma, através da assimilação e do levantamento da energia refletida ou emitida pela superfície com o uso do sensoriamento remoto é possível obter imagens e outras informações da superfície da terra. Uma vez que, essa tecnologia permite que seja realizada a

aquisição de dados sem que haja um contato físico entre o sensor e a superfície terrestre (FLORENZANO, 2007, p. 11).

Cardozo (2018) ressalta que os SIG's são considerados ferramentas fundamentais no auxílio às tomadas de decisão, em virtude da sua capacidade em estruturar, assimilar e integrar os dados geográficos e, principalmente, a vasta habilidade desses sistemas realizar análise espacial e modelagem aliadas às suas ferramentas estatísticas, classificação e de agrupamento.

Corroborando com essa ideia, afirma Domingues e Simões (2007) que os SIG's:

Adquiriram importância como ferramentas e instrumentos capazes de auxiliar as organizações públicas, prefeituras e municípios nos processos de tomada de decisão e enfrentamento de questões essenciais como o direcionamento apropriado dos investimentos públicos, o monitoramento dos impactos das políticas públicas, a disponibilização de informações atualizadas sobre o território para diferentes usuários, entre outras, possibilitando análises estratégicas da cidade e da administração municipal (DOMINGUES; SIMÕES, 2007, p. 353).

Percebe-se que o uso das geotecnologias vem sendo amplamente difundido, uma vez que gera soluções nas mais variadas áreas, mostrando resultados eficazes e eficientes especialmente para o planejamento e gestão do território, destacando-se o estudo de áreas com potencial para implantação de aterros sanitários, de acordo com Schmidt (2016). Diante disso, pode-se destacar alguns trabalhos recentes que almejaram mapear áreas aptas para disposição ambientalmente adequada de resíduos sólidos, pesquisas estas realizadas por diferentes autores em diversos municípios brasileiros.

Perroni (2021), realizou um estudo de caso no município de Vargem Grande do Sul – SP, no qual objetivou propor uma metodologia para auxiliar municípios de pequeno a médio porte e com dificuldades de recursos financeiros a elaborarem estudos similares a baixo custo utilizando-se de geoprocessamento em *software* livre.

Rodrigues (2019) realizou o dimensionamento de um aterro sanitário em consórcio para quatro municípios do estado da Paraíba e utilizou-se de geotecnologias para mostrar as áreas com maior aptidão para implantação do referido aterro.

Outro exemplo, dessa vez realizado no estado do Pará, menciona-se o de Silva (2019). Em tal pesquisa o autor identificou algumas áreas aptas para recebimento de aterro sanitário no município de Castanhal. Segundo o autor: “o estudo elucidou a importância e a eficiência da aplicação de Sistema de Informações Geográficas em projetos socioambientais na Amazônia”.

2.3.1 Análises multicritério

A verificação de áreas aptas para implantação de aterro sanitário requer a observância de um conjunto de fatores técnicos, legais, econômicos e sociais (SNSA, 2008). Dessa forma, torna-se um procedimento complexo devido a necessidade de conciliação entre os diferentes requisitos (BARROS, 2012).

Em virtude dessa multiplicidade de critérios nesses casos, em geral, os pesquisadores optam pelo uso de técnicas multicritérios com a finalidade de tornar o processo decisório mais satisfatório ao realizar comparações entre alternativas a partir de múltiplos aspectos (SILVA; BELDERRAIN, 2005). Muitos dos Métodos de Análise Multicritério (MAM) consistem em modelagem matemática para atribuir significância aos critérios, sendo eles categorizados e hierarquizados, harmonizando o processo para apontar as soluções mais adequadas. Dessa forma, é possível englobar os critérios relevantes, priorizando os principais, sem negligenciar os demais (PIMENTA; BELTRÃO; GEMAQUE; TAVARES, 2019).

De acordo com a revisão de Pimenta *et al.* (2019), entre os métodos existentes, destacam-se: *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)*; Método Combinação Linear Ponderada (CLP) (*Weighted Linear Combination - WLC*); o Média Ponderada Ordenada (MPO); a Agregação pelo Operador (*Ordered Weighted Averaging - OWA*); o *Elimination and Choice Translating Algorithm (ELECTRE)*, e o mais conhecido; o método Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process - AHP*).

2.3.2 AHP

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) consiste em uma das metodologias matemáticas mais difundidas no campo das decisões multicritério, tendo em vista que oferece uma forma simplificada e eficiente de análise em meio a cenários complexos de seleção de alternativas (PIMENTA *et al.*, 2019), como é o caso da presente pesquisa.

Esse método foi desenvolvido com base na ideia central da teoria da análise hierárquica proposta pelo matemático Thomas L. Saaty no início da década de 70. O próprio Saaty (2008) explicou que o AHP “é uma teoria de medição por meio de comparações de pares e se baseia nos julgamentos de especialistas para derivar escalas de prioridade”.

O AHP pode ser utilizado na tomada de decisões frente tanto a aspectos de caráter qualitativos quanto a aspectos quantitativos, pois, os julgamentos das comparações paritárias são embasados em experiência, intuição e também em dados físicos (SAATY, 1990).

De acordo com Costa (2002), o método AHP se apoia nos seguintes princípios do processo analítico:

- (i) Construção de hierarquias: No AHP o problema é estruturado em níveis hierárquicos, como forma de buscar uma melhor compreensão e avaliação do mesmo. A construção de hierarquias é uma etapa fundamental do processo de raciocínio humano;
- (ii) Definição de prioridades: O ajuste das prioridades no AHP fundamenta-se na habilidade do ser humano de perceber o relacionamento entre objetos e situações observadas, comparando pares à luz de um determinado foco ou critério (julgamentos paritários);
- (iii) Consistência lógica: No AHP, é possível avaliar o modelo de priorização construído quanto a sua consistência. (COSTA, 2002).

Em ambiente SIG, onde é possível sobrepor diferentes mapas de critérios, o AHP permite a realização de ponderação com a atribuição de pesos conforme o nível de importância (SANTOS; MATSUOKA, 2021).

Conforme Saaty (2008), no referido modelo matemático para fazer as comparações faz-se necessária a utilização de uma escala de valores numéricos, de maneira que esses representem quantas vezes mais importante ou dominante um elemento é em relação ao outro elemento no âmbito da discussão entre as prioridades comparadas.

A escala de ponderação, definida por Saaty (1990), varia de 1 a 9 fornecendo para cada valor absoluto classificações utilizadas para a ponderação. O valor 1 corresponde a uma importância idêntica entre os fatores e, o valor 9 representa uma importância infinitamente maior do que a outra. Na Tabela 3 é possível conferir a escala de importância proposta por Saaty.

Tabela 3 - Escala fundamental de Saaty para julgamentos comparativos.

Intensidade da importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente ao objetivo final.
3	Menor importância de um sobre o outro	Experiência e julgamento favorecem levemente uma alternativa em relação à outra.
5	Essencial ou forte importância de um sobre o outro	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma alternativa em relação à outra.
7	Importância significativa	Uma atividade é fortemente favorecida e esta dominância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorecendo uma atividade em relação a outra é da mais alta ordem possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os dois julgamentos adjacentes.	Quando há a necessidade de compromisso recíproco (diferentes de zero) se a atividade <i>i</i> tem os números acima atribuídos a ela quando comparada com a atividade <i>j</i> , então <i>j</i> tem o valor recíproco quando comparado com <i>i</i> .

Fonte: Saaty (1990).

Samizava *et al.* (2008) afirmam que “o grau de inconsistência calculado indica a consistência da matriz, não necessariamente a aderência à realidade”. Por isso, a aderência do modelo à realidade está sustentada no conhecimento empírico do usuário, dessa forma, deve ser realizado de maneira cautelosa, pois, há a possibilidade de que a subjetividade inerente ao

método torne as interpretações distantes da realidade. Sendo assim, é possível encontrar diferentes cenários para um mesmo objetivo com a revisão e alteração da matriz de comparação pareada. Os autores concluem que “se esses valores forem coerentes com a realidade e a matriz for consistente, os cenários produzidos pelo processo de análise hierárquica têm grande representatividade”.

Lopes e Souza (2011) utilizaram a escala de Saaty (1990) para a ponderação dos níveis de importância entre os fatores avaliados em seu estudo que objetivou estimar os níveis de aptidão de áreas para instalação de aterro sanitário no entorno do Distrito Urbano de Floresta do Sul do município de Presidente Prudente – SP. Os autores concluíram que a produção de cenários utilizando o método foi satisfatória, uma vez que as áreas aptas e inaptas apresentadas no mapa acabaram condizendo com a realidade encontrada em campo.

Schmidt (2016), fez a seleção de áreas aptas e o dimensionamento de aterro sanitário consorciado para a área territorial do grupo de municípios CIPAE G8, localizados no Rio Grande do Sul, em seu estudo realizou o julgamento dos critérios por meio da escala fundamental de Saaty para aplicação no método multicritério. Na referida pesquisa, foram apontadas 68 áreas como aptas, sendo que duas delas foram visitadas com o intuito de validar o resultado, a avaliação dos critérios apresentou conformidade em comparação ao observado *in loco*, logo, os resultados apontaram que a metodologia proposta permitiu o alcance dos objetivos e se mostrou eficaz, podendo ser usada como uma poderosa ferramenta na tomada de decisões.

Atribuídas essas escalas a cada critério, é dada continuidade ao procedimento matemático formando-se matrizes quadradas de comparação, em seguida, é realizada a associação de prioridades (matriz normalizada), para que se chegue aos pesos de cada critério, e por fim, é realizado o cálculo de verificação da consistência para validação, conforme a metodologia de Saaty (1990).

Atualmente existem *softwares* construídos com embasamento na metodologia AHP que geram os resultados de forma automatizada ao pesquisador, como a “Calculadora Prioritária AHP”, que conforme Santos (2020), gera dados confiáveis e concisos comparados com o método tradicional de cálculo.

2.3.3 Álgebra de mapas

Álgebra de mapas é baseada em operações matemáticas aplicadas a um ou mais conjuntos de dados, podendo ser realizada no domínio vetorial ou no domínio matricial (“*raster*”), ela permite a combinação de informações temáticas para análise geográfica.

A álgebra de mapas se constitui basicamente de operações locais, de vizinhança e regionais, aplicando-se diferentes técnicas para cada tipo de problema. Na álgebra de mapas, as localizações espaciais são definidas por uma matriz composta por linhas e colunas, onde cada célula é uma unidade territorial, sendo a unidade básica de processamento, o pixel, o qual pode ser processado independentemente, integrado numa vizinhança ou numa região de elementos com o mesmo atributo. (OLIVEIRA NETO, 2011, p. 8).

Entre as funções da álgebra de mapas, destacam-se: reclassificação; intersecção (“overlay”); operações, booleanas e matemáticas entre mapas; e, consulta ao banco de dados (CÂMARA, 1998).

A utilização desse recurso facilita o trabalho de representação gráfica das classes e de atualização de informações, uma vez que diminui a complexidade e subjetividade de estimativas realizadas a partir de cruzamentos manuais. Dessa forma, o cruzamento simultâneo de diversas informações permite o zoneamento das áreas de maneira mais adequada e eficiente (PADILHA, GOBATTO e BATISTELLA, 2017).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Classificação da pesquisa

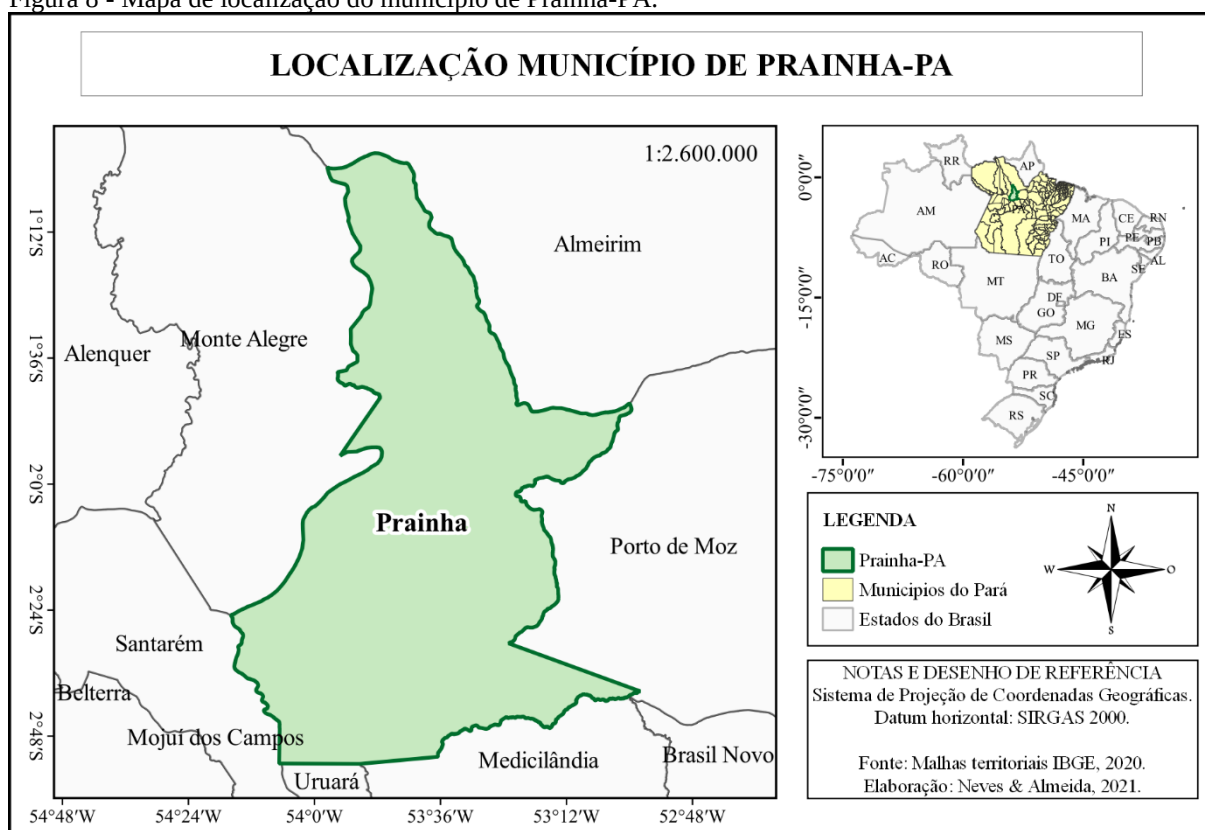
O presente estudo é de caráter descritivo e exploratório, uma vez que tem o intuito de tornar claro e compreensível o problema, gerando hipóteses (PRODANOV; FREITAS, 2013). O procedimento técnico utilizado é do tipo estudo de caso.

No que se refere ao tipo de abordagem da pesquisa, esta é de caráter quali-quantitativa, uma vez que assimila os dados quantitativos por meio de variáveis numéricas e relaciona com informações qualitativas que levam em consideração um processo complexo das ciências sociais, o qual está em constante transformação (KNECHTEL, 2014, p. 106).

3.2 Caracterização da área de estudo

Prainha é um município brasileiro localizado no oeste do Estado do Pará, na Mesorregião do Baixo Amazonas. Possui área territorial de 14.786,95 km² com 29.827 habitantes e densidade populacional de aproximadamente dois habitantes por km² (IBGE, 2021). Seus limites territoriais ao sul são com os municípios de Almeirim e Monte Alegre, este último, a maior cidade nas proximidades conforme destaca a Figura 8.

Figura 8 - Mapa de localização do município de Prainha-PA.



Fonte: Autoras (2021).

3.2.1 Geologia e relevo

O território do município de Prainha apresenta ao norte rochas sedimentares de idade paleozóica constituindo as Formações Trombetas (Siluriano), bem como regiões onde há predominância de zonas arenosas, sendo estas: Curuá, Devoniano Superior, predominando folhelhos escuros e siltitos, e; Monte Alegre, arenitos finos e médios (FAPESPA, 2016). Já na região ao sul têm-se a sedimentação cenozóica, formada pelos litotipos de formação barreiras, de idade terciária e na parte central, encontra-se planície aluvionar recente (CPRM, 2010; FAPESPA, 2016). É possível observar no Quadro 2 essa geodiversidade do município de Prainha, bem como, as potencialidades características de cada domínio geológico.

Quadro 2 - Geodiversidade do município de Prainha.

Domínio geológico ambiental	Unidade geológica ambiental	Adequabilidades / potencialidades
Sedimentos cenozoicos inconsolidados, ou pouco consolidados, depositados em meio aquoso.	Planície aluvionar recente.	- Baixa resistência ao corte e à penetração. - Camadas argilosas funcionando como barreira à propagação e disseminação de eventuais contaminantes. - Potencial mineral para areia, argila e cascalho. - Presença de lagos, paranás e igarapés e inúmeros ambientes praianos, fluviais e marinhos.
Coberturas cenozóicas detrítico-lateríticas	Horizonte laterítico <i>in situ</i>	- Alta capacidade de suporte e alta resistência ao corte e à penetração. Presença de crostas lateríticas são fatores de resistência aos diferentes processos e erosivos. - Moderada a baixa vulnerabilidade à contaminação em que as coberturas mais litificadas, dificultam a dispersão dos poluentes. - Potencial para existência de mineralizações de ouro, alumínio, manganês e nióbio.
Coberturas Sedimentares e Vulcanossedimentares Mesozóicas e Paleozóicas pouco a moderadamente consolidadas, associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise (ambientes deposicionais: continental, marinho, desértico, glacial e vulcânico).	Intercalações de Sedimentos siltico-argilosos e quartzo-arenosos.	- Alta capacidade de suporte e baixa a moderada resistência ao corte e à penetração (solo e manto de alteração espessos). - Crostas lateríticas dificultam a instalação de processos erosivos. - Terras mecanizáveis nas áreas mais planas e com solos mais profundos, com exceção das áreas arenosas. - Aquíferos profundos e extensivos. As águas apresentam boa qualidade. - Baixa a moderada vulnerabilidade à contaminação. A espessa cobertura de solo funciona como excelente manto depurador. - Depósitos de areia e argila.

Fonte: Adaptado da CPRM (2010).

3.2.2 Hidrografia

O município de Prainha pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas, com vários afluentes e subafluentes que perpassam o território, sendo um dos principais o rio Curuá do Sul,

que deságua no Curuá-Una. Existem ainda rios menores como o Cucari e o Pará do Uruará que, também, desembocam no Amazonas (FAPESPA, 2016).

O território de Prainha é limitado ao sudoeste pelo rio Jarupari, que separa Prainha de Medicilândia; enquanto que o rio Guajará, em quase todo o seu curso, serve de limite natural entre Prainha e Porto de Moz; já na região norte, tem-se o rio Paranaguara que separa Prainha de Almeirim, onde também há a presença do afluente Jaravaru, do rio Mulata e do Furo do Outeiro, este último, tem o seu percurso situado próximo à sede do município (FAPESPA, 2016).

3.2.3 Solos

Conforme informações de classificação de solos da EMBRAPA (2010), as classes de solo que predominam nesta região são os Latossolos e Argissolos, os quais são compostos por material mineral que apresentam baixa fertilidade natural (distróficos) e em parte boas características físicas. No que se refere aos Argissolos são definidos por destacarem um alto teor de argila na perspectiva superficial para o horizonte subsuperficial, em contrapartida, os Latossolos apresentam argila de forma pouco expressiva.

Os Latossolos são caracterizados como solos minerais de profundidade expressiva, superiores a dois metros, classificando-se na escala de bem a excessivamente drenados, sendo muito porosos e permeáveis. Estes solos dispõem de acidez elevada (com baixos níveis de pH), teores de alumínio trocável elevados, saturação por alumínio elevada, bem como, saturação por bases trocáveis baixa e capacidade de troca de cátions baixa, além disso, baixíssimos teores de fósforo assimilável (GAMA *et al.*, 2020).

Quanto aos Argissolos, eles também são distróficos de elevada acidez, com elevados teores de alumínio trocável, elevada saturação por alumínio, baixa saturação por bases trocáveis, baixa capacidade de troca de cátions e baixíssimos teores de fósforo assimiláveis. Entretanto, os argissolos apresentam uma maior susceptibilidade à erosão, tendo em vista que o relevo é mais acentuado e possui uma diferença textural em profundidade quando comparados aos Latossolos (GAMA *et al.*, 2020).

3.2.4 Topografia

A topografia do município destaca-se por apresentar nas redondezas do rio Amazonas níveis altimétricos consideravelmente baixos, em que em algumas situações pode atingir cerca de três metros de altitude. No entanto, na região sul de Prainha encontram-se maiores altitudes com dezenas de metros, sendo as áreas de tabuleiros e colinas (FAPESPA, 2016).

3.2.5 Vegetação

A vegetação do município de Prainha é constituída por um conjunto de tipologias florestais que compreende o Campo Cerrado, a Várzea e a Floresta Densa, destacam-se ainda as seguintes variações: Floresta Aberta Mista, Floresta Aluvial Arbustiva, Floresta Densa dos Terraços (ciliar), Floresta Densa dos Baixos Platôs, entre outras. Vale ressaltar, que uma porção desta grande variação de cobertura vegetal está submetida ao regime de inundações do rio Amazonas, enquanto que parte foi acometida pelo desmatamento contribuindo no surgimento da Floresta Secundária (FAPESPA, 2016).

3.2.6 Clima

De acordo com dados da Fapespa (2016), Prainha possui clima do tipo Ami, da classificação de Köppen, com temperaturas superiores a 18 °C, sendo a temperatura do ar elevada, com média térmica anual de 25,5 °C, e, notadamente, pelos valores médios de 31° C para as máximas e de 22,5 °C para as mínimas.

