



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

BRUNA DE ARAÚJO ALMEIDA  
LARISSA GRASIELLY VIEIRA CANTÃO

**SELEÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA ATERROS SANITÁRIOS NOS  
MUNICÍPIOS DE TUCURUÍ E BREU BRANCO – PA UTILIZANDO TÉCNICAS DE  
GEOPROCESSAMENTO**

TUCURUÍ  
2021

BRUNA DE ARAÚJO ALMEIDA  
LARISSA GRASIELLY VIEIRA CANTÃO

**SELEÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA ATERROS SANITÁRIOS NOS  
MUNICÍPIOS DE TUCURUÍ E BREU BRANCO – PA UTILIZANDO TÉCNICAS DE  
GEOPROCESSAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
para obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Sanitária e Ambiental pela  
Universidade Federal do Pará.

Orientadora: Profa. Dra. Aline Furtado  
Louzada

Coorientadora: Profa. Msc. Raisal Rodrigues  
Neves

TUCURUÍ

2021

BRUNA DE ARAÚJO ALMEIDA  
LARISSA GRASIELLY VIEIRA CANTÃO

**SELEÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA ATERROS SANITÁRIOS NOS  
MUNICÍPIOS DE TUCURUÍ E BREU BRANCO – PA UTILIZANDO TÉCNICAS DE  
GEOPROCESSAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado  
como requisito parcial para obtenção de grau  
Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental,  
pela Universidade Federal do Pará.

Data de aprovação: 21/04/2021

Conceito: Excelente

**Banca Examinadora:**

---

Profª. Dra. Aline Furtado Louzada  
Orientadora – FAESA/UFPA

---

Profª. Me. Raisia Rodrigues Neves  
Co-orientadora – FEC/UFPA

---

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

---

Profª. Dra. Aline Christian Pimentel Almeida  
Examinador Externo – FAESA/UFPA

## AGRADECIMENTOS

Eu, Bruna de Araújo Almeida, agradeço imensamente a Deus por essa conquista. Agradeço a Deus pela força para não desistir e pelo ânimo para continuar e encontrar em uma profissão uma inspiração.

Agradeço a todos os professores e profissionais que passaram por esse ciclo, em especial aqueles que me ajudaram, me impulsionaram e inspiraram, e em nome de todas essas pessoas, deixo o nome dos meus amigos Davi e Marcelo, e das nossas orientadoras Aline e Raísa, por quem serei eternamente grata!

Agradeço a Deus pelos amigos que ele me deu nessa jornada, em especial a minha amiga Denise que entrou comigo, mas que seguiu um novo ciclo, ao meu amigo Marcos que se tornou um irmão, e a minha amiga e dupla desse trabalho, Larissa, por tudo!

Dedico essa conquista como forma de agradecimento ao meu maior amor, minha base e o motivo por qual eu me dedico em tudo, minha família, e aqui estendo a minha esposa, que foi incrivelmente parceira em toda essa jornada. Somente gratidão! É necessário sempre acreditar que o sonho é possível!

Eu, Larissa Grasielly Vieira Cantão, agradeço primeiramente a Deus por mais uma conquista alcançada, pois em incontáveis vezes, Ele me deu ânimo, coragem e determinação para enfrentar os desafios que encontrei em minha jornada. A minha dupla Bruna, por todo o companheirismo não só em nosso trabalho, mas em toda a graduação.

A minha família, em especial aos meus pais, Simone e Josué, e ao meu irmão Gabriel. Sem eles, eu não teria conseguido chegar até aqui. Neles eu encontrei apoio e acolhimento em todos os meus dias de estudos e, saber o quanto eles se orgulham de mim, me deu segurança para seguir adiante sempre com muito esforço e dedicação.

A todos os meus professores que contribuíram de alguma forma para que esse momento se concretizasse. Acredito que nós somos a soma dos ensinamentos daqueles que passaram pelo nosso caminho, em especial as nossas orientadoras Aline e Raísa, por toda a atenção e paciência que tiveram conosco e com o desenvolvimento do nosso trabalho.

A minha melhor amiga Caroline, pois mesmo não estando perto fisicamente, sempre esteve presente fazendo com que eu acreditasse em mim e no meu potencial.