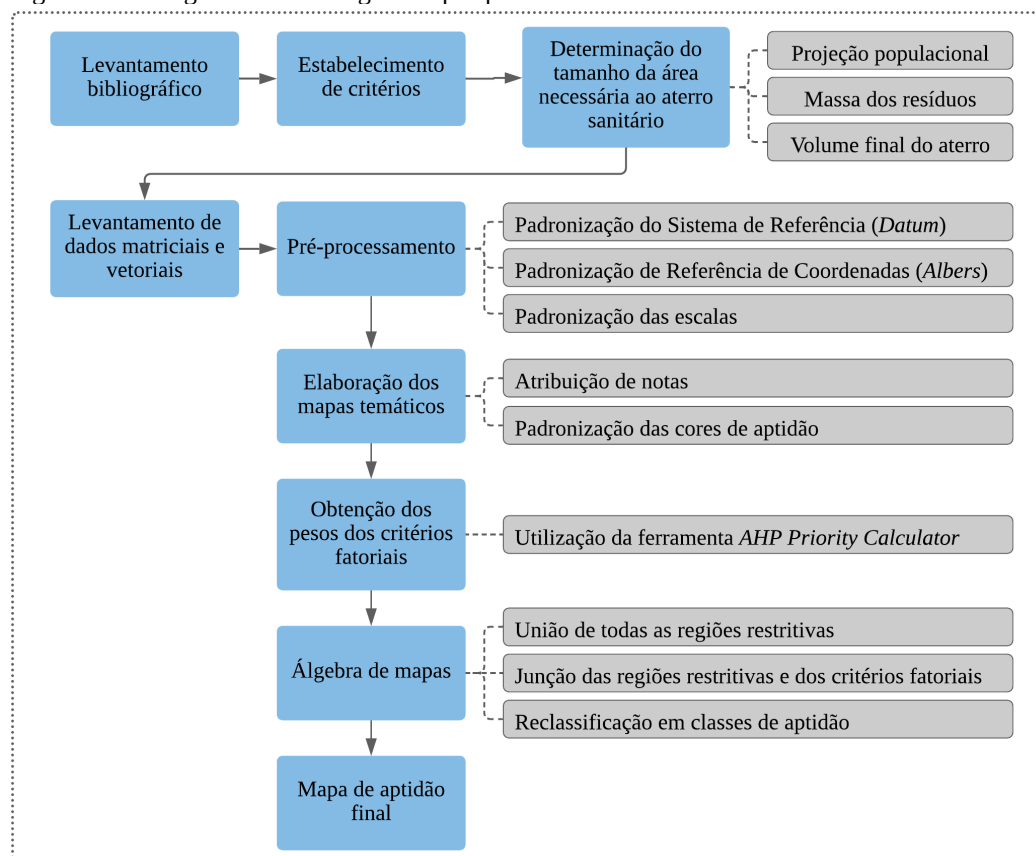
O referido município apresenta um alto índice pluviométrico característico dos municípios do estado do Pará, com média de 2.000 mm por ano. O período de maior precipitação pluvial concentra-se entre os meses de dezembro a junho, enquanto o período de estiagem estende-se de julho a novembro (BASTOS; PACHÊCO, 2005; FAPESPA, 2016).

O balanço de água no solo apresenta excedente hídrico nos meses de fevereiro a julho, com valores acima de 750 mm, o maior índice sendo percebido comumente em março de cada ano. Já a deficiência hídrica ocorre geralmente entre agosto e dezembro, em que se verifica menos de 90 mm, em setembro há a ocorrência de maior carência de água no solo (FAPESPA, 2016).

3.3 Métodos para identificação do grau de aptidão das áreas para implantação de aterro sanitário

Entre as mais variadas ferramentas que podem auxiliar na identificação do grau de aptidão de áreas para implantação de aterros sanitários, nesta pesquisa fez-se o uso da análise multicritério com a aplicação da matriz de comparação pareada em ambiente SIG, através da utilização do *software QGIS 3.16.6*. A Figura 9 apresenta as etapas desenvolvidas para alcançar os objetivos propostos neste trabalho.

Figura 9 - Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: Autoras (2022).

3.3.1 Levantamento de dados

Inicialmente foi realizado um levantamento de informações e recomendações abordadas pelas normas e legislações a respeito da temática, como também foram realizadas pesquisas e leituras de diferentes referências bibliográficas como trabalhos acadêmicos, dissertações, teses, artigos, entre outras obras relevantes, com o intuito embasar a metodologia aplicada no estudo.

Posteriormente, foram levantados dados vetoriais (*shapefiles*), matriciais (*raster*) e quantitativos, referentes às informações de interesse, adquiridos por meio de buscas nos bancos de dados dos órgãos competentes, como a Prefeitura Municipal de Prainha-PA, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), a Fundação Nacional do Índio (FUNAI), o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), entre outros, conforme pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 - Descrição dos dados vetoriais e matriciais utilizados para elaboração do estudo.

Dados	Descrição	Escala	Formato	Fonte
Aeródromos	Sistema de Transporte	1:1.000.000	Vetor (shp)	CPRM, 2010
Áreas protegidas de populações tradicionais Quilombolas	Base de Informações sobre os Povos Indígenas e Quilombolas; Acervo Fundiário - Áreas de Quilombolas	1:250.000; não informada	Vetor (shp)	IBGE, 2019; INCRA, 2015
Áreas de populações tradicionais Indígenas	Terras Indígenas	não informada	Vetor (shp)	FUNAI, 2021
Áreas de patrimônio arqueológico	Sítios Arqueológicos	não informada	Vetor (shp)	IPHAN, 2021
Declividade	Altitude e Declividade do terreno a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE)	1:250.000	Raster (GeoTiff)	INPE, 2011
Geologia	Mapa de geodiversidade do Estado do Pará	1:1.000.000	Vetor (shp)	CPRM, 2010
Hidrografia	Base Hidrográfica Ottocodificada	1:1.000.000	Vetor (shp)	ANA, 2017
Limite do município	Malha municipal	1:250.000	Vetor (shp)	IBGE, 2020
Núcleos populacionais	Malha de setores censitários	1:5.000 a 1:250.000	Vetor (shp)	IBGE, 2021
Pedologia	Mapa de solos do Brasil	1:5.000.000	Vetor (shp)	EMBRAPA, 2020
Rodovias	Bases Cartográficas Contínuas - Transporte	1:250.000	Vetor (shp)	IBGE, 2021
Uso e cobertura da Terra	Coleção 6 do MapBiomas	1:100.000	Raster (Tiff)	MAPBIOMAS, 2021
Unidades de Conservação	Limites das Unidades de Conservação Federais; Unidades de Conservação do Brasil - Estaduais	1:10.000 a 1:250.000; 1:1.000.000	Vetor (shp)	ICMBio, 2021; CPRM, 2010

Fonte: Autoras (2021).

3.4 Determinação do tamanho da área necessária para implantação do aterro sanitário

Para a determinação do tamanho da área necessária à implantação do aterro sanitário no município de Prainha, alguns fatores foram estimados, tais como a projeção populacional levando em consideração a vida útil do aterro, a geração *per capita*, a massa dos resíduos sólidos e o volume do aterro.

3.4.1 Projeção populacional

A projeção populacional foi um dado de extrema importância para o presente trabalho, tendo em vista que mediante a essa determinação foi conhecida a dimensão de área útil em que seria possível a implantação de um aterro sanitário para atender à demanda, ponto inicial para a investigação almejada.

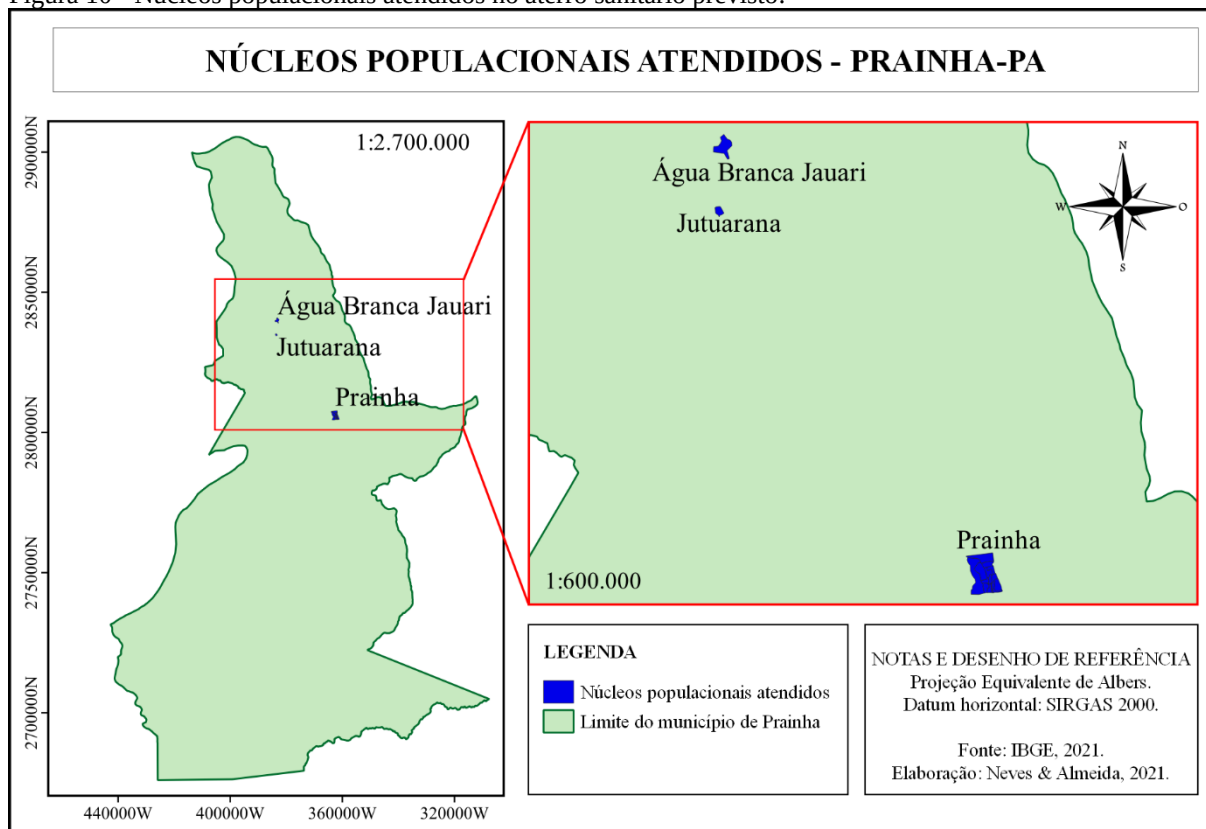
Esses cálculos fazem parte do procedimento técnico convencional para dimensionamento de aterros sanitários, conforme é requerido na Resolução CONAMA nº 404 de 2008, que estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.

De acordo com Tinoco e Cotta (1990), existem vários métodos para contabilizar populações futuras, e faz-se necessário que sejam levadas em consideração as peculiaridades locais para a escolha do método de projeção mais adequado, de maneira que se ofereça valores próximos da realidade.

O método matemático escolhido foi o Geométrico, caracterizado por admitir para iguais períodos de tempo a mesma porcentagem de crescimento da população (TSUTIYA, 2006). Conforme também utilizado por Almeida (2016), que fez uma abordagem similar voltada para o município de Pombal/PB.

Por questões de viabilidade logística, sugeriu-se na presente pesquisa a implantação de um aterro para atender o centro urbano de Prainha e mais dois distritos, sendo estes Jutuarana e Água Branca Jauari, por conta da distância e dificuldade de acesso entre os demais núcleos populacionais, conforme a Figura 10.

Figura 10 - Núcleos populacionais atendidos no aterro sanitário previsto.



Fonte: Autoras (2021).

Ressalta-se que para a realização do cálculo de projeção populacional fez-se necessária a quantidade de habitantes nos dois últimos censos do IBGE. No entanto, houve dificuldade na obtenção de dados referentes à quantidade de população para cada distrito, uma vez que foram adquiridas apenas informações aproximadas para o ano de 2021, as quais foram fornecidas pela própria Prefeitura Municipal de Prainha.

Sendo assim, para viabilizar o prosseguimento do cálculo foi necessário supor as populações para os anos de 2000 e 2010 para cada um dos três núcleos populacionais atendidos. Isso foi feito calculando-se a representatividade em porcentagem desses núcleos em relação a população total em 2021. A mesma representatividade encontrada em 2021 foi considerada para os anos de 2000 e 2010, as populações podem ser conferidas conforme as Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - População dos núcleos contemplados e o percentual correspondente à população total de Prainha em 2021.

Núcleos populacionais	População no ano de 2021 [hab]	Percentual em relação a população total do ano de 2021 [%]
Centro Urbano de Prainha	12.000	40,23
Jutuarana	1.000	3,35
Água Branca Jauari	650	2,18
Total	13.650	45,76

Fonte: Prefeitura Municipal de Prainha-PA (2021); IBGE (2021).

Tabela 6 - Quantidade estimada de habitantes nos núcleos considerados, para os anos de 2000 e 2010.

Ano do Censo	População Total de Prainha [hab]	População dos núcleos considerados no aterro sanitário (45,76% de Prainha) [hab]
2000	27301	12493
2010	29265	13392

Fonte: IBGE (2021); Prefeitura Municipal de Prainha-PA (2021).

De posse dessas informações, foi possível determinar a taxa de crescimento geométrico (k_g) de acordo com a equação (1) expressa por Tsutiya (2006).

$$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

Onde:

P_1 = população do penúltimo Censo;

P_2 = população do último Censo;

t_1 = ano do penúltimo Censo;

t_2 = ano do último Censo;

Posteriormente, aplicou-se na equação (2) o valor da taxa de crescimento geométrico obtido, para então estimar a população futura. Cabe ressaltar, que o mesmo procedimento foi

realizado para os próximos 20 anos, com o intuito de determinar a população do município nos anos de 2021 a 2040, considerando que o aterro a ser instalado terá a vida útil de 20 anos. Todos os cálculos foram realizados com auxílio das ferramentas do Microsoft Excel.

$$P = P_2 e^{K_g(t-t_2)} \quad (2)$$

Onde:

P_2 = população do último Censo;

K_g = taxa de crescimento geométrico;

t = ano de previsão;

t_2 = ano do último Censo;

3.4.2 Geração *per capita*, massa dos resíduos sólidos e volume do aterro

De acordo com Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Pará – PEGIRS (PARÁ, 2014), a geração *per capita* de resíduos sólidos no município de Prainha corresponde a 0,65 kg/hab.dia. Tal dado foi adotado para o cálculo da massa de resíduos sólidos gerados e do volume final previsto para o aterro.

Para calcular a massa de RSU gerados diariamente, multiplicou-se a quantidade de população pela geração *per capita* pela porcentagem de cobertura de coleta de resíduos no município, conforme a equação (3) sugerida por Vilhena (2018). É importante mencionar que se considerou o percentual de 100% na cobertura de coleta de resíduos, tendo em vista que a quantidade de população inserida no cálculo já está prevendo somente os três núcleos populacionais considerados contemplados pelo aterro sanitário.

$$M_{diária} = P \times g \times c \quad (3)$$

Onde:

$M_{diária}$: massa diária de resíduos sólidos gerados (kg/dia);

P : população do município (hab);

g : geração *per capita* (kg/hab.dia);

c : cobertura de coleta (%).

Para calcular a massa de RSU gerados ao longo do horizonte de projeto (20 anos), utilizou-se a fórmula (4) demonstrada a seguir:

$$M_{total \text{ de projeto}} = \sum_{2021}^{2040} (M_{diária} \times 365) \times t \quad (4)$$

Onde:

$M_{\text{total de projeto}}$: massa total de resíduos a serem dispostos no aterro (toneladas);

$M_{\text{diário}}$: massa diária de resíduos sólidos gerados (kg/dia);

t : vida útil (anos).

A estimativa do volume final aproximado do aterro sanitário pôde ser prevista dividindo-se a massa de resíduos sólidos a serem confinados em toda a vida útil do empreendimento, pelo peso específico do resíduo sólido compactado, acrescido a este cálculo o volume de material necessário para o recobrimento das camadas, conforme a equação (5), em conformidade com o procedimento de cálculo realizado por Melo (2008). O peso específico do resíduo compactado foi considerado como sendo de $0,7 \text{ ton/m}^3$ (SNSA, 2011). E, a quantidade de solo estipulada necessária ao recobrimento foi de 30% em relação a massa total de resíduos a serem confinados no horizonte de projeto (MELO, 2008).

$$V_{\text{aterro}} = \frac{M_{\text{total de projeto}}}{\rho} + V_r \quad (5)$$

Onde:

V_{aterro} : volume final aproximado do aterro (m^3);

$M_{\text{total de projeto}}$: massa total de resíduos a serem dispostos no aterro (toneladas);

ρ : peso específico do resíduo sólido compactado (ton/m^3);

V_r : volume de material de recobrimento da célula (m^3).

3.4.3 Área necessária para implantação do aterro sanitário

A área mínima necessária à implantação de aterro sanitário geralmente é estimada levando em conta a soma da área necessária a comportar o volume final do aterro sanitário juntamente com a área dedicada à implantação de infraestrutura para operação (GOEZ, 2015). No presente estudo, a área necessária para a instalação do aterro sanitário previsto para o município de Prainha foi determinada considerando a recomendação do Termo de Referência Técnico (SNSA, 2011, p. 15), que sugere uma área mínima para implantação do referido empreendimento de acordo com a quantidade de habitantes atendidos, como pode ser conferido na Tabela 7.

Tabela 7 - Referência de área mínima recomendável da gleba para implantação de ASPP (Aterro Sanitário de Pequeno Porte).

População Urbana (habitantes)	Área mínima recomendável para vida útil de 20 anos
Até 2.000 habitantes	0,9 hectares
Entre 2.001 e 5.000 habitantes	1,8 hectares
Entre 5.001 e 10.000 habitantes	3,3 hectares
Entre 10.001 e 20.000 habitantes	5,6 hectares
Entre 20.001 e 50.000 habitantes	10,0 hectares
Entre 50.001 e 100.000 habitantes	18,0 hectares
Entre 100.001 e 150.000 habitantes	23,5 hectares
Entre 150.001 e 250.000 habitantes	36,5 hectares
Entre 250.001 e 500.000 habitantes	54,3 hectares
Entre 500.001 e 750.000 habitantes	94,7 hectares
Entre 750.001 e 1.000.000 habitantes	114,4 hectares
Entre 1.000.001 e 1.500.000 habitantes	191,1 hectares

Fonte: SNSA (2011).

3.5 Estabelecimento dos critérios de avaliação

No presente estudo foram pré-estabelecidos 12 (doze) critérios para a verificação do grau de aptidão das áreas, dos quais 5 (cinco) foram restritivos e 7 (sete) fatoriais, distinção ocasionada em virtude da natureza e da forma de avaliação dos requisitos, semelhante ao realizado por Felicori *et al.* (2016), em que os critérios restritivos foram definidos em concordância com a lógica booleana, indicando “sim” ou “não” a depender se a área era apta ou inapta; já os critérios fatoriais, foram aqueles que apresentaram uma natureza contínua qualificando as classes em níveis de aptidão. Os critérios avaliados na presente pesquisa podem ser conferidos no Quadro 3.

Quadro 3 - Critérios avaliados para identificação da aptidão de áreas.

CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
Distância de aeródromos (restritivo)	As áreas não podem se situar próximas a aeroportos e devem respeitar a legislação em vigor.
Áreas protegidas de populações tradicionais quilombolas (restritivo)	As áreas devem situar-se em região que esteja fora de qualquer propriedade pertencente à comunidades quilombolas.
Áreas protegidas de populações tradicionais indígenas (restritivo)	As áreas devem situar-se em região que esteja fora de qualquer propriedade pertencente à comunidades indígenas.
Áreas de patrimônio arqueológico (restritivo)	Sítios arqueológicos caracterizam-se como patrimônio protegido, logo, as áreas não devem situar-se nessas regiões.
Declividade (fatorial)	Recomendam-se locais com declividade superior a 1 % e inferior a 30 %.
Geologia (fatorial)	As áreas mais apropriadas são aquelas que apresentam características para evitar riscos de poluição das águas, boas condições de estabilidade dos maciços e a capacidade de suporte do solo de fundação.
Hidrografia (fatorial)	As áreas não podem se localizar a uma distância menor que 200 metros de qualquer coleção hídrica ou curso de água.
Distância de Núcleos Populacionais (fatorial)	As áreas devem estar à uma distância superior a 500 m de núcleos populacionais.

Pedologia (fatorial)	Recomendam-se solos naturalmente pouco permeáveis.
Distância de Rodovias (fatorial)	As áreas escolhidas não devem estar dentro da delimitação da área de rodovias.
Uso e cobertura da terra (fatorial)	As áreas mais apropriadas são aquelas que configuram menores impasses referentes ao licenciamento ambiental.
Unidades de Conservação (UC's) (restritivo)	As áreas deverão situar-se em região que esteja fora de qualquer Unidade de Conservação Ambiental.

Fonte: Autoras (2021), em conformidade com as legislações vigentes.

3.6 Elaboração dos mapas temáticos

Em cada mapa temático foi mostrada a situação geral do município no que diz respeito a cada critério considerado e também o mapa revelando a aptidão para desenvolvimento de aterro sanitário em cada área. Todos os procedimentos para o processamento e a elaboração dos mapas foram executados utilizando o SIG de código aberto *QGIS* versão 3.16.6.

Para a geração dos mapas temáticos de Prainha, primeiramente, foi necessário realizar um pré-processamento que consistiu na organização, verificação e padronização de todos os dados cartográficos coletados de forma que os mesmos ficassem compatíveis e fossem utilizados corretamente na elaboração dos mapas. Sendo assim, realizou-se a transformação de todos os dados obtidos para um único sistema de referência (*Datum*), que neste caso foi o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS 2000, posto que é o *Datum* oficial do Brasil atualmente.