## RESUMO

Os problemas ambientais oriundos dos resíduos sólidos e seu descarte inadequado vêm se agravando gradativamente com o aumento do consumo e com o esgotamento das áreas para disposição de resíduos. Dessa forma, no Brasil desde a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos em 2010, a substituição dos lixões por aterros sanitários tornou-se uma obrigação para as administrações públicas. Os municípios deverão adotar um planejamento criterioso para definir o local onde será implantado o aterro sanitário, por meio da adoção de critérios restritivos de caráter técnico, ambiental, social e econômico. Tendo em vista a grande quantidade de resíduos sólidos descartados nos lixões a céu aberto, contaminando o solo, as águas e o ar, observou-se a necessidade de fazer um estudo para melhoria e adequação da disposição final desses resíduos. Nesse sentido, o presente trabalho buscou selecionar áreas adequadas para implantação de aterro sanitário nos municípios de Tucuruí e Breu Branco, no estado do Pará. No entanto, encontrar áreas adequadas para a implantação de um aterro sanitário não é tarefa fácil, por ser uma medida ambientalmente apropriada, a mesma possui diversos critérios para sua viabilidade tanto econômica, social, ambiental e política. Para tal, a metodologia utilizou conceitos dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na seleção das áreas adequadas, e dessa maneira, foram combinadas as técnicas de análise multicritério em conjunto com o SIG, para examinar os critérios restritivos e escalonados. O resultado materializa-se em mapas que fornecem as características a serem consideradas nas análises e, por fim, do cruzamento destas, as indicações e seleção das melhores áreas para disposição final dos resíduos. Os municípios apresentaram um cenário bastante restritivo para a implantação de aterros e o mapa de áreas potenciais, mostrou 19 áreas excelentes para receber aterros sanitários. Por fim, o estudo mostrou que o geoprocessamento em conjunto com a análise multicritério são uma ferramenta eficaz e de baixo custo para análise da escolha de áreas para aterros sanitários.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos urbanos. Aterro sanitário. Áreas adequadas. Geoprocessamento. Análise Multicritério.

## ABSTRACT

The environmental problems arising from solid waste and its inadequate disposal have been gradually worsening with the increase in consumption and the exhaustion of areas for waste disposal. Thus, in Brazil since the National Solid Waste Policy was approved in 2010, the replacement of landfills by landfills has become an obligation for public administrations. The municipalities must adopt a careful planning to define the place where the landfill will be implanted, through the adoption of restrictive technical, environmental, social and economic criteria. In view of the large amount of solid waste discarded in open dumps, contaminating the soil, water and air, there was a need to carry out a study to improve and the final disposal of this waste. In this sense, the present work sought to select suitable areas for landfill implantation in the municipalities of Tucuruí and Breu Branco, in the state of Pará. However, finding suitable areas for the implantation of a landfill is not an easy task, as it is a measure environmentally appropriate, it has several criteria for its economic, social, environmentally and political viability. To this end, the methodology used concepts from the Geographic Information Systems (GIS) in the selection of the together with the GIS, to examine the restrictive and staggered criteria. The result is materialized in maps that provide the characteristics to be considered in the analyzes and, finally, the crossing of these, the indications and selection of the best areas for final disposal, of the residues. The municipalities presented a very restrictive scenario for the implantation of landfills and the map of potential areas, showed 19 excellent areas to receive landfills. Finally, the study showed that geoprocessing in conjunction with multicriteria analysis is an effective and low-cost tool for analyzing the choice of landfill areas.

**Keywords:** Urban solid waste. Landfill. Suitable areas. Geoprocessing. Multicriteria Analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tipos de resíduos sólidos segundo a origem. ....	17
Figura 2 - Gráfico de disposição final de RSU por tipo de disposição (toneladas/dia).....	19
Figura 3 - Estruturação regional do estado do Pará. ....	21
Figura 4 - Esquema de lixão.....	21
Figura 5 - Esquem de aterro controlado. ....	23
Figura 6 - Esquema de aterro sanitário. ....	25
Figura 7 - Lixão do município de Tucuruí. ....	49
Figura 8 - Lixão do município de Breu Branco.....	50
Figura 9 - Mapa de localização dos municípios de Tucuruí e Breu Branco.....	51
Figura 10 - Esquema metodológico da pesquisa. ....	52
Figura 11 - Introdução dos critérios na Calculadora <i>Online</i> AHP.....	60
Figura 12 - Mapa de declividade dos municípios de Tucuruí e Breu Branco.....	66
Figura 13 - Mapa pedológico dos municípios de Tucuruí e Breu Branco.....	68
Figura 14 - Mapa da distância a partir de cursos d'água dos municípios de Tucuruí e Breu Branco.....	72
Figura 15 - Mapa de APP nos municípios de Tucuruí e Breu Branco .....	73
Figura 16 - Mapa de uso e cobertura do solo dos municípios de Tucuruí e Breu Branco.....	74
Figura 17 - Mapa da APA nos municípios de Tucuruí e Breu Branco.....	78
Figura 18 - Mapa de distância de aeroportos nos municípios de Tucuruí e Breu Branco.....	79
Figura 19 - Mapa de distância das estradas dos municípios de Tucuruí e Breu Branco.....	80
Figura 20 - Mapa de distância dos centros atendidos dos municípios de Tucuruí e Breu Branco.....	81
Figura 21 - Mapa de distância dos núcleos populacionais dos municípios de Tucuruí e Breu Banco.....	82
Figura 22 - Mapa da Aldeia Indígena Trocará nos municípios de Tucuruí e Breu Branco.....	83
Figura 23 - Comparação pareada na Calculadora <i>Online</i> AHP.....	84
Figura 24 - Mapa de aptidão para implantação de AS nos municípios de Tucuruí e Breu Branco. ....	90
Figura 25 - Mapa de áreas aptas e restritas para a implantação de AS nos municípios de Tucuruí e Breu Branco. ....	91