Tendo em vista que a área de estudo se encontra localizada sob dois fusos, o fuso 21 S e o 22 S, fez-se necessário utilizar como sistemas de coordenadas a projeção equivalente de *Albers*, conforme a metodologia utilizada pelo IBGE para cálculo de áreas oficiais, como as Unidades da Federação e dos municípios. Com essa projeção foi possível realizar a determinação de áreas e de distâncias para avaliar as restrições estabelecidas no presente estudo, a unidade de medida de cada mapa foi dada em metros.

Como nas configurações do *QGIS* não havia pré-definida a projeção equivalente de *Albers*, criou-se esse sistema de referência de coordenadas personalizado utilizando os parâmetros ajustados para a região de interesse seguindo o procedimento descrito na obra “Manuais Técnicos em Geociências – Acesso e uso de dados geoespaciais” (IBGE, 2019). Após, converteu-se todos os dados para a projeção equivalente de *Albers*.

Além disso, por conta de os dados serem oriundos de diferentes fontes e apresentarem escalas distintas foi necessária a padronização das escalas, afim de evitar erros na sobreposição dos mapas, de maneira que após a conversão para *raster* apresentassem a mesma dimensão

matricial (pixel). Com intuito de apresentar de forma clara e nítida a área de estudo, utilizou-se a escala de 1:2.800.000 e 1:3.600.000 nos mapas temáticos.

Após o pré-processamento, foram atribuídas notas de 0,0 (zero) a 1,0 (um) para cada uma das classes geradas nos critérios fatoriais, enquanto que para as classes dos critérios restritivos, atribuiu-se valor binário (0 ou 1), conforme também realizado por Perroni (2021).

Tais notas foram atribuídas conforme a adequabilidade das áreas frente as restrições, recomendações e sugestões levadas em consideração no presente estudo. Para cada nota foi atribuída uma cor, variando do tom vermelho ao verde, padrão de cores estabelecido para ilustrar o grau de aptidão das áreas, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 - Notas dos critérios e descrição adotada.

Cor	Nota	Nível de Aptidão
	0,0	Péssima Inapta
	0,2	Ruim
	0,4	Moderadamente Ruim
	0,6	Moderadamente Boa
	0,8	Boa
	1,0	Ótima Apta

Fonte: Adaptado de Perroni (2021).

Posteriormente, com o auxílio da ferramenta “*r.report*” disponível no *software QGIS* 3.16.6, calculou-se as áreas correspondentes a cada nível de aptidão para cada um dos critérios avaliados, assim como também foi realizado nas classes de aptidão final resultado da sobreposição de todos os critérios. Após a obtenção das áreas, estimou-se os percentuais de abrangência de cada classe de aptidão em relação a extensão territorial da área de estudo, com a finalidade de esclarecer os resultados obtidos.

Nas próximas sessões é possível conferir a metodologia de elaboração de cada mapa temático com suas particularidades.

3.6.1 Distância de aeródromos

Para a elaboração do mapa relacionado ao critério de distância de aeródromos foi essencial a criação de um vetor georreferenciado de autoria própria, tendo em vista, que os arquivos vetoriais disponibilizados nas plataformas oficiais apresentaram distorções em um dos aeródromos presentes no município. Logo, com o auxílio do complemento “*QuickMapServices*” presente no *QGIS*, localizou-se os dois aeródromos situados no município de Prainha. Posteriormente, com a ferramenta “criar camadas” produziu-se o vetor georreferenciado demonstrando a localização dos aeródromos.

Quanto à determinação das classes e suas respectivas notas, as mesmas foram atribuídas em observância à resolução CONAMA n° 4/1995, que estabelece a obrigatoriedade de se

considerar a Área de Segurança Aeroportuária (ASA), área delimitada a partir do raio estabelecido a contar do centro geométrico do aeródromo. Esse raio foi esboçado utilizando-se a ferramenta “amortecedor” presente no *software QGIS*.

As ASA's servem para a segurança local, pois consistem na delimitação de uma zona livre da presença de empreendimentos considerados atrativos de fauna, como os aterros sanitários, que podem propiciar a ocorrência de acidentes aeronáuticos, como a colisão de aves nos motores e hélices das aeronaves, logo, denotando a relevância do distanciamento desse tipo de empreendimento aos aeródromos (GOEZ, 2016).

Conforme a mencionada resolução, o raio é determinado de acordo com o tipo de operação do aeródromo, dessa forma, para os que operam de acordo com as regras de vôo por instrumento (IFR) o raio é de 20 quilômetros, enquanto que para os demais, o raio é de 13 quilômetros. Considerando que ambos aeródromos em Prainha são de operação diurna por aproximação visual, adotou-se a ASA de 13 quilômetros.

Posteriormente, converteu-se a base de dados de aeródromos do formato vetorial para o formato matricial. Na camada de saída, em locais restritivos (distâncias menores ou iguais à 13.000 metros), os pixels receberam valor 1 (um) e nos locais permitidos (distâncias além do raio de 13.000 metros), os pixels receberam valor 0 (zero), prática adotada para fins metodológicos de eliminação de áreas inaptas em ambiente SIG.

Por fim, na apresentação do mapa temático, as áreas restritas foram representadas com nota 0,0 (zero) e as demais áreas, nota 1,0 (um), indicando o nível de aptidão das áreas do município no que se refere ao atendimento desse critério.

3.6.2 Áreas protegidas de populações tradicionais quilombolas

A busca por dados referentes à presença de áreas pertencentes a populações quilombolas em Prainha foi feita em diversas plataformas governamentais de acesso à informação, e, enfatiza-se a dificuldade no encontro de dados concisos.

Para a elaboração do referido mapa foram utilizados dados vetoriais obtidos na plataforma do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA (2015).

Uma vez que não foi constatada oficialmente a localização georreferenciada de comunidades dentro do território de Prainha, o mapa do presente critério não foi considerado na álgebra de mapas, sendo elaborado, então, demonstrando apenas as terras quilombolas mais próximas ao município.

3.6.3 Áreas protegidas de populações tradicionais indígenas

Para elaboração do mapa de localização de terras indígenas utilizou-se dados vetoriais obtidos na plataforma da Fundação Nacional do Índio – FUNAI (2021).

De acordo com os dados, como não há atualmente a presença de propriedades pertencentes a populações indígenas no município, o mapa do presente critério não foi considerado na álgebra de mapas, sendo elaborado, então, demonstrando apenas as terras indígenas situadas mais próximas ao município.

3.6.4 Áreas de patrimônio arqueológico

As áreas de patrimônio arqueológico foram avaliadas a partir da base vetorial disponibilizada no banco de dados presente no site eletrônico do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). Segundo o IPHAN (2014), o patrimônio arqueológico do Brasil é composto por sítios arqueológicos e coleções arqueológicas que consistem de locais que apresentam indícios de ocupação humana, sendo estas grutas, lapas, abrigo de rochas, cavernas, inscrições rupestres, jazidas de qualquer natureza e outros vestígios de atividade humana.

A Constituição Federal de 1988 estabelece em seu art. 23 e inciso III e VI que é competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios proteger os documentos, as obras e outros bens de valor histórico, artístico e cultural, os monumentos, as paisagens naturais notáveis e os sítios arqueológicos. Além disso, cabe frisar ainda, que a Lei nº 9.985 de 2000 em seu capítulo II no art. 4 que destaca os objetivos do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) no inciso VII enfatiza como sendo um dos seus objetivos a proteção das particularidades relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural.

A partir disso, fez-se necessário determinar restrições para áreas que apresentaram tais sítios arqueológicos. No entanto, o arquivo vetorial desses dados disponibilizados pelo IPHAN fornece apenas a informação de localização pontual dos sítios existentes no município de Prainha, não fornecendo dados das áreas de abrangência, o que gera uma grande dificuldade de restringir os locais que devem ser preservados.

Portanto, no *software QGIS* através da utilização da ferramenta “amortecedor” criou-se um raio representativo de abrangência dos sítios localizados na área de estudo a fim de estabelecer uma área mínima de restrição, que para este caso, considerou-se 200 metros.

Em seguida, converteu-se os dados no formato vetorial para o formato matricial. Na camada de saída, os pixels situados nos locais restritivos (dentro da área de abrangência dos

sítios), receberam valor 1 (um) e nos locais permitidos (fora do raio de abrangência dos sítios) os pixels receberam valor 0 (zero).

Na demonstração do mapa temático, as áreas restritas foram representadas com nota 0,0 (zero) e as demais áreas, nota 1,0 (um), como forma de indicar a aptidão das áreas.

3.6.5 Declividade

O mapeamento da declividade do município de Prainha foi realizado com a utilização de dados *raster* em formato de modelos digitais de elevação (MDE), provenientes do banco de dados geomorfométricos do Brasil – TOPODATA, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2011). No presente caso, para que fosse possível abranger todo o território do município foi necessária a obtenção de quatro cenas.

Em ambiente SIG, realizou-se a união das cenas por meio do procedimento de mosaicagem. Com o uso da ferramenta “declive”, foram geradas as declividades. As classes foram apresentadas em intervalos de declividade, conforme a padronização de cores e ordenação de legenda da 5ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SIBCS – (EMBRAPA, 2018).

A NBR 15849:2010 recomenda que a declividade da área seja superior a 1 % e inferior a 30 % para a implantação de aterro sanitário, de maneira que a topografia permita o desenvolvimento das soluções adotáveis para o preenchimento do aterro. O Termo de Referência Técnico (SNSA, 2011), discorre ainda:

Quanto à conformação topográfica, ordinariamente se mostram adequadas as glebas com o formato geral de um anfiteatro, particularmente se sua base (“arena”) atender aos requisitos preconizados e se as encostas de contorno (“arquibancadas”) permitirem — por sua declividade e constituição — a progressiva escavação de material para recobrimento. Igualmente tendem a ser adequadas, para essa finalidade, glebas à meia encosta com aclive não muito acentuado (preferivelmente, entre 10% e 20%), que possam ser progressivamente escavadas sob a forma de plataformas (ou trincheiras) escalonadas, de jusante para montante (“de baixo para cima”). (SNSA, 2011, p. 12).

Com base nas considerações técnicas mencionadas da NBR 15489:2010 e da SNSA (2011), somadas às avaliações de Perroni (2021), atribui-se as notas às faixas de declividade, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Notas do critério Declividade (i).

Nota	Classe
0,0	$i < 1\%$ e $i > 30\%$
0,2	
0,4	
0,6	
0,8	$20\% < i \leq 30\%$
1,0	$10\% < i \leq 20\%$
	$1\% < i \leq 10\%$

Fonte: Adaptado de Perroni (2021).

3.6.6 Geologia

Conforme Vilhena (2018), os dados geológicos são muito importantes para a avaliação dos aspectos como: a capacidade de carga e deformabilidade do terreno de fundação; as condições de estabilidade do maciço e adjacências; a suscetibilidade do terreno à erosão, e; a caracterização de materiais de empréstimo (cobertura e impermeabilização de base). A partir disso, é traçado o perfil geológico-geotécnico e capacidade do solo, com a finalidade de verificar a aptidão das áreas à operação do empreendimento.

O mapa de geologia do município em estudo foi gerado a partir dos dados em formato vetorial do Mapa de geodiversidade do Estado do Pará, de autoria do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2010), disponíveis em seu Repositório Institucional de Geociências (RiGeo). É importante destacar que esses dados foram disponibilizados com o intuito de contribuir para políticas macrorregionais, logo, sendo menos precisos para estimativas das características municipais, mesmo assim, foram utilizados na presente pesquisa com a finalidade de dar um direcionamento aproximado das características geológicas.

A representação da distribuição das unidades geológicas no município de Prainha seguiu o padrão de cores e de legenda adotado pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM para cada unidade geológica. Para identificar as características de cada unidade geológica do município de Prainha e relacionar com as características requeridas para o tipo do empreendimento, utilizou-se como auxílio a obra Geodiversidade do Estado do Pará (CPRM, 2013), que possibilitou a identificação das classes mais ou menos suscetíveis à implantação do aterro sanitário.

Para a atribuição de níveis de aptidão às classes, levou-se em consideração a orientação da NBR 15849:2010:

Deve ser apresentada investigação geológica e geotécnica da área do aterro sanitário de pequeno porte, que avalie os riscos de poluição das águas, as condições de estabilidade dos maciços e a capacidade de suporte do solo de fundação, executados no horizonte do solo que constituirá a base do futuro aterro. A investigação deve ser realizada no final do período chuvoso ou imediatamente após este período. Nas técnicas de investigação utilizadas devem constar obrigatoriamente o mapeamento de

superfície e a sondagem de simples reconhecimento com ensaio SPT (Standard Penetration Test), realizadas de acordo com a ABNT NBR 6484, complementados com ensaio de permeabilidade in situ associado. O número de sondagens a ser realizado deve permitir a identificação adequada das características do subsolo. (ABNT, 2010).

Diante da relevância do conhecimento desses parâmetros, o Quadro 5 traz uma série de informações utilizadas como auxílio para atribuição das notas para cada unidade geológica.

Quadro 5 - Caracterização dos solos presentes em Prainha-PA.

Unidade geológica	Caracterização
Planícies Aluvionares Recentes (DCa)	Terrenos planos, de natureza arenosa, argilosa e com leitos de cascalho nas porções mais basais. Trata-se de pacotes não muito espessos, constituídos por materiais de baixa resistência ao corte e à penetração; as camadas argilosas, quando submetidas à saturação hídrica, apresentam baixa capacidade de suporte de carga do solo, sendo vulneráveis a rupturas em fundações e pavimentos viários. As camadas apresentam características mineralógicas distintas e comportamentos geométricos e hidráulicos moderadamente contrastantes, com comportamento de alta desestabilização em paredes laterais expostas por erosão e/ou escavação. Solos periodicamente inundáveis e apresentam alto teor em matéria orgânica e umidade. Os aquíferos formados nessa unidade são superficiais a subsuperficiais, com capacidade hidrogeológica variável. Constituem-se em reservatórios de grande importância para a região, abastecendo várias sedes municipais do estado.
Horizonte Laterítico In Situ (DCDLi)	Essa crosta laterítica, como uma cobertura extensiva resistente; apresenta moderada a alta capacidade de suporte e moderada a alta resistência ao corte e à penetração. Crostas lateríticas com espessuras e coerências variáveis são fatores de resistência aos diferentes processos erosivos. Apresentam solos espessos, passíveis de mecanização. Reservatórios com baixo a médio potencial hidrogeológico, pouco porosos, com lençol freático aflorante ou próximo da superfície. A unidade exibe extensas superfícies recobertas por vegetação rasa.
Predomínio de Arenitos a Arenitos Cauliniticos (DSVMPac)	Apresenta seus afloramentos como espessas camadas de rochas friáveis, pouco a moderadamente fraturadas, extremamente vulneráveis à erosão. Apresenta alta capacidade de suporte de carga e baixa a moderada resistência ao corte e à penetração (solo e perfil de alteração espessos). A presença de crostas lateríticas é fator de proteção à instalação de processos erosivos. Terras mecanizáveis nas áreas mais planas e com solos mais profundos, à exceção das áreas arenosas. Maior favorabilidade à instalação de feições erosivas e movimentos de massa, como resultado de processos naturais, devido ao elevado gradiente textural, principalmente nas encostas (Argissolos). Alta favorabilidade hidrogeológica, com aquíferos profundos e grande expressão areal, sendo o Aquífero Alter do Chão considerado o principal do estado e de toda a Região Amazônica.
Intercalações Irregulares de Sedimentos Arenosos e Siltico-Argilosos com Finas Camadas de Evaporitos e Calcários (DSVMPasaec)	Baixa à moderada capacidade de suporte e resistência ao corte e à penetração. Espessas camadas horizontalizadas, pouco a moderadamente fraturadas. Para as camadas calcárias e evaporíticas espessas pode haver maior suscetibilidade aos processos de dissolução, gerando dolinas e sumidouros de drenagem, que se manifestam na forma de colapsos do terreno e subsidências. Há possibilidades da existência de cavidades de ligação entre os fluxos d'água superficial e subterrâneo, locais com alto potencial de colapso. Alteram-se para solos argiloarenosos pouco permeáveis, aderentes e escorregadios quando molhados. Essa unidade possui favorabilidade hidrogeológica variável. Local de difícil acesso, recoberto por Floresta Densa.
Intercalações de Sedimentos Arenosos, Siltico-Argilosos e Folhelhos (DSVMPasaf)	Esses pacotes sub-horizontalizados, pouco a moderadamente fraturados. As mudanças bruscas de litologias constituem descontinuidades geomecânicas e hidráulicas que facilitam as desestabilizações e os processos erosivos em taludes de corte. Têm moderada a alta capacidade de suporte e baixa a moderada resistência ao corte e à penetração. Há existência de sedimentos arenoquartzosos de baixa resistência ao cisalhamento, geralmente bastante fraturados, percolativos e vulneráveis à erosão. Localmente, apresentam extrema erodibilidade, com desagregação granular. Localmente, ocorrem blocos e camadas com alta resistência ao corte e à penetração. As voçorocas e escorregamentos são abundantes em taludes de corte de materiais

	que, em profundidade, apresentam comportamentos geomecânicos e hidráulicos contrastantes e vulneráveis à erosão. A favorabilidade hidrogeológica é variável em função da variabilidade litológica.
Indeterminado (DCGR3in)	Alta capacidade de suporte de carga; alta resistência ao corte e à penetração, e; instabilidades em taludes de corte. Ocorrência de rochas coesas, intensamente deformadas, pouco à moderadamente fraturadas, com solos pouco espessos ou inexistentes. São áreas naturalmente suscetíveis ao risco geológico, com movimentos naturais de massa com queda de blocos, escorregamentos e corridas de lama. Têm moderada à alta suscetibilidade à erosão e à queda de blocos. Solos sujeitos à compactação, onde a textura é mais argilosa (Argissolos). Há o predomínio de rochas que se alteram para solos argilo-siltico-arenosos, liberando alumínio e criando condições pedológicas excessivamente ácidas. Favorabilidade hidrogeológica variável, com reservatórios do tipo fissural, com potencial bastante irregular, condicionado à presença de falhas, fraturas e demais descontinuidades estruturais. Os solos são bem evoluídos e pouco permeáveis. Solos argilosos espessos, que funcionam como mantos depuradores, com capacidade para reter, fixar e eliminar poluentes, protegendo o aquífero.

Fonte: Adaptado de CPRM (2013).

A partir dessas informações foi possível atribuir notas de aptidão às unidades geológicas por meio da ferramenta “reclassificar por tabela” em ambiente SIG. A Tabela 9 mostra as notas atribuídas.

Tabela 9 - Notas do critério Geologia.

Nota	Classe
0,0	Planícies Aluvionares Recentes Predomínio de Arenitos a Arenitos Cauliníticos Intercalações Irregulares de Sedimentos Arenosos e Siltico-Argilosos com Finas Camadas de Evaporitos e Calcários Intercalações de Sedimentos Arenosos, Siltico-Argilosos e Folhelhos.
0,2	
0,4	
0,6	Indeterminado
0,8	
1,0	Horizonte Laterítico In Situ

Fonte: Autoras (2021).

3.6.7 Hidrografia

Para a concepção dos mapas do critério de hidrografia utilizou-se a base hidrográfica otocodificada em formato vetorial disponibilizada na plataforma da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), da qual extraiu-se apenas a hidrografia da área de estudo. Posteriormente, converteu-se a informação em formato vetor para o formato *raster* e com a utilização da ferramenta “proximidade (distância *raster*)” gerou-se uma imagem *raster*, nela cada pixel referiu-se ao valor de distância do curso hídrico mais próximo.

Em seguida, realizou-se a reclassificação da base de dados por meio da ferramenta “reclassificar por tabela”, onde identificou-se as classes de distâncias e atribuiu-se as respectivas notas, que foram estabelecidas consoante às considerações do Guia do Profissional em Treinamento, de autoria da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA (2008),

às recomendações da NBR 15849:2010 e ao estudo realizado pelos autores Goez (2016), Schmidt (2016) e Perroni (2021), conforme demonstrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Notas do critério Distância de cursos d'água.

Nota	Classe
0,0	$d < 200\text{m}$
0,2	
0,4	
0,6	$200\text{m} \leq d < 500\text{m}$
0,8	$500\text{m} \leq d < 1000\text{m}$
1,0	$d \geq 1000\text{m}$

Fonte: Adaptado de Perroni (2021) e SNSA (2008).

Com isso, levou-se em conta a recomendação da NBR 15849:2010 de que um aterro sanitário pode localizar-se minimamente à distância de 200 metros de qualquer coleção hídrica ou curso d'água, para evitar possíveis influências deste na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas que estejam em suas proximidades. Dessa forma, as regiões com distâncias inferiores à recomendada receberam nota 0,0 (zero), já para as demais classes de distâncias permitidas, adotou-se notas crescentes à medida que a faixa de distanciamento aumentava. Portanto, quanto mais distante dos recursos hídricos, maior foi a nota estabelecida expressando maiores níveis de aptidão.

Um fator importante a ser mencionado é que no território de Prainha há ocorrência de regiões de várzea, que são áreas marginais inundadas periodicamente pelas águas de rios, algo característico no Baixo Amazonas. De acordo com Junk *et al.* (2020), grandes rios amazônicos como o Solimões-Amazonas e seus tributários apresentam pulso de inundação previsível e com alta amplitude. Em virtude da predominância de relevos baixos adjacentes aos rios por milhares de quilômetros, grandes extensões de terras são periodicamente inundadas, em diferentes graus de intensidade (BENATTI, 2016).

A Resolução CONAMA nº 404 de 2008 que estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos, exige em seu Art. 4º, inciso VIII, que as áreas ambientalmente sensíveis e de vulnerabilidade ambiental, como as sujeitas a inundações, não devem ser usadas para implantação de aterros sanitários. Corroborando com essa ideia, a NBR 15849:2010 e a NBR 13896:1997 também fazem menção à essa recomendação.

Dessa forma, sugere-se para pesquisas futuras de identificação de aptidão de áreas para implantação de aterro sanitário, que sejam considerados estudos com previsões de inundações de modo a refinar a classificação da aptidão das áreas. Ressalta-se que na presente abordagem

não foram obtidos dados referentes à modelagem de inundação em tempo hábil para incorporação na pesquisa.

3.6.8 Distância de Núcleos Populacionais

Para que se ofereça segurança sanitária e ambiental também é importante o estabelecimento de uma distância mínima da área útil do aterro sanitário aos núcleos populacionais (BARROS, 2012), de maneira que se evite certos danos às populações do entorno, como odores e proliferação de vetores, além disso, também contribui para viabilidade de operação quanto à vida útil (PERRONI, 2021).

Os núcleos populacionais no município de Prainha foram identificados com o uso de dados vetoriais da Malha de Setores Censitários do Pará (2021), disponíveis na plataforma de geociências do IBGE. Vale ressaltar que se sabe que existem muitos aglomerados populacionais distribuídos na localidade em estudo, o que é peculiar do modo de vida nas regiões de várzea ocorrentes nos municípios do Baixo Amazonas (UFPA, 2012), porém, considerou-se apenas os dados populacionais presentes no referido dado do IBGE por fins de viabilidade metodológica para a presente pesquisa.

De acordo com a tabela de atributos do vetor utilizado, os núcleos populacionais compreendem: áreas urbanas de alta densidade de edificações; áreas urbanas de baixa densidade de edificações; núcleos urbanos e povoados.

Quanto à distância mínima da área útil do aterro à núcleos populacionais, a NBR 15849:2010 recomenda 500 m (quinhentos metros). Felicori *et al.* (2016) sugerem em seu estudo que a adequabilidade da área aumenta com o aumento da distância, porém, diminui a adequabilidade quando a distância se torna elevada o suficiente para incrementar um alto custo de transporte, com isso, eles propõem que a faixa de distância ideal seja entre 2.000m (dois mil metros) a 8.000m (oito mil metros). Para Tressoldi e Consoni (1998), o empreendimento é inviabilizado a partir de 20.000m (vinte mil metros).

Então, de posse das localizações dos núcleos populacionais foi utilizada a ferramenta “proximidades”, em ambiente SIG, para a geração de intervalos de distanciamento a partir dos limites dos núcleos populacionais. A Tabela 11 indica as notas atribuídas no presente trabalho seguindo as recomendações já mencionadas.

Tabela 11 - Notas do critério de Distância de núcleos populacionais.

Nota	Classe
0,0	$d \leq 500\text{m}$ e $d > 20.000\text{m}$
0,2	
0,4	$500\text{m} < d \leq 2.000\text{m}$
0,6	$10.000\text{m} < d \leq 20.000\text{m}$
0,8	$8.000\text{m} < d \leq 10.000\text{m}$
1,0	$2.000\text{m} < d \leq 8.000\text{m}$

Fonte: Autoras (2021).

3.6.9 Pedologia

Para elaboração do mapa de pedologia utilizou-se os dados vetoriais do Mapa de Solos do Brasil (2020), obtido na plataforma Geoinfo, a qual foi desenvolvida para o compartilhamento do acervo de dados espaciais da EMBRAPA.

As classes de solos foram apresentadas no mapa conforme a padronização de cores e ordenação de legenda da 5ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SIBCS (EMBRAPA, 2018). Com essa obra foi possível conhecer as características de cada tipo de solo do território de Prainha e relacionar com as características requeridas para o tipo do empreendimento, o que possibilitou a identificação das classes mais ou menos suscetíveis à implantação do aterro sanitário.

No que se refere à segregação dos solos em seus níveis de aptidão, o presente estudo levou em consideração a recomendação da NBR 15849:2010 de que os solos ideais para aterro sanitário são aqueles naturalmente pouco permeáveis, como exemplo: os argilosos, argilo-arenosos ou argilosiltosos. Além disso, o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (MONTEIRO *et al.*, 2001, p. 154) complementa que os solos precisam ter características argilosas e jamais podem ser utilizados solos arenosos. De acordo com as considerações de Perroni (2021), a textura (composição granulométrica) mais argilosa é importante por oferecer maior capacidade de retenção de líquidos e permeabilidade ao solo, o que consiste em uma barreira natural para as contaminações do lençol freático por chorume.

Perroni (2021) menciona ainda outra característica importante que é a profundidade do solo, recomendando a busca por solos mais profundos, uma vez que esses têm maior disponibilidade de material que pode ser utilizado para o recobrimento diário do aterro. Dessa forma, tal característica contribui para a logística de operação do aterro e redução de custos ao evitar empréstimo de material de outras áreas.

O Quadro 6 e o Quadro 7 revelam em síntese as características de cada classe.

Quadro 6 - Síntese de características pedológicas dos solos de Prainha-PA.

Ordem 1	Sub-ordem	Drenagem	Profundidade
Latossolos	Amarelos	Fortemente a bem drenados	Profundos e muito profundos
Latossolos	Vermelho-amarelos	Fortemente a bem drenados	Profundos e muito profundos
Neossolos	Litólicos	Moderados a excetadamente drenados	Rasos
Gleissolos	Háplicos	Mal ou muito mal drenados	-
Argissolos	Vermelho-amarelos	Bem drenados	Profundos a medianamente profundos

Fonte: Adaptado do SIBCS (EMBRAPA, 2018).

Quadro 7 - Caracterização dos solos presentes em Prainha-PA.

Ordem 1	Caracterização
Latossolos	São solos minerais profundos e muito profundos (normalmente superiores a dois metros), bem a excessivamente drenados, bastante porosos e permeáveis. No horizonte B latossólico (Bw), os teores de argila aumentam gradativamente ao longo do perfil sem, contudo, chegar a evidenciar um horizonte do tipo B textural.
Neossolos	São hidromórficos, rasos ou pouco profundos, com textura variável, normalmente, com dominância da fração silte na granulometria. Apresentam horizonte A com menos de 40 cm de espessura, diretamente assentado sobre a rocha ou sobre material com 90%, ou mais, de sua massa constituída de fragmentos de rocha.
Gleissolos	São solos minerais pouco desenvolvidos, hidromórficos; são formados de sedimentos aluviais depositados em áreas de várzeas, depressões e planícies aluviais, sob influência do lençol freático próximo à superfície, durante parte do ano. Estes solos ocorrem ao longo das margens dos rios e igarapés de água barrenta, em praticamente todo o estado.
Argissolos	Esta classe compreende solos minerais, não hidromórficos; com perfis bem desenvolvidos, profundos e medianamente profundos, bem a moderadamente drenados; os horizontes superficiais são mais arenosos do que os subsuperficiais, quase sempre de textura argilosa.

Fonte: Adaptado de Solos do Estado do Pará (EMBRAPA, 2020).

A partir dessas informações foi possível atribuir notas de aptidão às classes de solos por meio da ferramenta “reclassificar por tabela” em ambiente SIG. A Tabela 12 mostra as notas atribuídas.

Tabela 12 - Notas do critério Pedologia.

Nota	Classe
0,0	Gleissolos Háplicos
0,2	Neossolos Litólicos
0,4	
0,6	
0,8	
1,0	Argilososolos vermelho-amarelos Latossolos amarelos Latossolos vermelho-amarelos

Fonte: Autoras (2021).

3.6.10 Distância de Rodovias

Para a elaboração dos mapas do critério de distância de rodovias presentes em Prainha, fez-se necessária a obtenção de dados vetoriais das bases cartográficas contínuas disponíveis no sítio eletrônico do IBGE. No *software QGIS* versão 3.16.6, utilizado para o geoprocessamento, realizou-se o recorte desse dado vetorial afim de adquirir apenas as rodovias presentes no município em estudo.

Em seguida, transformou-se a camada em formato vetorial para matricial, com a aplicação da ferramenta “proximidade (distância *raster*)” obteve-se uma imagem e nela cada pixel correspondeu ao valor de distância da rodovia. Com isso, através da aplicação da ferramenta “reclassificar por tabela” executou-se a reclassificação da base de dados, mediante a qual foi possível identificar cada classe de distância e atribuir suas respectivas notas, apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Notas do critério Distância de rodovias.

Nota	Classe
0,0	$d < 100m$
0,2	
0,4	
0,6	$100m \leq d < 500m$
0,8	$500m \leq d < 1000m$
1,0	$d \geq 1000m$

Fonte: Autoras (2021).

As áreas que compreendem as rodovias foram consideradas inaptas em consideração à orientação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT (Brasil, 2005), que adverte que os locais a serem escolhidos para implantação de aterros sanitários não devem estar dentro da delimitação da área de rodovias, de modo a evitar impactos ambientais associados à segurança do fluxo de veículos bem como o bem-estar dos usuários, posto que quando estes são localizados próximos às rodovias há a ocorrência de poluição visual, proliferação de vetores e odores desagradáveis.

Aliado a esse argumento, restringiu-se ainda tanto as áreas das rodovias, bem como 100 metros de área de influência a partir do eixo das mesmas, haja vista as fundamentações da SNSA (2008) e estudos realizados pelos autores Neto (2011), Felicori *et al.* (2016) e Perroni (2021), que consideram o distanciamento mínimo de 100 metros entre o eixo das vias e a localização da área do aterro sanitário, visando evitar a ocorrência de possíveis impactos como transtornos no tráfego e interferências no bom fluxo das vias.

Sendo assim, as áreas que compreenderam as rodovias e suas regiões de influência receberam nota 0,0 (zero). Para as demais classes, atribuiu-se notas crescentes à medida que a faixa de distanciamento aumentava, pois, segundo a SNSA (2011), “a intensidade de certos impactos ambientais, como ruídos, odores e modificações da paisagem, depende diretamente da distância da fonte poluidora em relação ao receptor”. Nessa lógica, as áreas que receberam nota 1,0 (um), ou seja, com o melhor nível de aptidão, foram aquelas situadas a partir de 1.000 metros de distância das rodovias.

3.6.11 Uso e cobertura da terra

O uso e cobertura da terra foi classificado a partir de dado secundário do tipo matricial oriundo da plataforma MapBiomias, o qual é produzido por meio da classificação de imagens dos satélites Landsat 5 e 8. Para obtenção do dado matricial mais recente, datado de 2020, foi necessário a utilização *software Google Earth Engine* para o processamento em lote das informações disponíveis do MapBiomias Coleção 6.

Posteriormente, com o dado secundário proveniente do processamento em lote das informações utilizou-se o SIG para a elaboração do mapa de uso e cobertura da terra, em que foram identificadas e avaliadas as classes. As simbologias e legendas adotadas no mapa resultante foram empregadas em conformidade com indicação da própria plataforma que disponibiliza tais informações em seus documentos oficiais, nos quais estão expressos os códigos, os nomes, as cores e as características correspondentes à cada classe. É possível observar no Quadro 8 as peculiaridades de cada classe de uso e ocupação da terra presentes no município de Prainha.

Quadro 8 - Características do Uso e ocupação da terra do município de Prainha.

Classificação geral	Classes em Prainha	Descrição
Floresta	Formação Florestal	Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Sempre-Verde, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, Savana Arborizada, Áreas que sofreram ação do fogo ou exploração madeireira, Floresta resultante de processos naturais de sucessão, após supressão total ou parcial de vegetação primária por ações antrópicas ou causas naturais, podendo ocorrer árvores remanescentes de vegetação primária. Floresta Ombrófila Aberta Aluvial estabelecida ao longo dos cursos de água, ocupa as planícies e terraços periodicamente ou permanentemente inundados, que na Amazônia constituem fisionomias de matas-de-várzea ou matas de-igapó, respectivamente.
	Formação Savânica	Formação vegetal aberta com um estrato arbustivo e/ou arbóreo mais ou menos desenvolvido, estrato herbáceo sempre presente.
Formação natural não florestal	Campo Alagado e Área Pantanosa	Vegetação de várzea ou campestre que sofre influência fluvial e/ou lacustre.
	Formação Campestre	Savana, Savana Parque (Marajó), Savana-Estépica (Roraima), Savana Gramíneo-Lenhosa, Campinarana, para regiões fora do Ecótono Amazônia/Cerrado. E para regiões dentro do Ecótono Amazônia/Cerrado predominância de estrato herbáceo.
Agropecuária	Pastagem	Área de pastagem, predominantemente plantadas, vinculadas a atividade agropecuária. As áreas de pastagem natural são predominantemente classificadas como formação campestre que podem ou não ser pastejadas.

	Soja	Áreas cultivadas com a cultura da soja.
	Outras Lavouras Temporárias	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir.
	Silvicultura	Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. pinus, eucalipto, araucária).
Área não vegetada	Área Urbanizada	Áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, vias e edificações.
Corpo d'água	Rio / Lago	Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.

Fonte: Adaptado do MapBiomias (2021).

A partir disso, foi necessária reorganização das classes visando a atribuição das notas de aptidão conforme as características de cada uma delas associadas ao possível impacto ambiental da implantação do aterro ao local. Para o processamento dessas informações, foi realizado uma reclassificação utilizando a ferramenta “reclassificar por tabela” atribuindo notas de 0,0 (zero) a 1,0 (um) para cada classe, conforme o Tabela 14.

Tabela 14 - Notas do critério Uso e cobertura da terra.

Nota	Classe
0,0	Área Urbanizada; Campo Alagado e Área Pantanosa; Rios / Lago.
0,2	
0,4	
0,6	Formação Florestal; Soja; Outras Lavouras Temporárias.
0,8	Formação Savânica; Formação Campestre; Silvicultura.
1,0	Pastagem

Fonte: Autoras (2021).

As notas foram concedidas por intermédio da fundamentação de NBR'S e literaturas pertinentes. Sendo assim, para as classes definidas como “área urbanizada” e “rios e lagos” atribuiu-se nota 0,0 (zero), com a finalidade de atender aos requisitos mínimos propostos pela NBR 15849:2010, que recomenda o distanciamento mínimo de 500 metros entre o aterro sanitário e um núcleo populacional, bem como uma distância mínima de 200 metros de qualquer coleção hídrica ou curso d'água.

Além dessas duas classes, também foi conferida nota 0,0 (zero) à classe denominada como Campo Alagado e Área Pantanosa por apresentar aspectos de áreas alagadas com a presença de vegetação de várzea, que ocorre ao longo dos rios e de planícies inundáveis.

No que se refere às demais classes, Folletto (2016) e Aquino (2018) designaram maiores notas às regiões ocupadas por silvicultura, áreas de pastagem e savana, afirmando que estas configuram menores impasses referentes ao licenciamento ambiental. Em contrapartida, nas

regiões ocupadas por florestas nativas foram dadas notas menores, visto que a realização da supressão da cobertura vegetal demanda custos de compensação ambiental e obstáculos no licenciamento.

As áreas de pastagem foram as que receberam a maior nota, em concordância com a avaliação de Goez (2016), que percebeu em seu estudo no município de Senador Canedo – GO, que os locais onde o uso do solo era empregado para pastagem foram preferenciais para a implantação de aterro sanitário, dado que não havia a necessidade da realização do desmatamento da área. Corroborando com essa ideia, Rodrigues (2019) reforça que na construção de aterros deve-se dar prioridade aos locais com solo exposto, com intuito de gerar impactos ambientais menos expressivos e atenuar gastos relacionados à preparação do terreno.

3.6.12 Unidades de Conservação (UC's)

Para elaboração dos mapas do critério de Unidades de Conservação do município de Prainha, utilizou-se os dados vetoriais dos limites das Unidades de Conservação Federais disponibilizados na plataforma oficial do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e as informações das Unidades de Conservação Estaduais fornecidos pelo Repositório Institucional de Geociências (RiGeo) no portal do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Segundo a Lei Federal n.º 9.985, de 18 de julho de 2000 (BRASIL, 2000) as UC's consistem de espaço territorial e seus recursos ambientais, compreendendo as águas jurisdicionais, com aspectos naturais pertinentes, legalmente instituído pelo Poder Público, com intuito de conservar, no qual aplicam-se garantias adequadas de proteção.

O art. 7 dessa mesma lei frisa a distinção das UC's integrantes do SNUC em dois grandes grupos, as Unidades de Proteção Integral e as Unidades de Uso Sustentável. As Unidades de Proteção Integral têm como objetivo preservar a natureza, sendo permitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, já no que se refere às Unidades de Uso Sustentável, estas têm como finalidade conciliar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais.

Sendo assim, fez-se indispensável a restrição das áreas que abrangem as UC's presentes no município de Prainha, visando atender a legislação. Logo, para fins metodológicos em ambiente SIG, converteu-se o dado no formato vetorial para o formato matricial. Na camada de saída, nos locais restritivos (dentro das UC's), os pixels receberam valor 1 (um) e nos locais permitidos (fora das UC's) os pixels receberam valor 0 (zero).

Por conseguinte, para o esboço do mapa temático, as áreas restritas foram representadas com nota 0,0 (zero) e as demais áreas, nota 1,0 (um), indicando o nível de aptidão das áreas do município no que se refere ao atendimento da restrição.

3.7 Obtenção e atribuição dos pesos das variáveis pelo método AHP

Afim de obter os pesos para os critérios fatoriais, utilizou-se da ferramenta Calculadora de Prioridade AHP Online (*AHP Priority Calculator*), que consiste em uma ferramenta web que auxilia no processo de tomada de decisão de forma consistente e didática para a aquisição dos pesos do método AHP proposto por Saaty na década de 70.

Para a obtenção dos pesos das variáveis, fez-se necessário o preenchimento das informações pertinentes à análise pretendida na interface da calculadora online, onde foi fornecida a quantidade de critérios analisados no presente trabalho e seus respectivos nomes. Em seguida, a ferramenta estabeleceu comparações pareadas entre os critérios para que fossem julgados pelo usuário qual deles seria o mais importante, um em relação ao outro, na tomada de decisão, e simultaneamente, foi sendo preenchida a proporção desse nível de importância que variava de 1 a 9, visando a construção da matriz de comparação pareada.

Com isso, a Calculadora de Prioridade AHP Online apresentou os resultados dos pesos de cada um dos critérios (Tabela 15), e o valor da razão de consistência do julgamento (CR) resultante foi igual a 6,3%, indicando confiabilidade aos julgamentos adotados, o que denota que o processo de comparação pareada foi adequado.

Tabela 15 - Pesos finais obtidos para os critérios fatoriais pelo método AHP.

Crítérios	Pesos
Declividade	0,069
Geologia	0,115
Hidrografia	0,152
Distância de Núcleos Populacionais	0,446
Pedologia	0,141
Distância de Rodovias	0,034
Uso e cobertura da terra	0,043

Fonte: Calculadora de Prioridade AHP Online (2022).

Ressalta-se que a avaliação das pareações e a atribuição dos respectivos níveis de importância na calculadora online foram realizadas por dois especialistas, sendo um engenheiro sanitarista e uma engenheira ambiental moradora do município, convidada a participar da atribuição de pesos com o intuito de tornar os resultados mais fiéis à realidade local, para o alcance de resultados consistentes e representativos. Samizava *et al.* (2008) afirma que a utilização da matriz de comparação deve ser realizada com cautela, dado que o método apresenta subjetividade, o que pode levar a concepções fora da realidade, essa subjetividade

pode estar relacionada com atribuição de forma empírica pelo usuário dos valores de importância das variáveis na matriz de comparação pareada. Logo, a representatividade dos resultados alcançados pelo processo de análise hierárquica depende da atribuição de valores coerentes com a realidade e a obtenção de uma matriz consistente.

3.8 Álgebra de mapas para obtenção do mapa de aptidão

A partir da realização do procedimento de álgebra de mapas em ambiente SIG foi possível elaborar o mapa resultado que fez uma síntese de todos os critérios avaliados no presente estudo para a verificação da viabilidade das áreas para implantação de aterro sanitário.

Tendo em vista que para a composição da análise foram obtidos tanto mapas de critérios restritivos como mapas de critérios fatoriais, fez-se necessário inicialmente a elaboração de um mapa síntese com todas as áreas restritas, as quais em hipótese alguma poderiam ser aproveitadas para fins do empreendimento, em seguida, juntou-se às restrições os resultados dos critérios fatoriais.

Para unir todas as áreas determinadas restritivas em uma única camada utilizou-se a ferramenta “calculadora *raster*” disponível no *QGIS*, nela realizou-se a operação de soma das camadas.

Em seguida, reuniu-se a síntese obtida com os critérios fatoriais usando a calculadora *raster*. Na operação algébrica realizada, as camadas fatoriais foram somadas e cada uma delas foi multiplicada por seu respectivo peso (obtido pelo método AHP), esse produto foi multiplicado pela camada síntese de restrições. Esses passos resultaram na camada contendo a síntese de todos os critérios.

A camada síntese de critérios foi reclassificada em seis classes de aptidão (Ruim, Moderadamente Ruim, Moderadamente Boa, Boa e Ótima) e a paleta cores padrão adotada, dando origem ao mapa resultado, no qual foi possível identificar o grau de aptidão das áreas no município de Prainha quanto à implantação de aterro sanitário.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Projeção populacional

No cálculo da estimativa populacional foram consideradas somente as populações do centro urbano de Prainha, do distrito Jutuarana e do distrito Água Branca do Jauari, que correspondem a 45,76% da população total de Prainha.

Para a realização do método geométrico foram utilizados os valores aferidos de população nos anos de 2000 e 2010 dos núcleos atendidos pelo aterro, sendo 12.493 habitantes e 13.392 habitantes, respectivamente. Em seguida, fez-se a aplicação dessas informações nas equações (1 e 2) expostas anteriormente, com isso, obteve-se a população estimada contemplada pelo aterro sanitário para os anos de 2021 a 2040, conforme destacados na Tabela 16.

Tabela 16 - Estimativa populacional da população a ser atendida pelo aterro para os anos de 2021 a 2040, utilizando o método geométrico.

Ano	População Total (hab)	Ano	População Total (hab)
2021	14.455	2031	15.495
2022	14.556	2032	15.603
2023	14.657	2033	15.712
2024	14.760	2034	15.821
2025	14.862	2035	15.932
2026	14.966	2036	16.043
2027	15.070	2037	16.154
2028	15.175	2038	16.267
2029	15.281	2039	16.381
2030	15.388	2040	16.495

Fonte: Autoras (2021).