Figura 26 - Mapa das áreas selecionadas para a implantação do AS nos municípios de Tucuruí e Breu Branco.....	92
Figura 27 - Áreas selecionadas para AS nos municípios de Tucuruí e Breu Branco.....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada. ....	20
Tabela 2 - Critérios selecionados para identificação de áreas para implantação de AS.....	54
Tabela 3 - Classificação do relevo brasileiro. ....	55
Tabela 4 - Largura de APP dos cursos d'água.....	56
Tabela 5 - Classificação dos critérios e suas descrições.....	58
Tabela 6 - Intervalo de notas para classificação do nível de aptidão da área. ....	61
Tabela 7 - Critérios considerados restritivos para a implantação do aterro sanitário.....	61
Tabela 8 - Referência de área mínima recomendável da gleba para implantação do AS.....	85
Tabela 9 - Percentuais por área de declividade do município de Tucuruí.....	67
Tabela 10 - Percentuais por área de declividade do município de Breu Branco. ....	67
Tabela 11 - Percentuais por áreas pedológicas do município de Tucuruí. ....	67
Tabela 12 - Percentuais por áreas pedológicas do município de Breu Branco.....	67
Tabela 13 - Identificação visual e descrição das classes de uso e cobertura do solo.....	75
Tabela 14 - Quantitativo de área e percentagem de uso e cobertura do solo do município Tucuruí. ....	75
Tabela 15 - Quantitativo de área e percentagem de uso e cobertura do solo do município Breu Branco.....	76
Tabela 16 - Pesos atribuídos aos critérios escalonados. ....	85
Tabela 17 - Notas e pesos atribuídos às classes pertencentes aos critérios escalonados.....	85
Tabela 18 - Estimativa populacional do município de Tucuruí e Breu Branco. ....	86
Tabela 19 - Estimativa da geração de RSU para o município de Tucuruí até o ano de 2040. .	87
Tabela 20 - Estimativa da geração de RSU para o município de Breu Branco até o ano de 2040. ....	87
Tabela 21 - Estimativa da Geração de RSU para área de estudo até o ano de 2040. ....	88
Tabela 22- Percentual de aptidão de áreas para AS no município de Tucuruí.....	90
Tabela 23 - Percentual de aptidão de áreas para AS no município de Breu Branco. ....	91
Tabela 24 - Áreas selecionadas para AS nos municípios de Tucuruí e Breu Branco.....	92

## LISTA DE SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ABRELPE</b>	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
<b>AS</b>	Aterro Sanitário
<b>ASR</b>	Aterros Sanitários Regionais
<b>APA</b>	Área de Proteção Ambiental
<b>ASA</b>	Área de Segurança Aeroportuária
<b>APP</b>	Áreas de Preservação Permanente
<b>AHP</b>	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
<b>BNDS</b>	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional de Meio Ambiente
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>FGV</b>	Fundação Getúlio Vargas
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>LP</b>	Licença Prévia
<b>LO</b>	Licença de Operação
<b>MMA</b>	Ministério do Meio Ambiente
<b>MDE</b>	Modelos Digitais de Elevação
<b>MC</b>	Ministério das Cidades
<b>NBR</b>	Norma Brasileira de Referência
<b>ONU</b>	Organizações das Nações Unidas
<b>PNSB</b>	Política Nacional de Saneamento Básico
<b>PNRS</b>	Política Nacional de Resíduos Sólidos
<b>PEGIRS</b>	Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Pará
<b>RDS</b>	Reserva de Desenvolvimento Sustentável
<b>RSU</b>	Resíduos Sólidos Urbanos
<b>RS</b>	Resíduos Sólidos
<b>RILT</b>	Região de Integração do Lago de Tucuruí
<b>SNIS</b>	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
<b>SEMAS</b>	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade
<b>SISNAMA</b>	Sistema Nacional do Meio Ambiente

<b>SNVS</b>	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
<b>SUASA</b>	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
<b>SNUC</b>	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
<b>SIG</b>	Sistema de Informações Geográficas
<b>UC</b>	Unidade de Conservação
<b>UHE</b>	Usina Hidroelétrica
<b>ZA</b>	Zona de Amortecimento

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Objetivo .....</b>	<b>15</b>
1.1.1 Objetivo geral .....	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Conceito de resíduos sólidos .....</b>	<b>16</b>
2.1.1 Resíduos sólidos no mundo .....	18
2.1.2 Resíduos sólidos no Brasil.....	19
2.1.3 Resíduos sólidos no Pará .....	20
<b>2.2 Destinação final x Disposição final.....</b>	<b>22</b>
2.2.1 Lixão e aterro controlado.....	23
2.2.2 Aterro Sanitário .....	25
<b>2.3 Seleção de áreas adequadas para implantação de aterros sanitários .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4 Legislações e normas vigentes.....</b>	<b>33</b>
<b>2.5 Critérios para seleção de áreas para aterros sanitários.....</b>	<b>39</b>
<b>2.6 Sistema de informações geográficas (SIG).....</b>	<b>45</b>
<b>2.7 Análise multicritério.....</b>	<b>46</b>
<b>2.8 Problemática dos RSU nos municípios de Tucuruí e Breu Branco.....</b>	<b>48</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>51</b>
<b>3.1 Área de estudo.....</b>	<b>51</b>
<b>3.2 Métodos .....</b>	<b>52</b>
3.2.1 Seleção de critérios .....	53
3.2.2 Análise espacial dos critérios definidos .....	54
3.2.3 Análise multicritério para tomada de decisão.....	57
3.2.4 Estimativa da área mínima do aterro sanitário .....	62

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>66</b>
<b>4.1 Avaliação dos critérios definidos para seleção de área do AS.....</b>	<b>66</b>
<b>4.2 Análise multicritério.....</b>	<b>84</b>
<b>4.3 Área mínima do aterro sanitário.....</b>	<b>86</b>
<b>4.4 Seleção das áreas adequadas .....</b>	<b>89</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>95</b>
<b>5.1 Recomendações para trabalhos futuros.....</b>	<b>96</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>106</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2018) são produzidos anualmente 1,4 bilhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos no mundo. E no Brasil 40,5% dos resíduos coletados foram despejados em locais inadequados por 3.001 municípios, ou seja, 29,5 milhões de toneladas por ano de resíduos, acabaram indo para lixões ou aterros controlados, que não contam com um conjunto de sistemas e medidas necessários para proteger a saúde das pessoas e o meio ambiente contra danos e degradações (ABRELPE, 2018).

Os cenários são alarmantes uma vez que, esta situação, representa prejuízos tanto na economia, como na saúde, mas principalmente ao meio ambiente (AQUINO; NERO; COSTA, 2019). Segundo Guevara et al. (2017), uma das grandes dificuldades das gestões públicas é a administração dos resíduos sólidos urbanos (RSU), que envolve diversas questões, dentre as quais estão formas de tratamento e de disposição final, questões de logística de transporte, divisão de espaços urbanos e industriais.

No Brasil os municípios correm o risco de sofrer as sanções penais previstas na Lei nº 9.605/1998, conhecida como a Lei de Crimes Ambientais, por disporem seus resíduos de forma inadequada. E a Lei nº 12.305/2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) determinou que a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deveria ter sido implantada, em até quatro anos após a data de publicação da Lei, sob pena de suspensão dos recursos federais para o setor. No entanto, esta determinação não foi alcançada pela maioria dos municípios brasileiros, que se depararam principalmente com a falta de recursos e de corpo técnico especializado (BRASIL, 2015).

O aterro sanitário é a forma de disposição final mais adequada dos rejeitos, e viável para conjuntura econômica de países em desenvolvimento, pois conta com a compactação dos resíduos feita com tratores de modo a reduzir seu volume, conta com a impermeabilização eficiente do solo, a canalização de gases liberados no processo de decomposição dos resíduos, a captação de chorume e a cobertura dos resíduos com camada de terra no mínimo uma vez por dia (BAIERLE et al. 2016). No entanto, a escolha da área para a construção dos mesmos ainda é um dos maiores entraves (SILVA, 2019).

Nesse sentido, levando em consideração a problemática associada a necessidade de seleção de áreas adequadas para a implantação de aterros sanitários e também a obrigatoriedade imposta pelos regulamentos ambientais para a efetivação de aterros sanitários nos municípios brasileiros, selecionou-se para esta pesquisa a região compreendida entre os municípios de

Tucuruí e Breu Branco, no Estado do Pará, uma vez que a localidade não possui políticas eficientes de destinação de RSU e a disposição de todo o resíduo ainda é feita de maneira inadequada, em lixões a céu aberto.

A intenção é que este trabalho acadêmico possa colaborar enquanto ferramenta de gestão aos municípios, uma vez que se pretende apontar as áreas mais aptas para implantação de um aterro sanitário. Para tal, a metodologia adotada foi o geoprocessamento em conjunto com a análise multicritério, que se mostrou uma ferramenta eficaz e de baixo custo para análise da escolha de melhores áreas para implantação de aterros sanitários. Neste sentido, a análise conjunta de critérios restritivos e fatoriais resultou na identificação de 19 áreas potenciais para a construção de aterros sanitários.