Os resultados obtidos da projeção populacional utilizando o método geométrico mostrou-se satisfatório, uma vez que não apresentaram grandes discrepâncias com o decorrer dos anos, algo que condiz com os dados referentes à dinâmica populacional ao longo da série histórica do município em estudo.

4.2 Massa dos resíduos sólidos e volume do aterro

A massa de RSU gerados diariamente pelos núcleos populacionais previstos para serem contemplados pelo aterro sanitário de Prainha foi de 9,40 ton/dia no início de projeto (ano de 2021) e de 10,72 ton/dia no final de projeto (ano de 2040). Esse valor foi estipulado calculando-se o produto da geração *per capita* de resíduos sólidos em Prainha, dado proveniente do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Pará – PEGIRS (PARÁ, 2014), pela quantidade de habitantes dos núcleos populacionais a serem atendidos, bem como pela cobertura de coleta de resíduos (para o caso é 100% da população mencionada), conforme o procedimento de cálculo segundo Vilhena (2018).

Já a massa total de RSU a serem confinados compreendendo todo o horizonte de projeto (20 anos) foi de 73.327,62 ton, calculada pelo somatório da massa de RSU acumulada por ano. A estimativa do volume final aproximado do aterro sanitário foi de 126.752,03 m³.

4.3 Área necessária para implantação do aterro sanitário

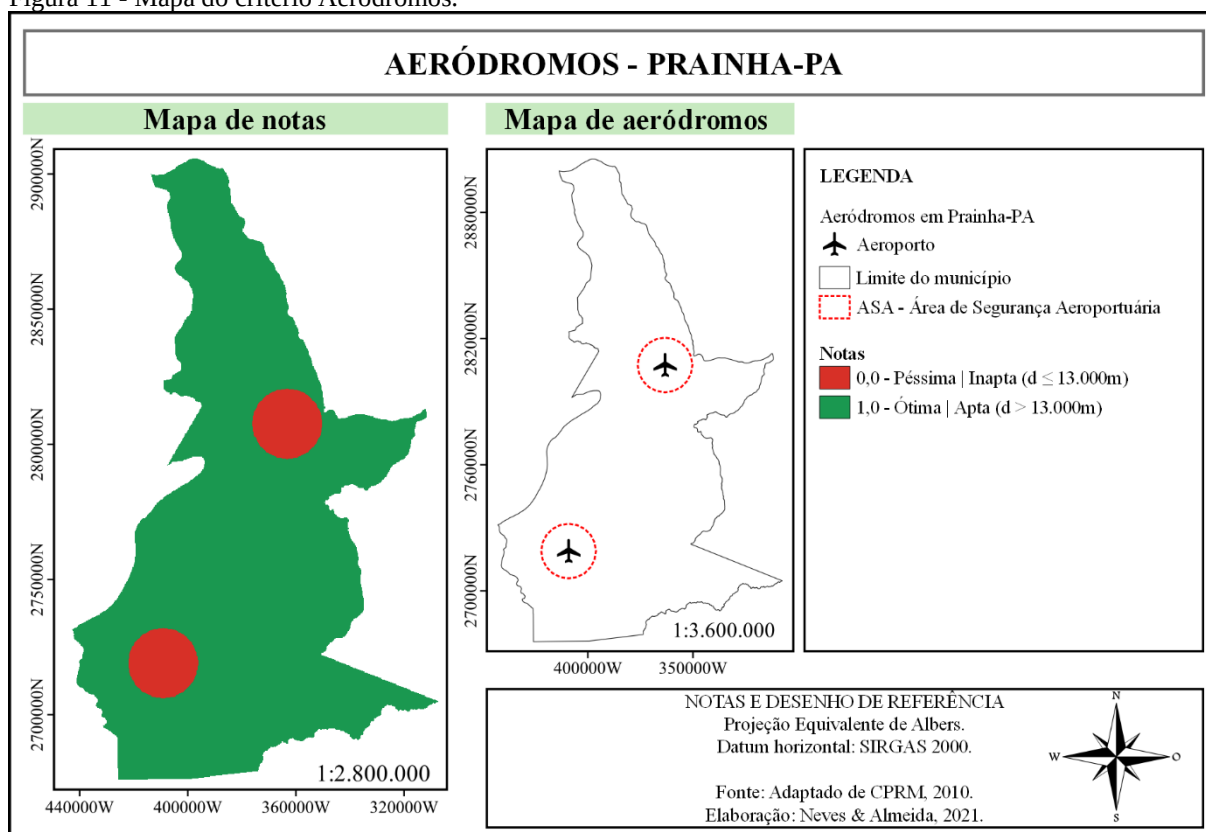
A dimensão de área necessária à operação do aterro sanitário previsto no presente trabalho foi estabelecida em conformidade com a orientação do Termo de Referência Técnico (SNSA, 2011, p.15), que indica o tamanho do local de acordo com a quantidade do contingente atendido. Tendo em vista que a população dos núcleos contemplados com o aterro sanitário de Prainha poderá atingir em torno de 16.495 habitantes ao final do projeto (conforme a projeção populacional realizada), a área recomendada foi de 5,6 ha, equivalente à 0,056 km², área indicada para populações na faixa entre 10.001 a 20.000 habitantes.

4.4 Mapas temáticos

4.4.1 Distância de aeródromos

É notável no mapa da Figura 11 a presença de dois aeródromos no município de Prainha, onde um deles localiza-se ao norte do município, conhecido como *Prainha Airport* e o outro, situado no Sudoeste, denominado de *Castanhal Airport*.

Figura 11 - Mapa do critério Aeródromos.



Fonte: Autoras (2021).

Na mesma figura apresentada anteriormente é demonstrado o mapa de notas no qual é possível verificar a aptidão da região em estudo no que se refere ao atendimento do critério distância de aeródromos. As áreas indicadas em tom de coloração vermelha são as restritivas, apontando inaptidão quanto à instalação de aterro sanitário no local, enquanto que as demais áreas na cor verde denotam aptidão para o recebimento.

Nota-se que o município dispõe de uma vasta área e mesmo que haja a presença de dois aeródromos e seus respectivos raios de ASA (13.000 metros de raio para cada um deles), ainda é possível verificar uma extensa área disponível para implantação de um aterro. No entanto, cabe lembrar que há diversos outros critérios que foram levados em consideração nas etapas posteriores da análise que resultaram na restrição de boa parte das áreas que, por enquanto, aparecem disponíveis.

4.4.2 Áreas protegidas de populações tradicionais quilombolas

Buscas feitas nas bases de dados do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA (2015) e também do Instituto de Terras do Pará – ITERPA (2021) apontaram que áreas quilombolas tituladas não constam no território do município de Prainha. Ressalta-se que os dados cartográficos dizem respeito somente às comunidades que já possuem estudos de

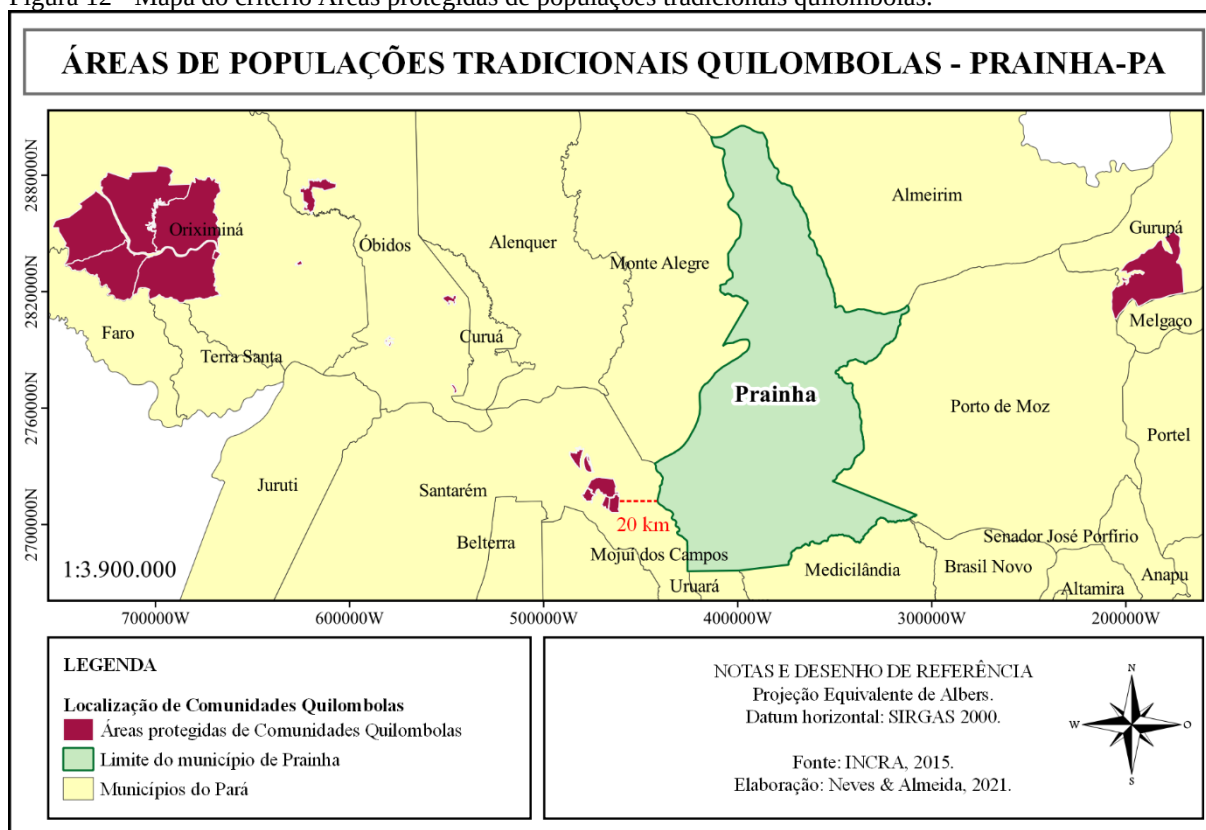
delimitação (Relatórios Técnicos de Identificação e Delimitação) e que estavam em fases mais avançadas do procedimento de regularização (Portaria de Reconhecimento, Decreto e Título), conforme o Portal de Acesso à Informação do Governo Federal (BRASIL, 2018).

É de conhecimento popular que existem comunidades quilombolas remanescentes habitantes no município de Prainha, porém, nenhuma delas apareceram nos registros (possivelmente por questões político-administrativas, como as já mencionadas), fato este que pode ser confirmado com as informações do IBGE (2019) e do CPRM (2010), que declararam presentes no município duas comunidades: Curuá e Pacoval. Entretanto, não forneceram os dados de localização georrefenciada de tais comunidades.

Sendo assim, o mapa gerado mostra apenas as comunidades quilombolas das quais tem-se a informação de localização. Nota-se que a comunidade quilombola georreferenciada mais próxima situa-se a cerca de 20 km (vinte quilômetros) de distância do município objeto de estudo.

Na Figura 12 está demonstrado o mapa do critério referente à restrição de áreas pertencentes a populações quilombolas.

Figura 12 - Mapa do critério Áreas protegidas de populações tradicionais quilombolas.

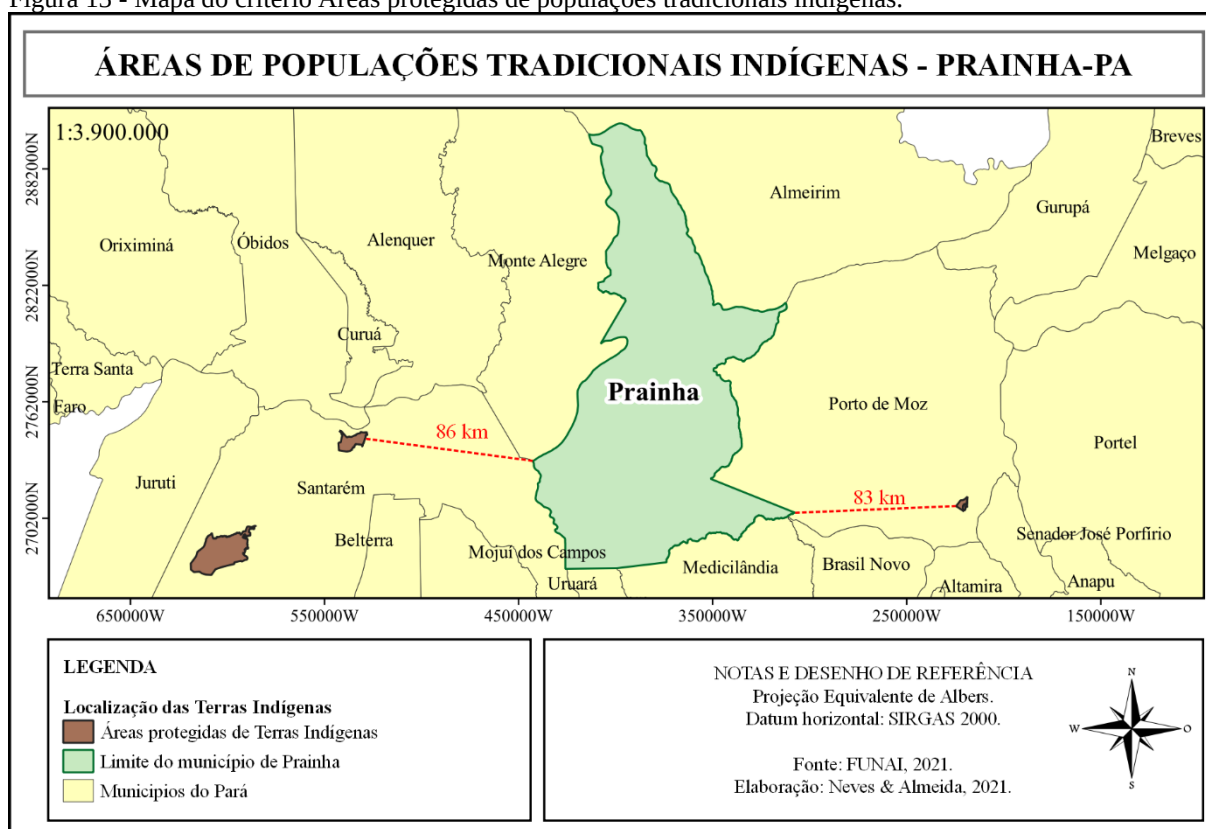


Fonte: Autoras (2021).

4.4.3 Áreas protegidas de populações tradicionais indígenas

De acordo com o que pode ser conferido na Figura 13, não há a presença de terras indígenas em Prainha, logo, o referido mapa não foi considerado na álgebra de mapas. Com isso, foram apresentadas no mapa as terras indígenas localizadas no entorno. Observa-se, então, que as terras indígenas mais próximas distam respectivamente cerca de 86 km (oitenta e seis quilômetros) e 83 km (oitenta e três quilômetros) do local em estudo.

Figura 13 - Mapa do critério Áreas protegidas de populações tradicionais indígenas.

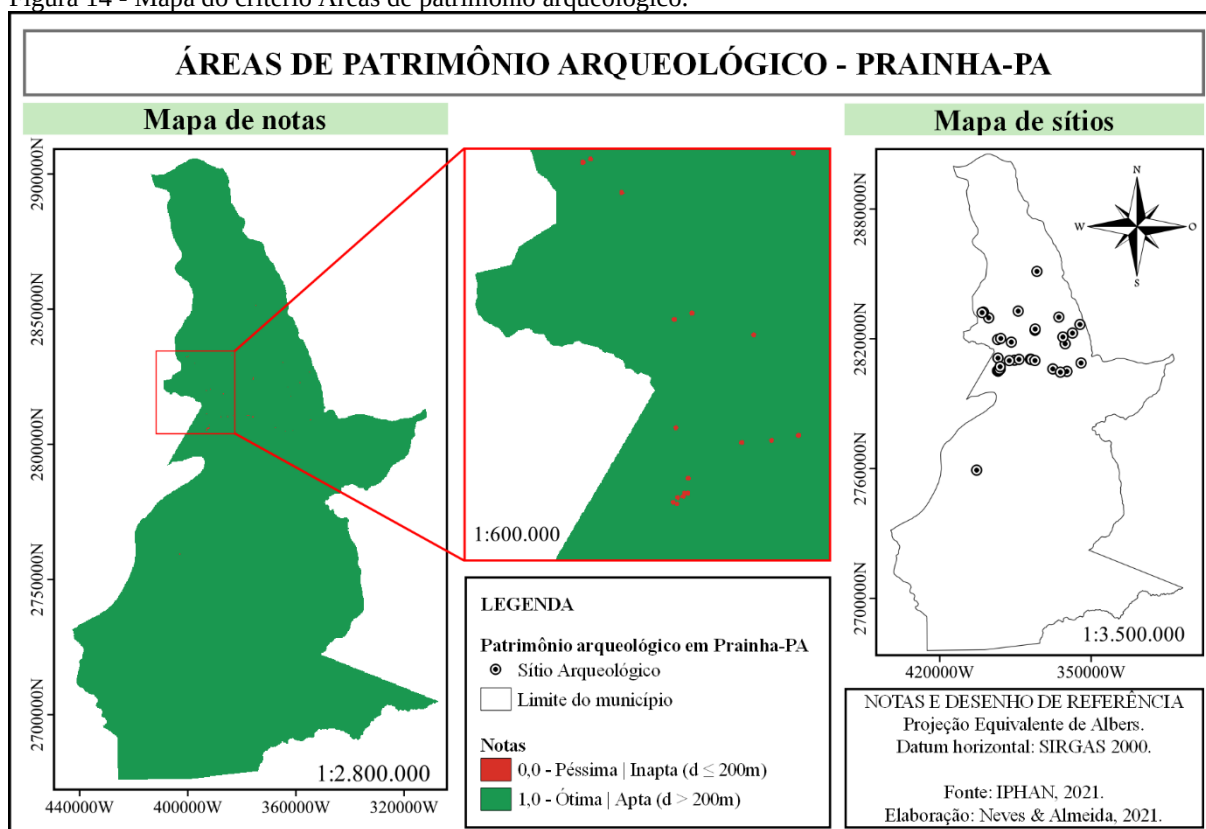


Fonte: Autoras (2021).

4.4.4 Áreas de patrimônio arqueológico

Na Figura 14 é demonstrado o mapa de sítios arqueológicos localizados no município de Prainha e o mapa de notas expressando a aptidão à instalação de um aterro sanitário considerando este critério que diz respeito à proteção de áreas de patrimônio arqueológico. Foi possível identificar 34 (trinta e quatro) desses pontos no território de Prainha, conforme apresentado no mapa de sítios.

Figura 14 - Mapa do critério Áreas de patrimônio arqueológico.



Fonte: Autoras (2021).

Cabe ressaltar, que na plataforma oficial do IPHAN indicou-se no Cadastro Nacional de Sítios Arqueológicos (CNSA) a presença de 46 (quarenta e seis) sítios na região de estudo, ultrapassando a quantidades de sítios mostrados no arquivo vetorial disponibilizado pela mesma fonte. As informações cedidas não foram suficientes para a verificação da localização georreferenciada dos sítios e a comparação com aqueles apresentados no arquivo *shapefile*. Outro fator negativo a ser frisado foi quanto à característica gráfica, pois os dados estavam representados por pontos, o que dificultou o reconhecimento da área de abrangência de cada sítio com exatidão.

Logo, afim de considerar esse aspecto ambiental na análise de multicritério da aptidão de áreas à implantação de aterro sanitário, como alternativa, determinou-se uma área de abrangência representativa com raio de 200 metros a partir do ponto indicado, assegurando minimamente uma estimativa de área que compreende o sítio arqueológico. Na Figura 13, apresentada anteriormente, é possível verificar as áreas restritivas simbolizadas pela cor vermelha, demonstrando inaptidão e as demais representadas pela cor verde revelando a aptidão.

Vale salientar, que é de suma importância a verificação *in loco* da área a ser implantada o aterro sanitário, pois percebe-se a carência de informações quanto ao levantamento dos sítios localizados no município alvo deste estudo. Santos (2020) aponta que a ausência de atualizações

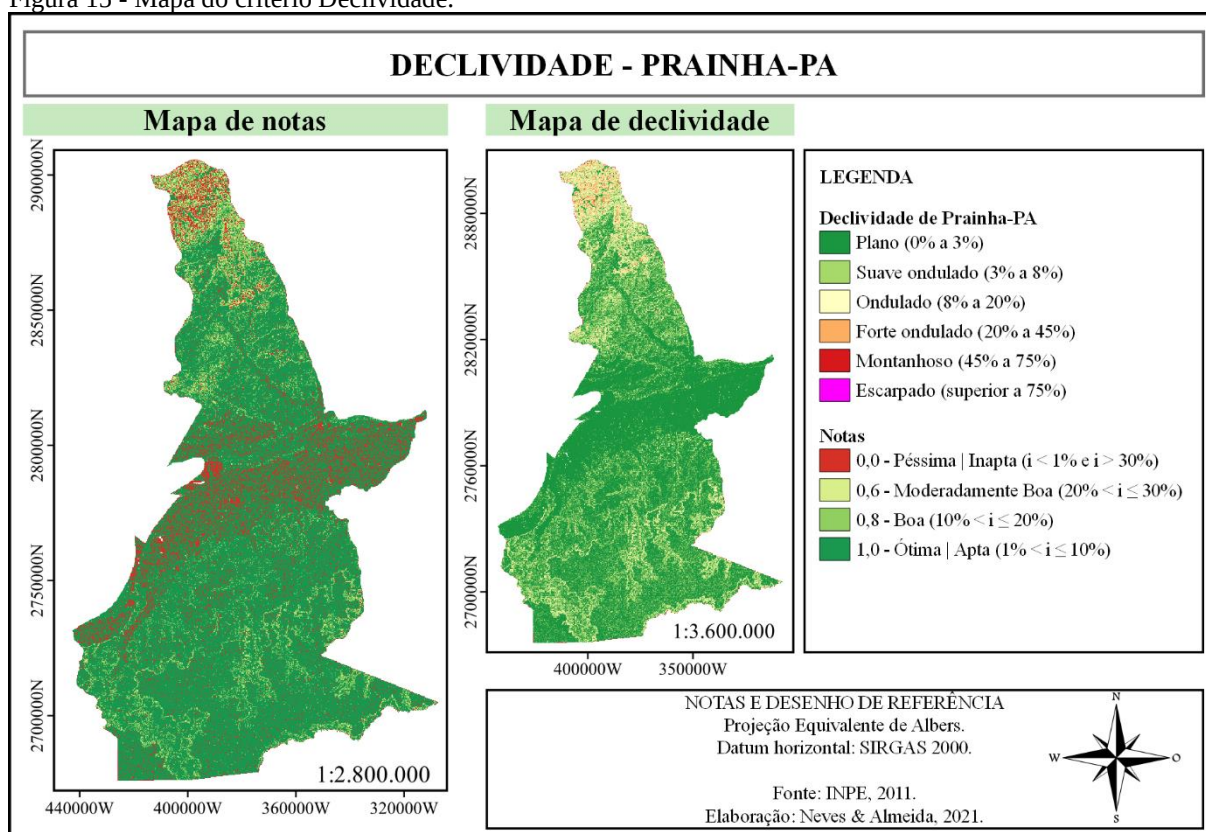
do CNSA tem originado dificuldades em todo o território brasileiro no que diz respeito à proteção dos sítios arqueológicos no momento de concessão de licenças ambientais.

4.4.5 Declividade

No que diz respeito ao critério de Declividade, em virtude do aspecto natural do relevo do município de Prainha, grande parte do território mostrou-se suscetível à implantação de aterro sanitário (em conformidade com a recomendação da NBR 15849:2010), sendo 87,24% das áreas com declividade entre 1% a 30%, enquanto que apenas 12,09% foram de áreas inaptas. Na Figura 15 é possível conferir o mapa de notas que ilustra as faixas de aptidões e o mapa das declividades apresentadas.

Na Tabela 17 pode-se verificar os intervalos de declividade, bem como os quantitativos em quilômetros quadrados e percentuais referentes a cada um. Vale ressaltar que 0,68% do espaço territorial não possuía dados, possivelmente decorrente de falhas no arquivo *raster* utilizado, pela existência de pixels sem dados.

Figura 15 - Mapa do critério Declividade.



Fonte: Autoras (2021).

Tabela 17 - Classes de aptidão do critério Declividade, com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.

Notas	Intervalos de declividade [%]	Área [km ²]	[%]
0,0	$i < 1\%$ e $i > 30\%$	1.788,02	12,09
0,6	$20\% < i \leq 30\%$	382,93	2,59
0,8	$10\% < i \leq 20\%$	1.368,06	9,25
1,0	$1\% < i \leq 10\%$	11.149,89	75,40
-	Sem de dados	101,00	0,68
Total		14.786,91	100,00

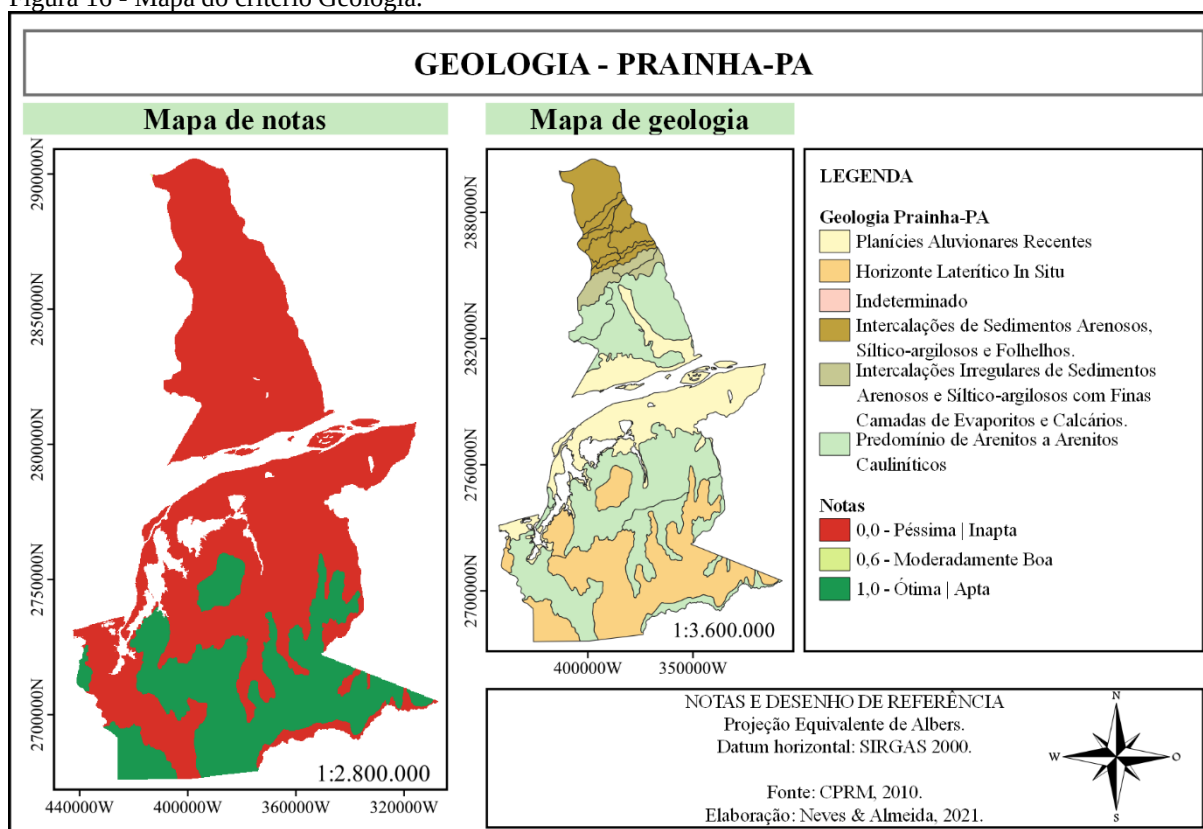
Fonte: Autoras (2021).

4.4.6 Geologia

A geologia do município de Prainha é bem diversificada, foram identificadas seis diferentes unidades geológicas a partir dos dados vetoriais provenientes da CPRM (2010), sendo estas as Planícies Aluvionares Recentes; Horizonte Laterítico In Situ; Indeterminado; Intercalações de Sedimentos Arenosos, Siltico-Argilosos e Folhelhos; Intercalações Irregulares de Sedimentos Arenosos e Siltico-Argilosos com Finas Camadas de Evaporitos e Calcários, e; Predomínio de Arenitos a Arenitos Cauliníticos.

A Figura 16 demonstra o mapa da geologia apontando as regiões onde estão localizadas cada uma dessas classes no território do município e o mapa de notas expressando a aptidão à implantação do aterro sanitário no que se refere ao atendimento desse critério. As regiões indicadas na cor vermelha demonstram inaptidão, enquanto que as áreas em tons de verde apresentaram ótima aptidão.

Figura 16 - Mapa do critério Geologia.



Fonte: Autoras (2021).

Os resultados obtidos apontaram 9.888,22 km² de áreas inaptas à instalação de aterro sanitário, o que representa 66,87% do território total do município, restando apenas 3.596,15 km² de áreas aptas, equivalente à 24,32%, conforme pode ser visto na Tabela 18.

Tabela 18 - Classes de aptidão do critério Geologia com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.

Nota	Classe de Unidades geológicas	Área [km ²]	[%]
0,0	Planícies Aluvionares Recentes	9.888,22	66,87
	Predomínio de Arenitos a Arenitos Cauliníticos		
	Intercalações Irregulares de Sedimentos		
	Arenosos e Siltico-Argilosos com Finas		
	Camadas de Evaporitos e Calcários		
0,6	Intercalações de Sedimentos Arenosos, Siltico-Argilosos e Folhelhos	0,76	0,01
	Indeterminado		
1,0	Horizonte Laterítico In Situ	3.596,15	24,32
-	Equivalente a rio/lago	1.301,78	8,80
Total		14.786,91	100,00

Fonte: Autoras (2021).

É possível perceber na Figura 15 apresentada anteriormente, que as áreas consideradas aptas para o recebimento de um aterro sanitário estão situadas na região sul do município, posto que são regiões que apresentam unidades geológicas do tipo Horizonte Laterítico In Situ. Conforme a CPRM (2010), os Horizonte Laterítico In Situ apresentam camadas pouco a

moderadamente fraturadas, podendo ser bastante compactas com alta resistência ao corte e à penetração, sendo características favoráveis à implantação de empreendimentos como aterro sanitário.

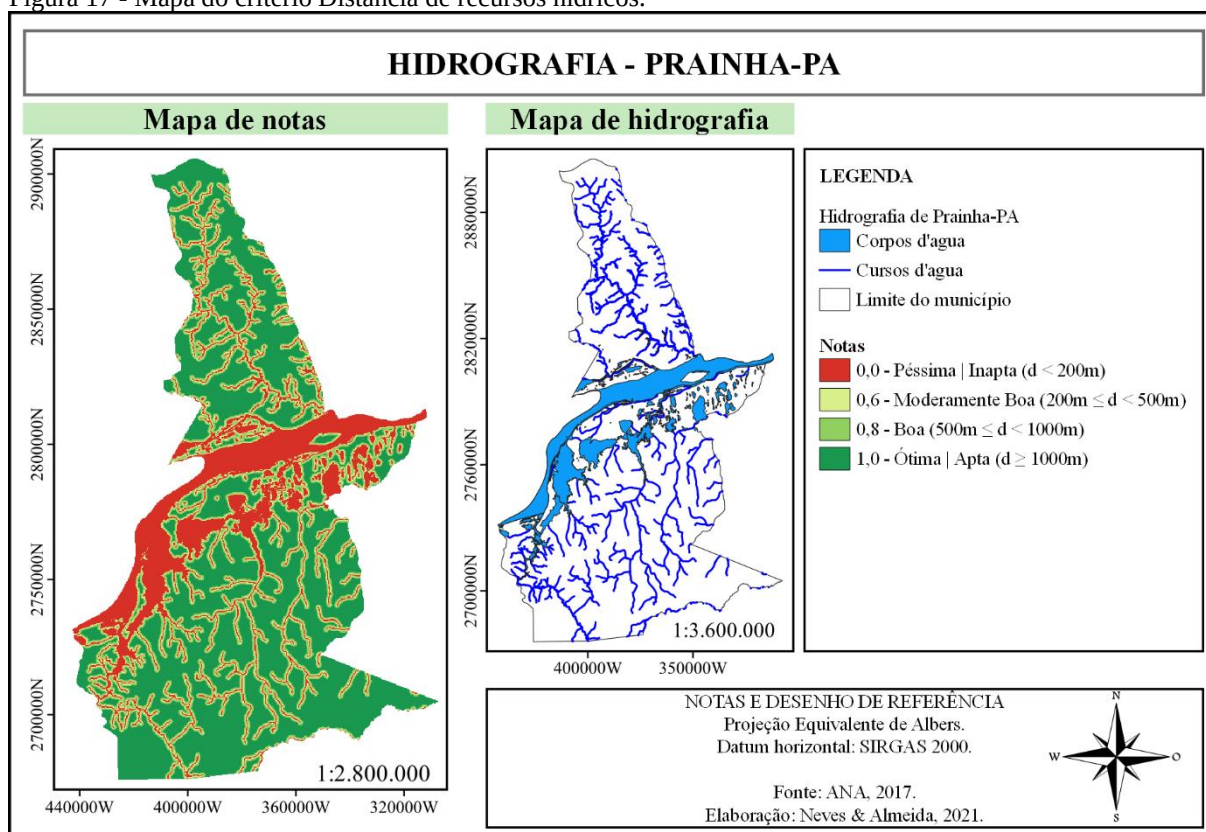
É válido mencionar que por conta dos dados utilizados para elaboração do presente mapa geológico terem sido oriundos do Mapa de geodiversidade do Estado do Pará, conteúdo produzido visando a contribuição no âmbito de políticas macrorregionais, conforme a CPRM (2010, p. 183), infere-se que a caracterização produzida no presente mapa temático pode ter sido pouco precisa para uma análise em escala municipal, podendo não ter sido tão representativa para todo o território, servindo então, apenas como um direcionamento para interpretação das características predominantes no município.

Dessa forma, sendo primordial à posteriori a realização de estudos de campo para validação dos dados e para a caracterização geológica e geotécnica dos locais, haja vista que a NBR 15849/2010 recomenda a avaliação dos riscos de poluição das águas, das condições de estabilidade e da capacidade de suporte do solo que irá receber o futuro aterro, através de técnicas para o mapeamento da superfície e de sondagens para identificar de forma adequada as características do subsolo.

4.4.7 Distância de recursos hídricos

Na Figura 17 são demonstrados os cursos hídricos superficiais presentes no município de Prainha, bem como, o mapa de notas expressando a classificação das distâncias dos recursos hídricos. As regiões na cor vermelha indicam alta proximidade aos cursos e corpos d'águas, significando a inaptidão à instalação de aterro sanitário no local; já as regiões mais distantes dos recursos hídricos são representadas em tons de verde, revelando a aptidão da área quanto ao recebimento deste empreendimento no local.

Figura 17 - Mapa do critério Distância de recursos hídricos.



Fonte: Autoras (2021).

O resultado obtido neste critério apontou que da área total do município 3.125,99 km² são áreas restritivas, correspondendo a 21,14%, visto que são áreas que não atendem à distância mínima de 200 metros de qualquer coleção hídrica ou curso d'água, conforme o recomendado pela NBR 15849:2010. No que diz respeito às regiões que se enquadraram nas classes Moderadamente boa e Boa, somadas, resultaram em 3.996,22 km², equivalendo à 27,03% do território de Prainha, conforme pode ser visto na Tabela 19.

Tabela 19 - Classes de aptidão do critério Distância de recursos hídricos, com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.

Nota	Intervalo de distância [m]	Área [km ²]	[%]
0,0	$d < 200m$	3.125,99	21,14
0,6	$200m \leq d < 500m$	1.646,54	11,14
0,8	$500m \leq d < 1000m$	2.349,68	15,89
1,0	$d \geq 1000m$	7.664,70	51,83
Total		14.786,91	100,00

Fonte: Autoras (2021).

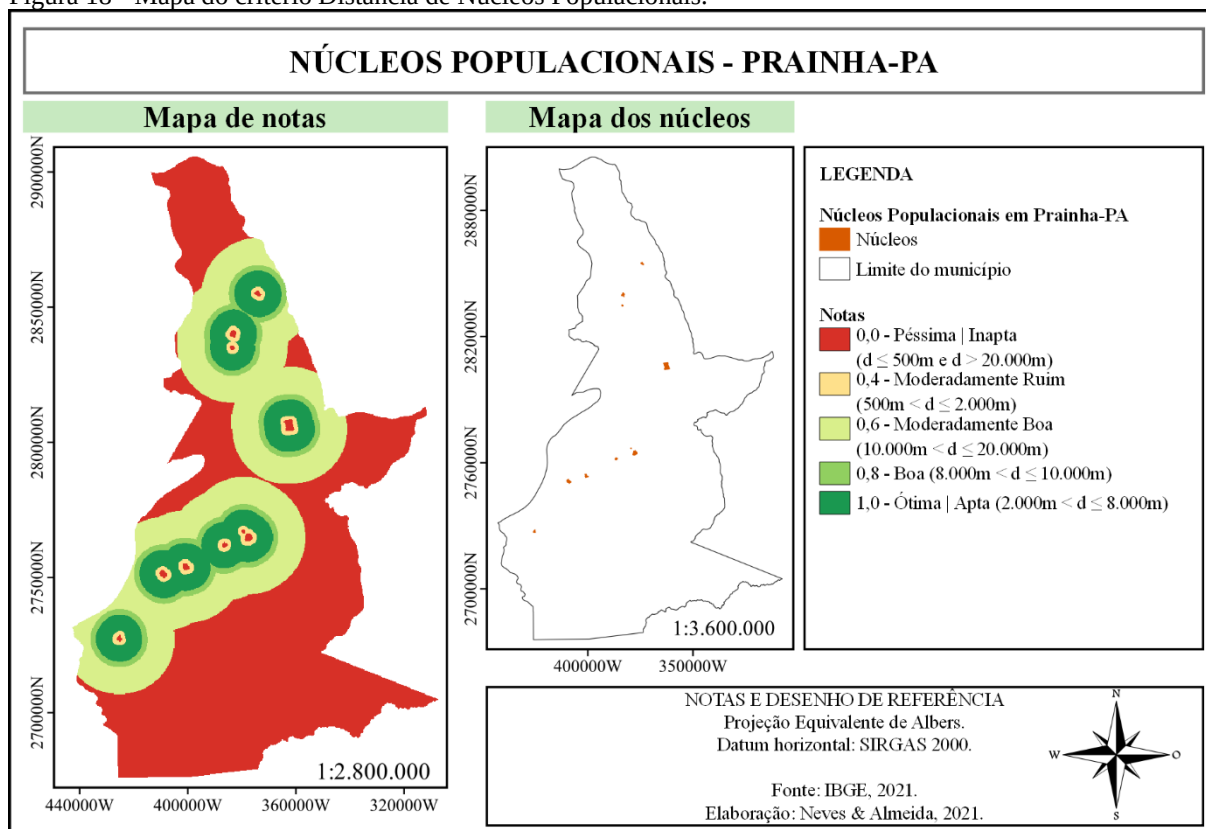
Com relação à aptidão máxima, é possível verificar que esta foi atribuída à classe de distância ≥ 1.000 metros do recurso hídrico, uma vez que, quanto mais distante o aterro sanitário situa-se dos cursos e corpos d'água menor a possibilidade de contaminação destes. Os

resultados revelaram que 7.664,70 km² do município denotam ótima aptidão à implantação de aterro sanitário, correspondendo a 51,83% do território total.

4.4.8 Distância de núcleos populacionais

Na Figura 18 pode ser observado o resultado do mapa do critério referente à distância de núcleos populacionais, no qual percebe-se claramente em vermelho as áreas tecnicamente inviáveis à implantação do empreendimento, o que corresponde a pouco mais da metade do território, com 54,94%, enquanto que as demais cores representam as áreas suscetíveis de acordo com as preferências estudadas e requeridas, que somadas representam 45,06%. Na Tabela 20 é possível conferir detalhadamente as áreas e percentuais de cada intervalo de distância.

Figura 18 - Mapa do critério Distância de Núcleos Populacionais.



Fonte: Autoras (2021).

Tabela 20 - Classes de aptidão do critério Distância de núcleos populacionais, com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.

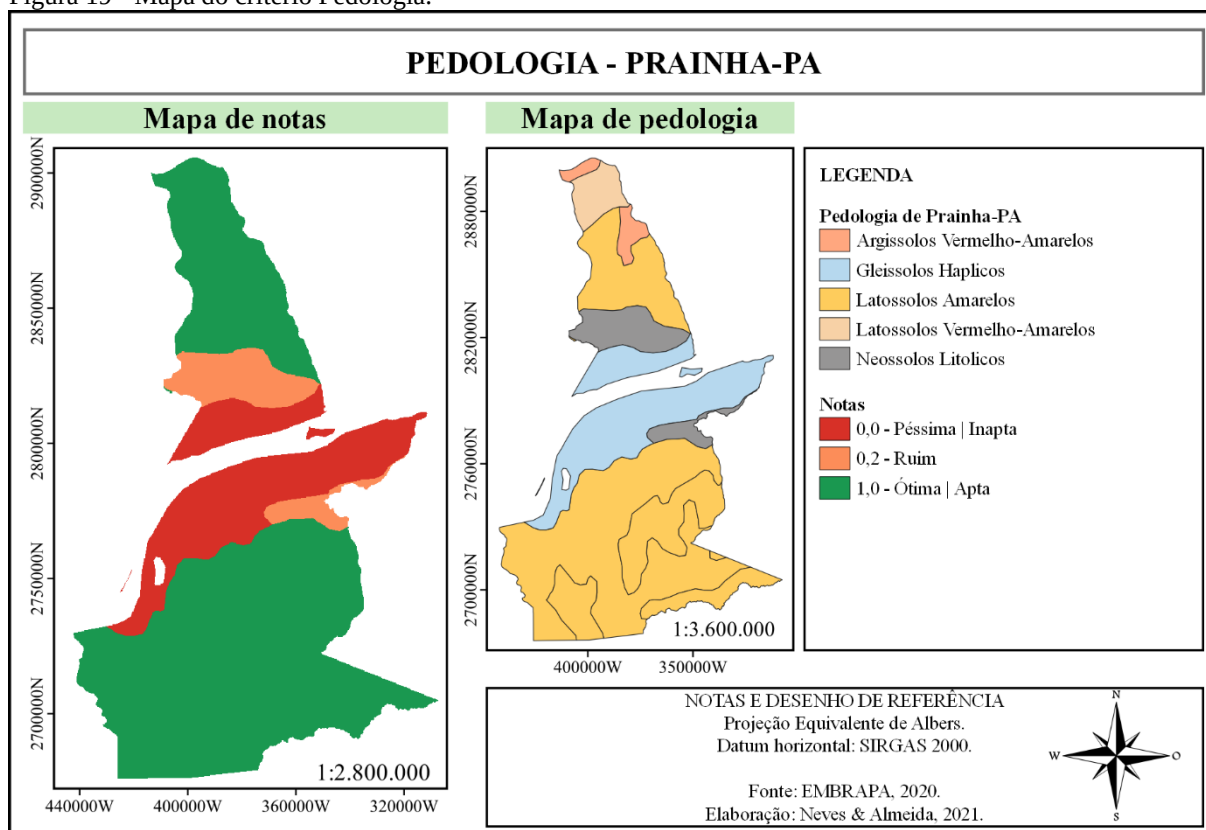
Nota	Intervalo de distância [m]	Área [km ²]	[%]
0,0	$d \leq 500\text{m}$ e $d > 20.000\text{m}$	8.123,77	54,94
0,4	$500\text{m} < d \leq 2.000\text{m}$	184,88	1,25
0,6	$10.000\text{m} < d \leq 20.000\text{m}$	4.056,18	27,43
0,8	$8.000\text{m} < d \leq 10.000\text{m}$	765,70	5,18
1,0	$2.000\text{m} < d \leq 8.000\text{m}$	1.656,38	11,20
Total		14.786,91	100,00

Fonte: Autoras (2021).