## **1.1 Objetivo**

### 1.1.1 Objetivo geral

Selecionar áreas adequadas para a implantação de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos nos municípios de Tucuruí e Breu Branco – PA.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Escolher os critérios para seleção de áreas para aterros sanitários tomando como base normas, leis e literatura;
- Identificar metodologia para a seleção de áreas para aterros sanitários;
- Identificar áreas aptas e não aptas para a implantação de aterros sanitários;
- Indicar áreas adequadas para a implantação de aterro sanitário nos municípios de estudo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Antes de se iniciar de fato a pesquisa aqui proposta, é necessário que se entenda conceitualmente como se definem os conceitos, normas e leis que serão utilizados (as) no embasamento da pesquisa.

### 2.1 Conceito de resíduos sólidos

Segundo Carrilho, Candido e Souza (2018), os RS são gerados desde a origem do homem na terra, e a natureza sempre degradou esses resíduos, porém, a partir da Revolução Industrial houve um aumento exponencial na geração de resíduos, os quais passaram a ser produzidos em massa através dos processos de automação e manufaturas, e foram se alterando as características químicas, físicas e biológicas. O problema é que a capacidade de degradação dos RS pela natureza permaneceu a mesma (ALBERTIN *et al.* 2010).

Para Pinheiro *et al.* (2019), o lixo é todo e qualquer resíduo proveniente das atividades humanas ou gerado pela natureza, naturalmente definimos como aquilo que ninguém quer. Já, segundo Rodrigues e Cavinatto (2003), a palavra lixo deriva do termo latim *lix*, que significa “cinza”, e na linguagem técnica, é sinônimo de RS e compreende os materiais descartados pelas atividades humanas.

De acordo com, a Norma Brasileira de Referência (NBR) 10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os RS são:

Os resíduos nos estados sólido e semissólido, 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).

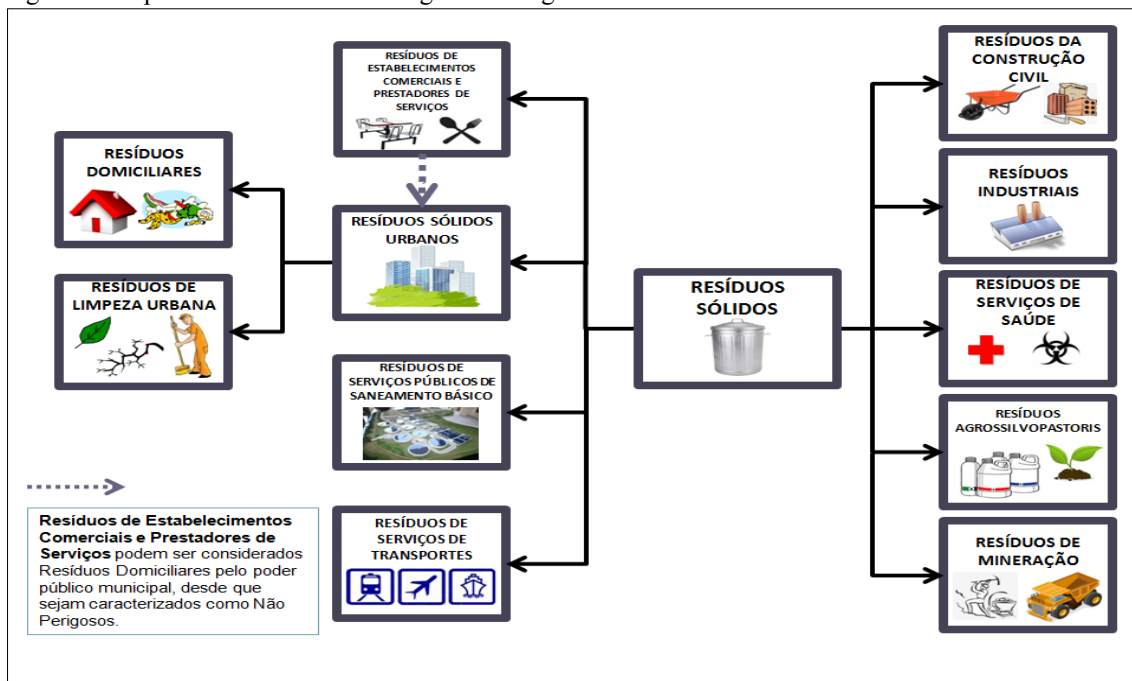
Com a aprovação da Lei nº 12. 305/2010, que instituiu a PNRS, a definição de RS foi ampliada em relação à definição estabelecida na NBR 10.004/2004, incluindo os gases contidos em recipientes como parte de sua definição. Assim, segundo a PNRS resíduos sólidos são:

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 (PNRS, 2010, p.2).

A PNRS (2010) em seu art. 13 classifica os RS quanto à sua origem (descritos na Figura 1) e quanto à periculosidade. Neste trabalho será dada ênfase aos RSU não perigosos, que englobam os resíduos domiciliares, originários de atividades domésticas em residências urbanas e os da limpeza urbana, advindos da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2010).