4.4.9 Pedologia

A distribuição das classes de solos no município de Prainha é mostrada no mapa da Figura 19, bem como as respectivas notas que conotam os níveis de aptidão ao empreendimento em questão.

Figura 19 - Mapa do critério Pedologia.



Fonte: Autoras (2021).

O resultado gerado apontou que 65,67% dos solos do município de Prainha foram considerados ótimos para o recebimento de aterro sanitário, enquanto que 28,10% dos solos foram considerados péssimos ou ruins por conta de suas características que não atenderam os requisitos de textura e profundidade considerados no presente estudo. Notou-se que solos com menor grau de aptidão situam-se em regiões marginais ao curso do Rio Amazonas. Na Tabela 21 pode-se conferir os percentuais de área para cada grau de aptidão.

Tabela 21 - Classes de aptidão do critério Pedologia com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.

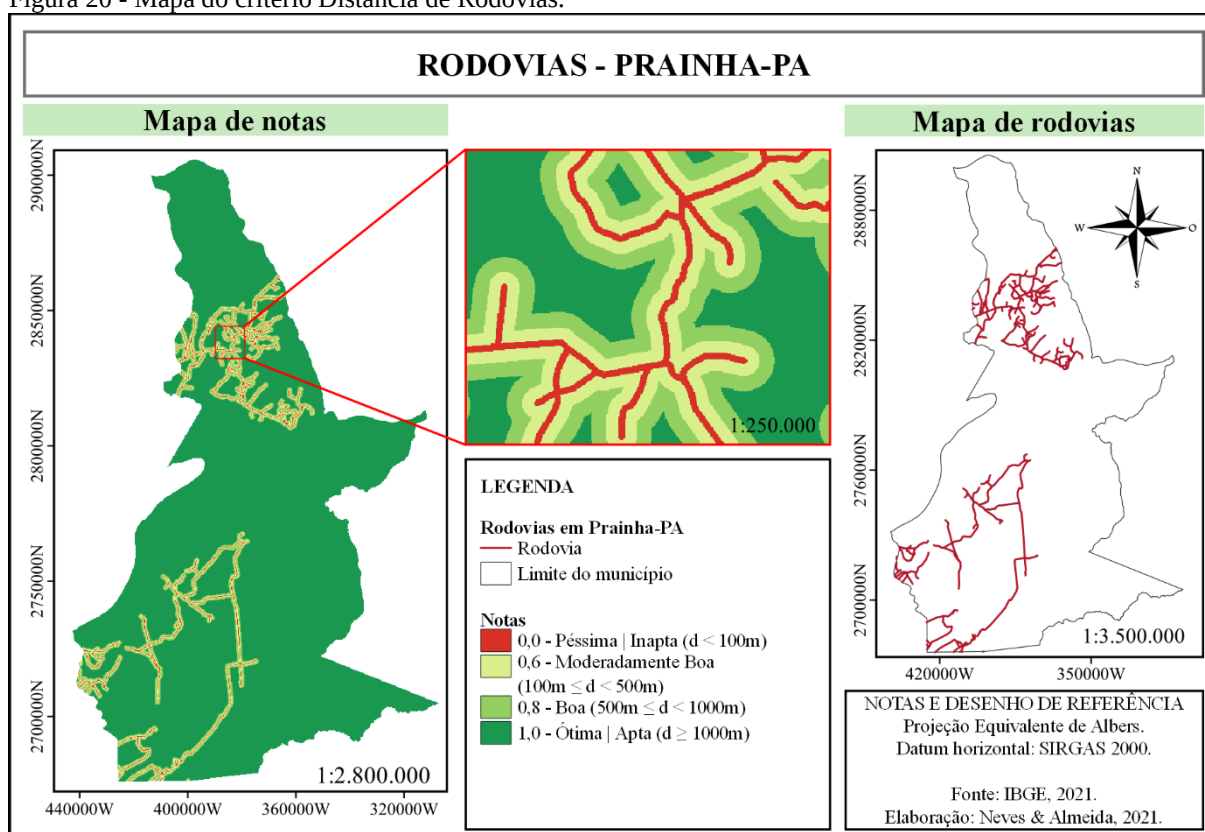
Nota	Classe de solo	Área [km²]	[%]
0,0	Gleissolos Háplicos	3.046,09	20,60
0,2	Neossolos Litólicos	1.108,87	7,50
1,0	Argilossolos vermelho-amarelos Latossolos amarelos Latossolos vermelho-amarelos	9.709,93	65,67
-	Equivalente a rio/lago	922,02	6,23
Total		14.786,91	100,00

Fonte: Autoras (2021).

4.4.10 Distância de Rodovias

A Figura 20 destaca o mapa representando as rodovias localizadas no município de Prainha-PA, bem como o mapa de notas demonstrando a classificação da distância das rodovias, no qual as notas variam de 0,0 (zero) a 1,0 (um) conforme a distância do local à rodovia. As regiões simbolizadas na cor vermelha indicam inaptidão à instalação de aterro no local, pois apresentaram proximidade às vias, uma vez que foi considerada uma distância mínima de 100 metros e nessas áreas a distância mínima não foi atendida. Já as áreas caracterizadas em tons de verde revelaram notáveis aptidões, satisfazendo a distância mínima estabelecida.

Figura 20 - Mapa do critério Distância de Rodovias.



Fonte: Autoras (2021).

Foi possível aferir que da área territorial total do município 204,60 km² apontaram restrição à instalação do aterro, equivalendo a 1,38%, que expressa distâncias menores que 100 metros. Em relação as áreas que indicaram boa aptidão, estas fazem parte das classes que apresentam distâncias maiores ou iguais à 500 metros e menores que 1.000 metros, abrangendo uma área de 793,99 km² que corresponde à 5,37% do território total do município, já as regiões que demonstraram ótima aptidão mostraram uma representatividade de 13.057,38 km² indicando 88,31% da área territorial de Prainha, conforme a Tabela 22.

Tabela 22 - Classes de aptidão do critério Distância de rodovias, com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.

Nota	Intervalo de distância [m]	Área [km ²]	[%]
0,0	$d < 100\text{m}$	204,60	1,38
0,6	$100\text{m} \leq d < 500\text{m}$	730,94	4,94
0,8	$500\text{m} \leq d < 1000\text{m}$	793,99	5,37
1,0	$d \geq 1000\text{m}$	13.057,38	88,31
Total		14.786,91	100,00

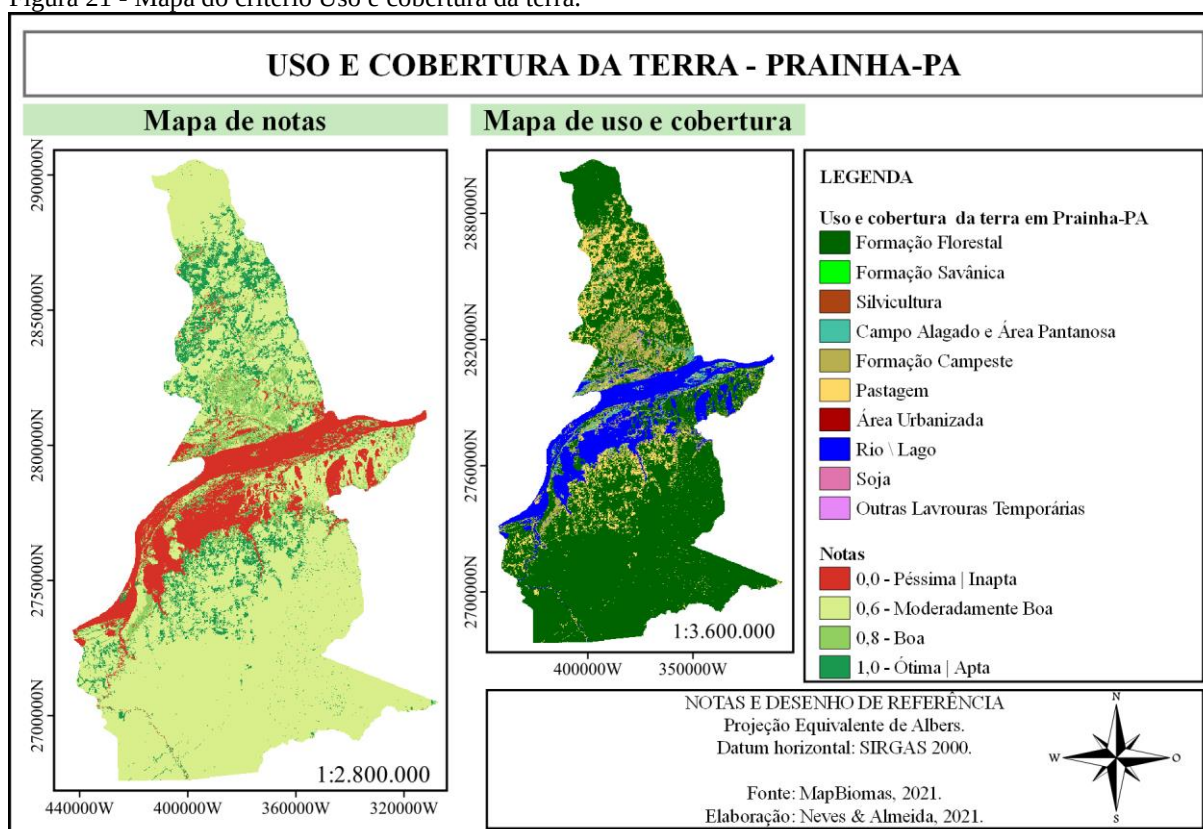
Fonte: Autoras (2021).

4.4.11 Uso e cobertura da terra

A partir do geoprocessamento e da consequente elaboração dos mapas, foram encontrados no município de Prainha dez classes de uso e ocupação da terra, sendo estas: Formação Florestal; Formação Savânica; Silvicultura; Campo Alagado e Área Pantanosa; Formação Campestre; Pastagem; Área Urbanizada; Rio/Lago; Soja, e; Outras Lavouras Temporárias.

Na Figura 21 são demonstradas as classes e o mapa de notas expressando a aptidão do território, sendo que as áreas na cor vermelha indicaram as áreas restritivas que receberam nota zero e as áreas em tons de verde, variando entre as notas 0,6 a 1,0 (um), denotaram aptidão conforme as classes Moderadamente boa à Ótima para a implantação de aterro sanitário.

Figura 21 - Mapa do critério Uso e cobertura da terra.



Fonte: Autoras (2021).

Foi possível perceber que as classes enquadradas em Moderadamente boa, que foram a Formação Florestal, a Soja e Outras Lavouras Temporárias, abrangeram grande parte do território do município, uma vez que as três somadas ocuparam uma área territorial de 10.011,89 km², representando 67,71%. Com relação as áreas que receberam nota 0,8, apontando boa aptidão à implantação de aterro sanitário, tais como Formação Savânica, Silvicultura e Formação Campestre compreenderam uma área de 1.011,97 km² correspondendo a 6,84% de cobertura (Tabela 23).

Tabela 23 - Classes de aptidão do critério Uso e cobertura da terra com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.

Nota	Classe de uso e cobertura da terra	Área [km²]	[%]
0,0	Campo Alagado e Área Pantanosa Área Urbanizada Rio / Lago	2.236,51	15,13
0,6	Formação Florestal Soja Outras Lavouras Temporárias	10.011,89	67,71
0,8	Formação Savânica Silvicultura Formação Campestre	1.011,97	6,84
1,0	Pastagem	1.526,54	10,32
Total		14.786,91	100,00

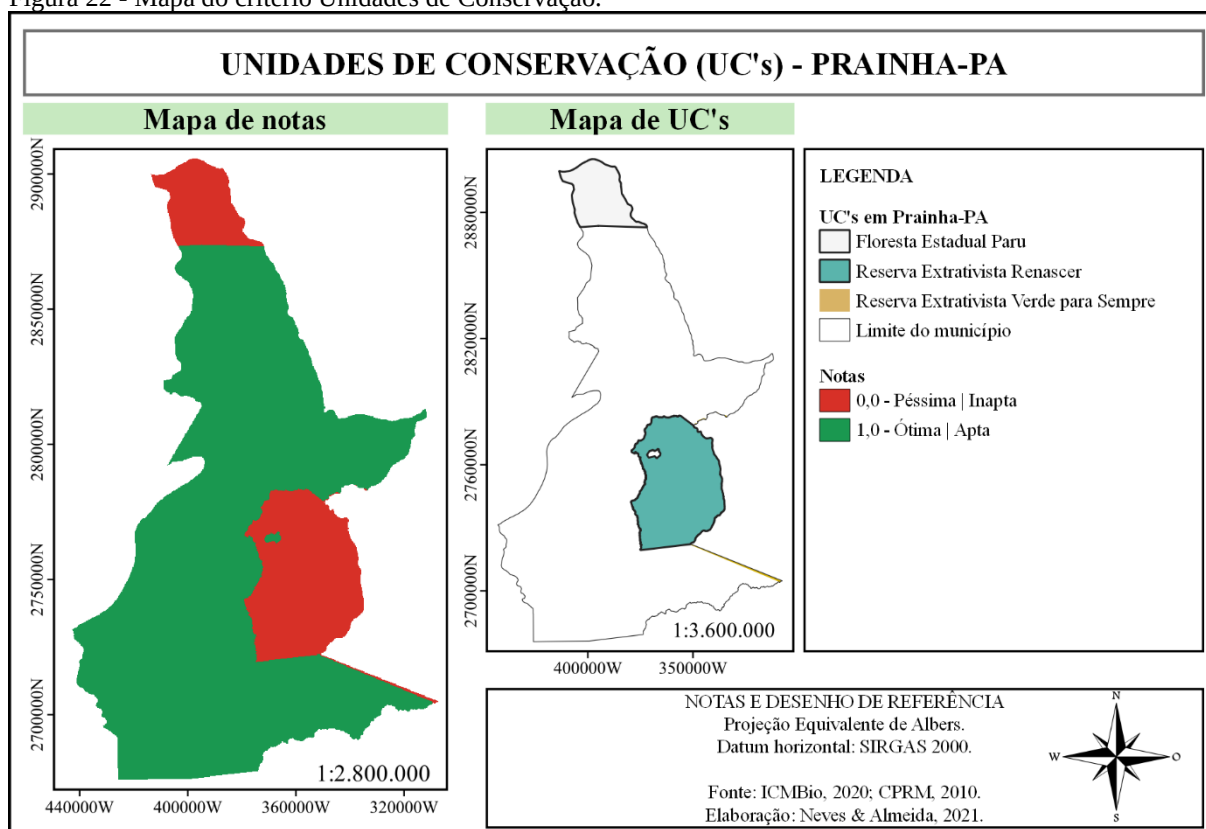
Fonte: Autoras (2021).

No que concerne às regiões do município que apresentaram aptidão Ótima, é possível observar que estas são as áreas ocupadas por pastagem, às quais foram atribuídas nota 1,0 (um), que abrangeram 1.526,54 km² representando um percentual de 10,32% da área total do município. Já as áreas restritivas, consideradas inaptas à locação de um aterro sanitário, sendo estas classes Campo Alagado e Área Pantanosa, Área Urbanizada e Rio/Lago, que somadas expressaram uma extensão de 2.236,51 km², corresponderam a um percentual de 15,13% da área territorial de Prainha-PA, como visto na Tabela 23.

4.4.12 Unidades de Conservação (UC's)

Na área territorial de Prainha foi possível verificar a presença de três Unidades de Conservação (UC's). Localizada na porção norte, encontra-se a Floresta Estadual do Paru e ao leste a Reserva Extrativista Renascer e uma pequena parte da Reserva Extrativista Verde para Sempre, conforme o mapa de UC's destacado na Figura 22.

Figura 22 - Mapa do critério Unidades de Conservação.



Fonte: Autoras (2021).

As áreas abrangidas pelas UC's foram consideradas restritivas, compreendendo 2.892,74 km² correspondendo a 19,56% da área total do município sendo representadas no mapa de notas da Figura 22 na cor vermelho, tendo em vista que conforme a Lei nº 9.985/2000 as mesmas devem ser conservadas. Já as demais áreas indicadas na cor verde representam ótima aptidão à implantação de aterro sanitário dado que não há presença de UC's nessas regiões, compreendendo 11.894, 17 km², que dizem respeito à 80,44% do território total.

4.5 Mapa de aptidão final

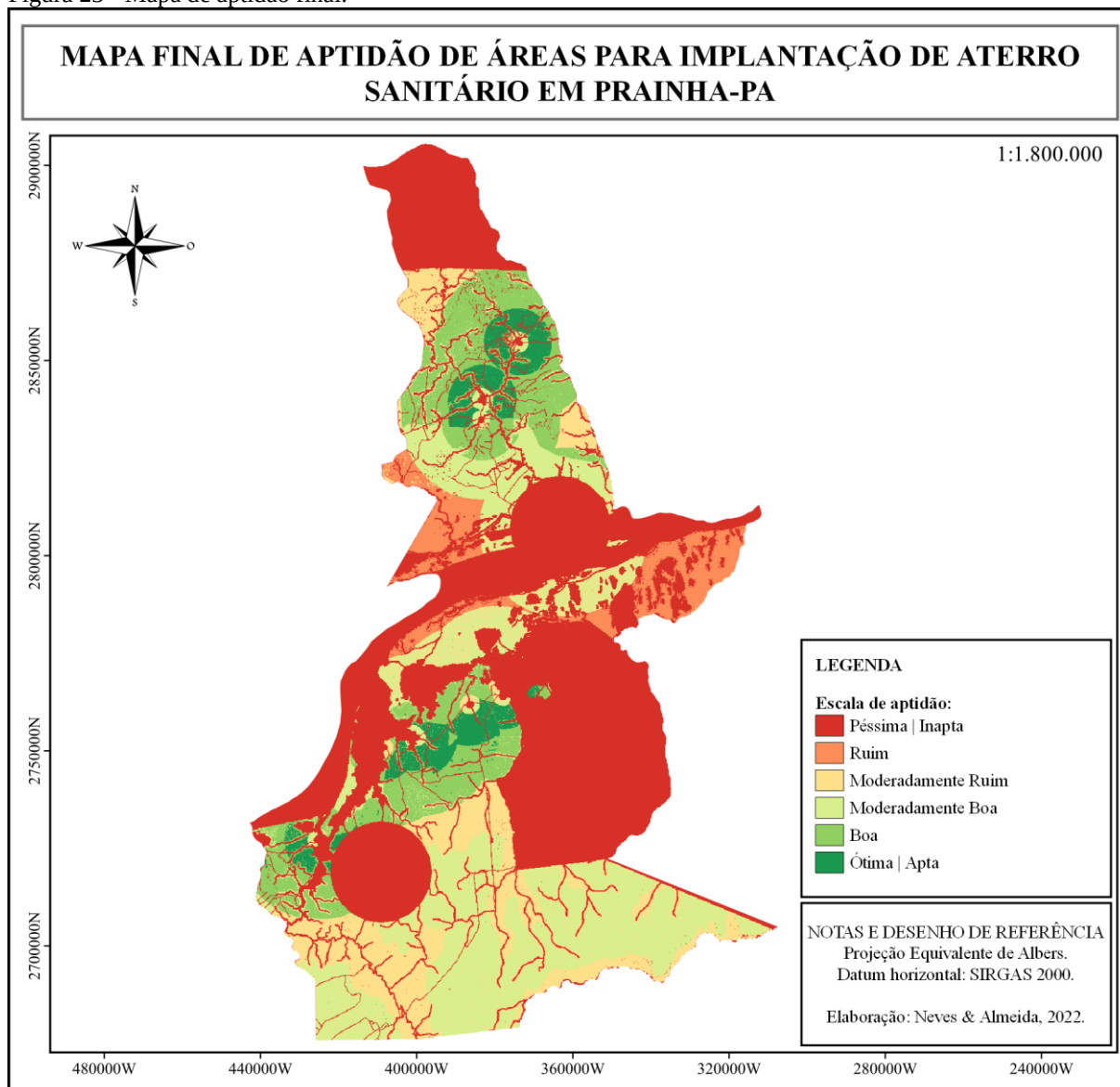
Produto do minucioso trabalho da análise multicritério, o mapa resultado aponta o grau de aptidão das áreas do município de Prainha quanto à implantação de aterro sanitário.

O mapa foi gerado a partir da união dos resultados obtidos dos critérios restritivos e dos critérios fatoriais, o que foi possível realizar por meio da álgebra de mapas em ambiente SIG. Nessa etapa do procedimento, foram utilizados os pesos obtidos no método AHP, os quais representam a contribuição de cada fator para a definição da aptidão das áreas para a instalação de aterros sanitários, sendo assim, na referida operação algébrica as camadas fatoriais foram somadas e cada uma delas foi multiplicada por seu respectivo peso, bem como as áreas restritivas foram incorporadas ao resultado.