Figura 1 – Tipos de resíduos sólidos segundo a origem



Fonte: Wikimedia Commons (2014).

Os RS recebem diferentes classificações, que se baseiam em determinadas propriedades ou características. Este sistema é de fundamental importância para se viabilizar estrategicamente uma melhor eficiência no gerenciamento dos resíduos (TAVARES; TAVARES, 2014). Pois, o contínuo aumento dos resíduos sólidos tem gerado uma preocupação e um envolvimento de diferentes setores da sociedade para estabelecer um adequado ciclo de produção-disposição final (CARRILHO; CANDIDO; SOUZA, 2018).

### 2.1.1 Resíduos sólidos no mundo

De acordo com declarações do Programa ONU-Habitat (2018), por ano são produzidas mais de 2 bilhões de toneladas de resíduos no mundo, sendo que, 99% dos produtos comprados são jogados fora dentro de seis meses. O Programa ainda afirma que, para acomodar os 7,6 bilhões de moradores do mundo, suprir o uso de recursos e absorver o lixo gerado, seria necessário 70% de outro planeta Terra.

O relatório, *What a Waste 2.0*, realizado pelo Banco Mundial (2018), aborda sobre questões dos RS no mundo. Segundo o estudo, o Leste Asiático e a região do Pacífico geram a maior parte dos resíduos do mundo; a região de Europa e Ásia Central, é a segunda maior geradora; a América Latina e Caribe, a terceira; e o Sul da Ásia e a África Subsaariana, preocupam pelo potencial futuro. Isso, se deve, ao grande contingente populacional dessas regiões, que, no caso asiático, são as mais populosas do mundo, e no lado africano, deverão passar por crescimento econômico desordenado e sem controle dos resíduos.

As taxas de coleta de lixo variam amplamente de acordo com os níveis de renda: os países com renda alta geralmente fornecem coleta universal de resíduos; enquanto os países de renda baixa tendem a coletar cerca de 48% dos resíduos nas cidades, mas fora das áreas urbanas, a cobertura de coleta de lixo é de cerca de 26%. Desses resíduos coletados, globalmente, cerca de 37% dos resíduos são descartados em algum tipo de aterro, 33% são descartados sem nenhum tipo de tratamento, 19% passam por recuperação de materiais através da reciclagem e compostagem, e 11% são tratados através de incineração (BANCO MUNDIAL, 2018).

O estudo ainda aborda, que os países de renda média praticam a maior porcentagem de aterro, em torno 54%, e que essa taxa diminui nos países de alta renda para 39%, onde 35% dos resíduos são desviados para reciclagem e compostagem e 22% para incineração; no entanto, nos países pobres, nada menos que 93% dos resíduos são depositados em lixões a céu aberto. Infelizmente, os mais pobres da sociedade são geralmente os mais impactados pelo tratamento inadequado do lixo (BANCO MUNDIAL, 2018).

A Revista Em Discussão (2015), do Senado Federal Brasileiro, afirma que:

Quase metade do total de RS, são gerados por menos de 30 países, os considerados mais desenvolvidos do mundo. Tais nações desenvolvidas consomem mais de 60% de todas as matérias-primas industriais, porém correspondem a apenas 22% da população mundial. Neste cenário, o ranking é liderado pelos Estados Unidos, que produz diariamente 624 mil toneladas de resíduos, países em desenvolvimento como China, México e Brasil aparecem entre os dez maiores produtores (BRASIL, 2015, p.2).

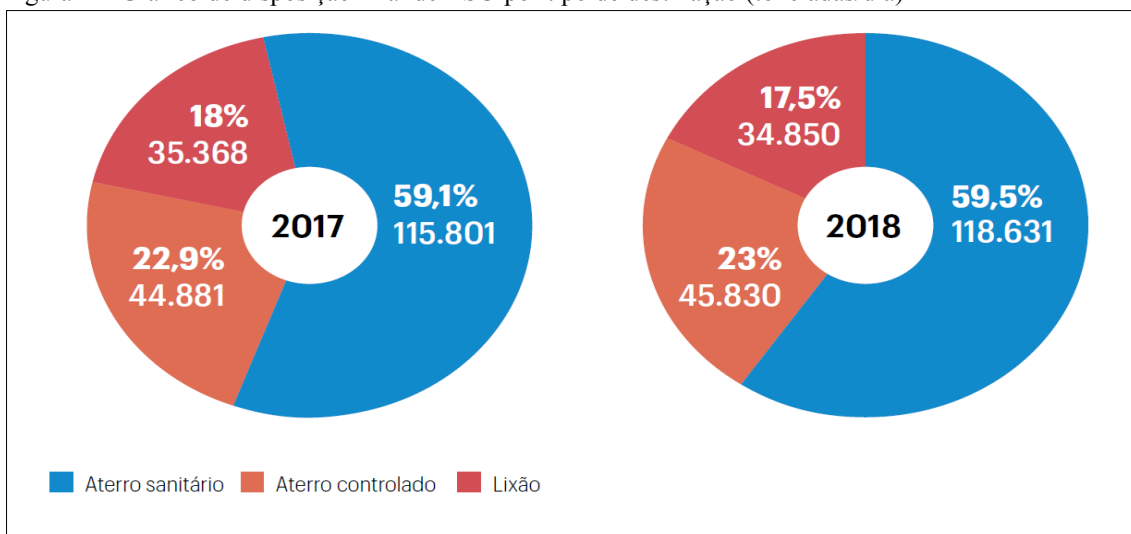
Portanto, o aumento na quantidade de RS gerados, sofre influência direta do aumento populacional, da urbanização, do crescimento econômico, da forma de desenvolvimento, seja industrial ou urbano, do consumo dos enlatados, das embalagens descartáveis com produtos alimentícios preparados, dos métodos modernos de comercialização dos produtos e do desperdício (PEGIRS, 2014).

### 2.1.2 Resíduos sólidos no Brasil

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no ano de 2018, foram geradas 79 milhões de toneladas de RSU, em média, cada brasileiro gerou pouco mais de 1 quilo de resíduo por dia. Desse montante de resíduos, 92% (72,7 milhões de toneladas) foram coletados, ficando 8% (6,3 milhões de toneladas) sem coleta.

Quanto à disposição final, a ABRELPE (2018) estimou que, 59,5% dos RSU coletados foram dispostos de forma adequada em AS, cerca de 43,3 milhões de toneladas por ano (Figura 2). O restante, 40,5%, foi despejado em locais inadequados por 3.001 municípios, ou seja, 29,5 milhões de toneladas por ano de RSU, acabaram indo para lixões ou aterros controlados, que não contam com um conjunto de sistemas e medidas necessários para proteger a saúde das pessoas e o meio ambiente contra danos e degradações.

Figura 2 – Gráfico de disposição final de RSU por tipo de destinação (toneladas/dia)



Fonte: ABRELPE (2018).

Cabe ressaltar que quantidade de AS aumentou do ano de 2018 (Tabela 1), quando comparado ao ano de 2017, tendo a região Sul com os maiores índices de AS e menores índices

de lixões do país, e as regiões Norte e Nordeste com menores índices de AS e maiores índices de lixões (ABRELPE, 2018).

Tabela 1 – Quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada

Disposição Final	Brasil 2017	Regiões e Brasil - 2018					Brasil
		Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	
Aterro Sanitário	2.218	93	454	162	820	1.040	2.569
Aterro Controlado	1.742	110	496	152	641	109	1.508
Lixão	1.610	247	844	153	207	42	1.493
<b>BRASIL</b>	<b>5.570</b>	<b>450</b>	<b>1.794</b>	<b>467</b>	<b>1.668</b>	<b>1.191</b>	<b>5.570</b>

Fonte: ABRELPE (2018).

Santos (2011) afirma que o problema dos RS no Brasil é ainda um fato a ser questionado, pois, é um país formado por mais de 5.500 municípios, com populações que variam de 2,5 mil a 15 milhões de habitantes, em áreas variadas e que estão espalhados por todas as regiões do país; e consequentemente o descarte e a coleta dos RSU, além de ser um problema de difícil solução para a maioria das comunidades, tornou-se um grave problema sanitário, social e ambiental.

### 2.1.3 Resíduos sólidos no Pará

O Estado do Pará, Região Norte do Brasil, é o segundo maior estado federativo em área, chegando a ocupar aproximadamente 15% do território nacional, englobando uma região geográfica heterogênea de 1.247.690 km<sup>2</sup>, com um total de 144 municípios; e sua população é estimada em 8.690.745 habitantes (IBGE, 2020).

Para sua melhor gestão, o Estado é subdividido em doze Regiões de Integração, a partir do Decreto Estadual nº 1.066/2008, tendo o objetivo de auxiliar a formulação e implementação de políticas públicas multisetoriais (Figura 3).