Vale lembrar que a atribuição dos pesos aos critérios avaliados na presente pesquisa contou com participação de especialistas, e conforme suas considerações em relação à escala fundamental de Saaty (1990), usadas como dados de entrada na calculadora AHP online, o critério mais importante para o objetivo principal foi o de Distância de Núcleos Populacionais, com peso de 0,446, seguido da Hidrografia, com peso de 0,152, sendo o terceiro e o quarto mais importantes, a Pedologia e a Geologia, com pesos de 0,141 e 0,115, respectivamente. Os fatores com menor peso foram: Distância de Rodovias, peso 0,034; Uso e cobertura da terra, peso 0,043, e; Declividade, peso 0,069.

Observa-se que as áreas foram, por fim, segregadas em seis classes de aptidão com suas respectivas notas que variaram de 0,0 (zero) a 1,0 (um), sendo elas: Péssima | Inapta (0,0); Ruim (0,2); Moderadamente Ruim (0,4); Moderadamente Boa (0,6); Boa (0,8), e; Ótima | Apta (1,0). Tal resultado foi possível por meio da reclassificação, dando origem ao mapa final, no qual foi possível identificar o grau de aptidão das áreas no município de Prainha quanto à implantação de aterro sanitário, conforme a Figura 23.

Figura 23 - Mapa de aptidão final.



Fonte: Autoras (2022).

O resultado final apontou que as áreas consideradas ótimas tiveram uma representatividade de 3,80% do território – o que equivale a 562,57 km² – e que boa parte do município de Prainha, 46,40%, compreende áreas que não podem ser utilizadas para fins de disposição final de resíduos sólidos, em conformidade com as legislações vigentes. Na Tabela 24 é possível conferir a quantidade de área para cada classe.

Tabela 24 - Classes de aptidão, com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.

Classe	Área [km²]	Área [ha]	Representatividade [%]
Péssima Inapta	6.861,78	686.178,00	46,40
Ruim	701,87	70.187,00	4,75
Moderadamente Ruim	1.917,43	191.743,00	12,97
Moderadamente Boa	3.119,87	311.987,00	21,10
Boa	1.623,39	162.339,00	10,98
Ótima Apta	562,57	56.257,00	3,80
TOTAL	14.786,91	1.478.691,00	100,00

Fonte: Autoras (2022).

No presente estudo, considerou-se que as áreas em níveis mais satisfatórios de aptidão foram aquelas classificadas em Moderadamente Boa, Boa e Ótima, que aparecem no mapa em tons de verde e somadas correspondem a 35,88% do município de Prainha.

Ressalta-se que das regiões apontadas em níveis satisfatórios de aptidão, apenas as áreas situadas ao norte, em relação ao Rio Amazonas, seriam ideias para a implantação do aterro previsto neste trabalho, em virtude da proximidade ao contingente que será atendido. Além disso, salienta-se ainda que as áreas ao sul não foram eliminadas porque convinha apresentar todas as áreas aptas frente aos demais critérios. Neto (2011), reforça que a distância da fonte geradora dos resíduos é um fator de grande relevância, pois os custos de transporte são inerentes ao empreendimento e podem inviabilizar a área escolhida.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho objetivou realizar a verificação da aptidão de áreas para implantação de aterro sanitário no município de Prainha com o auxílio de levantamentos de informações da área de estudo, dentre esses, dados geoespacializados que foram tratados e manipulados com o uso do geoprocessamento.

A crescente geração de resíduos sólidos no país e o insipiente avanço na adequabilidade da disposição final justificam a relevância deste trabalho que visou contribuir com a administração pública para o planejamento e o gerenciamento dos resíduos sólidos municipais, haja vista a magnitude, complexidade e a alta demanda de tempo e recursos para realização de estudos de seleção de áreas ambientalmente adequadas para implantação de aterro sanitário. Além disso, notou-se a carência de trabalhos acadêmicos voltados para a referida área de estudo.

A aplicação de geotecnologias na análise multicritério mostrou-se eficaz, visto que apontou de forma clara a aptidão das áreas para a disposição adequada de resíduos sólidos, em resposta a uma análise de parâmetros complexos, alcançando os objetivos propostos na pesquisa. Dessa forma, espera-se que os resultados contribuam para orientar na tomada de decisão, auxiliando na seleção de quais as alternativas mais adequadas do ponto de vista ambiental, operacional e socioeconômico.

Cabe mencionar que o levantamento de dados de entrada suficientes para avaliar a adequabilidade das áreas diante dos critérios em avaliação, constituiu-se em uma das etapas mais exaustivas do trabalho, tendo em vista que por vezes as informações não foram encontradas nos bancos de dados esperados, ocasionando a elevada demanda por tempo para explorar distintas possibilidades de busca. Apesar disso, foi possível reunir todos os elementos requeridos.

Além disso, percebe-se a escassez no fornecimento de mapeamentos em escalas mais detalhadas para a região, que ofereçam um nível mais aprofundado de investigação. Acredita-se que a melhoria desse aspecto seria fundamental para o fomento de ações de planejamento do território que contribuam para o desenvolvimento sustentável da região e também ofereça subsídio para elaboração de pesquisas futuras semelhantes à presente, mas que proporcionem resultados ainda mais refinados.

Diante do exposto, deve ser notado que a classificação quanto à aptidão das áreas apresentadas neste trabalho consiste em uma etapa preliminar de avaliação, sendo primordial a realização de estudos científicos mais aprofundados para validação do resultado e efetiva implantação do empreendimento. Além disso, faz-se necessária a realização de outros

levantamentos como estudos geotécnicos, investigação de recursos hídricos subterrâneos, geomorfologia, entre outros, que devem ser analisados em etapa posterior à de geoprocessamento, realizados *in loco*, a partir de trabalhos de campo e ensaios laboratoriais para a tomada de decisão definitiva.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil: 2020**. São Paulo: Porta Romana Studio, 2020. 51 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Base Hidrográfica Ottocodificada**. 2017. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/0c698205-6b59-48dc-8b5e-a58a5dfcc989>>. Acesso em 15 de ago. de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Ministério da Saúde. **Manual de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 182 p. Disponível em: <https://www.anvisa.gov.br/servicosade/manuais/manual_gerenciamento_residuos.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 222 de 28 de março de 2018**. Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2018/rdc0222_28_03_2018.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2022.

ALMEIDA, Simone Nóbrega Ribeiro. **Aplicação de geoprocessamento na identificação de áreas para implantação de aterro sanitário no Município de Pombal – PB**. 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal – PB, 2016.

AQUINO, José Nunes de. **Uso de técnicas de modelagem e análise espacial na seleção de áreas ideais para construção de aterros sanitários em regiões metropolitanas densamente povoadas**. 2018. 73 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acesso em 17 de ago. de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8.419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.849**: Resíduos sólidos urbanos – Aterros Sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro, ABNT, 2010.

BARROS, Regina Mambeli. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2012. 374 p.

BASTOS, Therezinha Xavier; PACHÊCO, Nilza Araújo. **Frequências de Chuva no Estado do Pará no Plano Microrregional**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2005, 26p.

BENATTI, José Heder. **Várzea e as populações tradicionais: a tentativa de implementar políticas públicas em uma região ecologicamente instável**. In: ALVES, Fábio (org.). A função socioambiental do patrimônio da União na Amazônia. Brasília: Ipea, 2016. p. 17 – 29.

BRASIL. Acesso à Informação. **Pedido 54800001129201533 - Shapefile das Comunidades Remanescentes de Quilombos (CRQS) atualizada até a Portaria nº 84, de 8 de junho de 2015**. 2018. Disponível em: <<http://www.consultaesic.cgu.gov.br/busca/dados/Lists/Pedido/Item/display.aspx?List=0c839f31-47d7-4485-ab65-ab0cee9cf8fe&ID=1096524&Web=88c5f44-8cfe-4964-8ff4-376b5ebb3bef>>. Acesso em: 30 out. 2021.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Diário Oficial da União: Brasília, DF 5 de out. 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 18 out. 2021.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de conservação rodoviária**. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2005. 564 p.

BRASIL. **Lei nº 5.887, de 9 de maio de 1995**. Dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente e dá outras providências. Palácio do Governo do Estado do Pará, 1995.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 1981.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2000.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2010

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 4, de 09 de outubro de 1995**. Estabelece as Áreas de Segurança Portuária - ASAs. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 1995.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução 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. Diário Oficial da União: Brasília, DF: 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES)**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/conesan/sites/253/2020/11/pnrs_2020.pdf>. Acesso em: 25 de ago. de 2021.

BRASIL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMA). **Resolução COEMA nº 162, de 02 de fevereiro de 2021**. Estabelece as atividades de impacto ambiental local, para fins de licenciamento ambiental, de competência dos Municípios no âmbito do Estado do Pará, e dá outras providências. Plenário do Conselho Estadual do Meio Ambiente – COEMA, 2021.

CÂMARA, Gilberto; QUEIROZ, Gilberto Ribeiro de. **Arquitetura de sistemas de informação geográfica**. Cap. 3, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap3-arquitetura.pdf>>. Acesso em: 17 de set. de 2021.

CÂMARA, Gilberto. **Sistemas De Informação Geográfica para Aplicações Ambientais e Cadastrais: Uma Visão Geral**. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. sn, 1998. p. 59-82. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/analise.pdf>>. Acesso em: 05 de outubro de 2021.

CARDOZO, Larissa Sell. **O geoprocessamento no processo de tomada de decisão: relato sobre os estudos técnicos em meio ambiente do MPSC**. 2018. 54 p. Relatório de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (CNM). **Aterro Controlado**. 2015. Disponível em: <<https://www.cnm.org.br/areastecnicas/itemdicionario/aterro-controlado>>. Acesso em: 08 de ago. de 2021.

COSTA, Helder Gomes. **Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão**. Niterói, RJ: 2002. 104p. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2004/pdf/arq0279.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2022.

CPRM (Brasil). **Geodiversidade**. Mapa de geodiversidade do Estado do Pará. 1 mapa vetorial. Escala 1:1.000.000. 2010. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/14705>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

CPRM (Brasil). **Geodiversidade do Estado do Pará**. Belém: CPRM, 2013. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/14705>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

DOMINGUES, Cristiane Vaz; SIMÕES, Luciana Lessa. O SIG na gestão pública: análise crítica de um caso bem-sucedido – desafios e perspectivas. **Exacta**. São Paulo, v. 5, n. 2, p. 353-360, jul./dez. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Mapa de solos do Brasil**. 2020. 1 mapa vetorial. Escala: 1:5.000.000. Disponível em: <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_solos_5m_20201104>. Acesso em: 23 out. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. - Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1107206/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>>. Acesso em: 25 out. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Solos do estado do Pará.** In: BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S.; VIEGAS, I. de J. M. (Ed.). *Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará.* 2. ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1127233/solos-do-estado-do-para>>. Acesso em 19 de ago. de 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Zoneamento ecológico-econômico da zona Oeste do Estado do Pará.** Diagnóstico socioambiental, v. 1, 1ª ed., 2010. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/880836/zee-zoneamento-ecologico-econômico-da-zona-oeste-do-estado-do-para>>. Acesso em: 19 de ago. de 2021.

FELICORI, T. C. *et al.* Identificação de áreas adequadas para construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. **Eng Sanit Ambient**, Rio de Janeiro, v. 21, n.3, p. 547-560, jul/set. 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/trSJKN7NNBqYXXdVs9H49Lv/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 23 dez. 2021.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto.** 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 100 p.

FOLLETTTO, Flávio Aguiar. **Uso de geotecnologias para avaliação de áreas aptas à disposição final de resíduos sólidos urbanos na bacia hidrográfica do rio dos Sinos.** 2016. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016.

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS (FAPESPA). **Estatísticas Municipais Paraenses: Prainha.** Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação. Belém, 2016. 60f. Disponível em: <<http://www.fapespa.pa.gov.br/upload/Arquivo/anexo/977.pdf?id=1536698634>>. Acesso em 18 de ago. de 2021.

FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO (FUNAI). **Terras Indígenas.** 2021. 1 mapa vetorial. Escala não informada. Disponível em: <<https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas>>. Acesso em: 30 out. 2021.

GOEPEL, Klaus D. **AHP Priority Calculator**, 2022. AHP Criteria. Disponível em: <<https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

GOEZ, Lailde Linhares. **Avaliação de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Senador Canedo em Goiás.** 2016. 168 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde) - Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Bases Cartográficas Contínuas.** 2021. Disponível em: <<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa223417>>. Acesso em 22 de out. de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Base de Informações sobre os Povos Indígenas e Quilombolas.** 2019. 1 mapa vetorial. Escala 1:250.000. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do->>

territorio/tipologias-do-territorio/27480-base-de-informacoes-sobre-os-povos-indigenas-e->. Acesso em: 28 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE Cidades**. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/prainha/panorama>>. Acesso em 17 de ago. de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha de setores censitários do Pará**. 2021. 1 mapa vetorial. Escala 1:5.000 a 1:250.000. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 28 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manuais Técnicos em Geociências - Acesso e uso de dados geoespaciais**. 2019. n.14. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 143 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101675.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2021.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Limites das Unidades de Conservação Federais**. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/servicos/geoprocessamento/mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-unidades-de-conservacao-federais>> Acesso em 16 de nov. de 2021.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). **Bancos de Dados - Patrimônio Arqueológico**. 2021. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1701/>> Acesso em 08 de nov. de 2021.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). **Fototeca Sítios Arqueológicos**. 2014. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/fototeca/detalhes/17>>. Acesso em 08 de nov. de 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Acervo Fundiário - Áreas de Quilombolas**. 2015. 1 mapa vetorial. Escala não informada. Disponível em: <https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py>. Acesso em: 30 out. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Banco de dados geomorfológicos do Brasil – TOPODATA. **Altitude e Declividade do terreno a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE)**. 2011. 4 cenas matriciais. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 2021.

JUNK, Wolfgang J.; PIEDADE, Maria Teresa Fernandes; WITTMANN, Florian; SCHONGART, Jochen. **Várzeas amazônicas: Desafio para um manejo sustentável**. Manaus: Editora do INPA, 2020. 310 p. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/36480/3/manejo_sustent%C3%A1vel_das_varzeas.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2022.

KNECHTEL, Maria do Rosário. **Metodologia da pesquisa em educação: uma abordagem teórico-prática dialogada**. Curitiba: Intersaberes, 2014.

LOPES, Mariana Dantas; SOUZA, Renata Pereira de. **Identificação de áreas potenciais para implantação de aterro sanitário no Distrito de Floresta do Sul em Presidente Prudente/SP**. 2011. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2011.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas – Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**. 2021. Disponível em: < <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org> >. Acesso em 08 de nov. de 2021.

MARTINS, Patrícia de Almeida. **Mapeamento das áreas suscetíveis a deslizamentos no perímetro urbano de Igrejinha – RS**. 2013. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MELO, Luciano de. **Seleção e hierarquização de áreas para implantação de aterro sanitário, utilizando geoprocessamento e lógica “fuzzy”: aplicação na região metropolitana de Aracaju (SE)**. 2008. 161 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

MODA, Raissa Franco. **Identificação de áreas potenciais para implantação de aterro sanitário na região metropolitana de Londrina/PR**. 2017. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

MONTAÑO, Marcelo *et al.* Integração de critérios técnicos, ambientais e sociais em estudos de alternativas locais para implantação de aterro sanitário. 2012. **Eng Sanit Ambient**, v.17, n.1, p. 61-70, jan/mar. 2012.

MONTEIRO, José Henrique Penido *et al.* **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

NOVO, Evelyn M. L. de Moraes. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 388 p.

OLIVEIRA NETO, José Terra de. **Determinação de áreas favoráveis à implantação de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos para o município de Piumhi-MG**. Pampulha, 2011. 43 p.

PADILHA, Ana Flávia; GOBATTO, Débora Regiane; BATISTELLA, Danielli. **Estimativa da aptidão agrícola de terras por álgebra de mapas**. I Congresso Nacional de Geografia Física / XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Aplicada. Campinas, 2017.

PARÁ. Instituto de Terras do Pará (ITERPA). **Territórios Indígenas - Formulário de pesquisa de indígenas**. Disponível em: < <http://portal.iterpa.pa.gov.br/povos-indigenas/> >. Acesso em: 30 out. 2021.

PARÁ. Instituto de Terras do Pará (ITERPA). **Territórios Quilombolas Titulados**. Disponível em: < <http://portal.iterpa.pa.gov.br/quilombolas/> >. Acesso em: 30 out. 2021.

PARÁ (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente; Ministério do Meio Ambiente e Recursos Renováveis. **Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Pará – Relatório Síntese**. 2014. 256 p. v.1.

PERRONI, Henrique Pisa. **Contribuição metodológica para análise preliminar de potenciais áreas para aterro sanitário com auxílio do software QGIS – Estudo de Caso: Município de Vargem Grande do Sul – SP**. Março de 2021. 185 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Conformidade Ambiental) – Pós-Graduação Lato Sensu Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais, Escola Superior da CETESB, São Paulo, 2021.

PHILIPPI JR, Arlindo; ROMÉRO, Marcelo de Andrade; BRUNA, Gilda Coller (ed.). **Curso de Gestão Ambiental**. 2. ed. atual e ampl. Barueri, SP: Manole, 2014. 1250 p.

PIMENTA, Lianne Borja; BELTRÃO, Norma Ely Santos; GEMAQUE, Amanda Madalena da Silva; TAVARES, Paulo Amador. Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. **Interações**, Campo Grande, MS, v. 20, n. 2, p. 407-420, abr./jun. 2019.

PIROLI, Edson Luís. **Introdução ao geoprocessamento**. Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos, 2010. 46 p.

PRINA, Bruno Zucuni. **Geotecnologias aplicadas no mapeamento das áreas de inundação do perímetro urbano de Jaguari/RS**. 2015. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2013.

QUADROS, Adriano; AUDIBERT, Jorge Luiz; FERNANDES, Fernando. Decaimento das emissões de biogás após um ano do encerramento de um aterro controlado de uma cidade de 500.000 habitantes. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 39, n. 1, p. 61-68, jan./jul.2018.

RODRIGUES, Washington José Monteiro. **Dimensionamento de um aterro sanitário para quatro cidades paraibanas**. 2019. 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário de João Pessoa - UNIPÊ. João Pessoa, 2019.

ROSA, Roberto. **Introdução ao geoprocessamento**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, Laboratório de geoprocessamento, 2013. 142 p.

SAATY, Thomas L. **Decision making with the analytic hierarchy process**. Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1, 2008. Disponível em: <<https://www.rafikulislam.com/uploads/resources/197245512559a37aadea6d.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2022.

SAATY, Thomas L. **How to make a decision: the analytic hierarchy process**. European Journal of Operational Research, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037722179090057I>>. Acesso em: 03 jan. 2022.

SAMIZAVA, Tiago Matsuo. SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, n. 60/01, 43-55, abr. 2008.

SANTAELLA, Sandra Tédde *et al.* **Resíduos sólidos e a atual política ambiental brasileira**. Fortaleza: UFC / LABOMAR / NAVE, 2014. 232 p.

SANTOS, Alexandre Rosa dos. **Aula 15 - Sistema Online para a Aquisição dos Pesos do Método AHP Proposto por Saaty (1977)**. 1 vídeo (17 min). Publicado pelo canal Mundo da Geomática, 2020. Disponível em: <<https://youtu.be/v42knUhz42g>>. Acesso em: 02 dez. 2021.

SANTOS, Juliana Vieira. **A gestão dos resíduos sólidos urbanos: um desafio**. 2009. 271 f. Tese (Doutorado em Direito do Estado) - Faculdade de Direito do Largo São Francisco da Universidade de São Paulo, 2009.

SANTOS, Rafa. Decisão obriga Iphan a atualizar cadastro nacional de sítios arqueológicos. **Revista Consultor Jurídico Online**, 17 abr. 2020. Disponível em: <<https://www.conjur.com.br/2020-abr-17/decisao-obriga-iphan-atualizar-cadastro-nacional-sitios>> Acesso em 10 dez. de 2021.

SCHMIDT, Tanara. **Seleção de área e dimensionamento de aterro sanitário para o consórcio público intermunicipal para assuntos estratégicos do G8 - CIPAE G8**. 2016. 146 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Centro Universitário UNIVATES. Lajeado, 2016.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (SNSA) (org.). **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento: nível 2**. Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 120 p.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (SNSA). **Termo de Referência Técnico: Execução dos estudos ambientais preliminares, elaboração do projeto básico e executivo completo do aterro sanitário**. Brasília, DF: MCID, 2011. p. 25. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/15_TRProjRSUAterro_Completo2010_2011.pdf>. Acesso em: 21 out. 2021.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Repositório Institucional de Geociências (RIGeo) - SIG de geodiversidade**. 2010. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14705>> Acesso em 18 de ago. de 2021.

SILVA, Ardemirio de Barros. **Sistema de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003. 232 p.

SILVA, Jorge Xavier da; ZAIDAN, Ricardo Tavares (org.). **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. 366 p.

SILVA, Marcus Vinicius Silva da. **Identificação e seleção de áreas potenciais à implantação de aterro sanitário no município de Castanhal-PA, através do uso de Sistema de Informações Geográficas**. 2019. 101 p. Trabalho de Conclusão de Curso

(Engenharia Cartográfica e Agrimensura) – Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2019.

SILVA, Roterdan Moura da; BELDERRAIN, Mischel Carmen Neyra. **Considerações sobre métodos de decisão multicritério**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). 2005. 7 p.

TINOCO, Adelson Luiz Araújo; COTTA, Rosangela Minardi Mitre. **Noções de Demografia e Estimativa de Populações**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1990. 16p.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

TRESSOLDI, M.; CONSONI, A. J. **Disposição de Resíduos**. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Eds.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE, 1998. Cap. 21, p. 343-360.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ (UFPA). Instituto de Ciências Sociais Aplicadas. **Relatório Analítico do Território do Baixo Amazonas – Pará**. Belém, agosto de 2012. Disponível em: < <http://sit.mda.gov.br/download/ra/ra018.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2021.

VILHENA, André (coord.). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4. ed. São Paulo: CEMPRE, 2018. 316 p. Disponível em: <https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf>. Acesso em: 05 de set. de 2021.