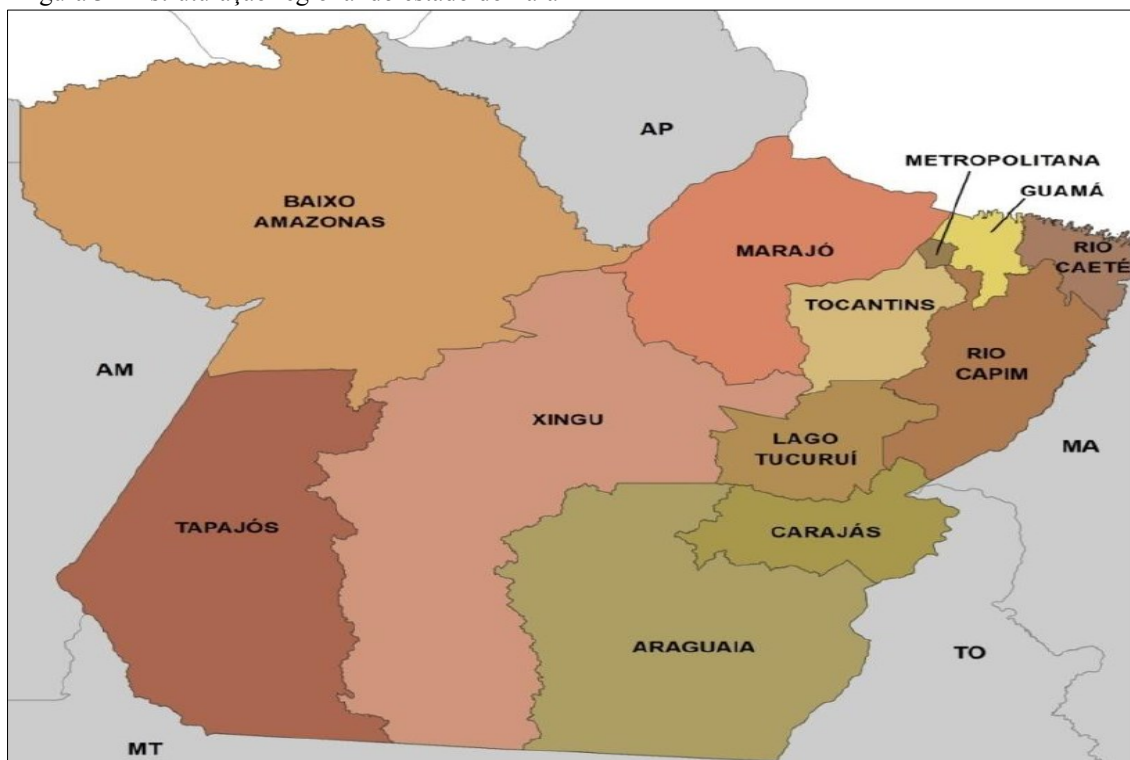
Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2018), dos 144 municípios do estado do Pará, apenas 62 atualizaram seu banco de dados sobre os RS. O que demonstra falta de informações sobre o tema, e o que pode dificultar a gestão dos RS.

E segundo o mesmo, a geração per capita de RSU é aproximadamente 1.08 Kg/hab/dia, e a taxa de cobertura do serviço de coleta de RSU é de 96,4%, próxima a média de cobertura nacional de 98,8% (BRASIL, 2018).

Ainda segundo o SNIS, somente cinco municípios destinam seus resíduos para AS (Altamira, Ananindeua, Belém, Marituba e Santa Bárbara do Pará), enquanto que os demais designam seus RSU para lixões ou aterros controlados. Sendo que, os municípios de Ananindeua, Belém e Marituba (região metropolitana do estado), possuem o AS em forma de consórcio público intermunicipal, ou seja, no estado só existem três AS em operação (SNIS, 2018).

O Estado possui o Plano Estadual de Gestão Integrada de RS do Estado do Pará (PEGIRS), constituído em volume I e II, desenvolvido a partir de convênio de cooperação firmado entre a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e o Ministério do Meio Ambiente e Recursos Renováveis, no ano de 2014, cuja elaboração se deu tendo em vista atender às diretrizes e orientações da PNRS.

Figura 3 – Estruturação regional do estado do Pará



Fonte: PEGIRS (2014).

No quesito disposição final, o PERGIS propõe arranjos de disposição final para todos os municípios do estado, propondo 25 arranjos para a formação de consórcios intermunicipais para AS, os Aterros Sanitários Regionais (ASR), que juntos correspondem a um potencial de

disposição de 81% dos RSU do estado. Também foram contemplados os demais municípios, dispostos em soluções envolvendo AS de Pequeno Porte e AS Municipais (PEGIRS, 2014).

Dos arranjos propostos pelo PEGIRS, apenas um já está em operação, o AS de Marituba, um ASR, e que segundo a Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará (SEMAS), teve o início das atividades em 2015, sendo implantado para atender os municípios de Marituba, Belém e Ananindeua (região metropolitana de Belém).

No entanto, o aterro de Marituba tem gerado preocupação, debates, e mais recentemente reivindicações e protestos da população local. Vasconcelos Junior e Corrêa (2017) afirmam que, apesar de o AS ser considerado um dos formatos adequados de destinação final para os RSU, no caso do município de Marituba, nota-se que o empreendimento ainda não se adequou, de forma técnica, às normas estabelecidas na PNRS em relação ao terreno, ao distanciamento de reservas naturais, ao solo, aos lençóis freáticos, entre outros aspectos, para que o empreendimento opere de forma apropriada.

## **2.2 Destinação final x Disposição final**

Segundo a PNRS (BRASIL, 2010), a destinação final dos RS pode ser definida 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, p.2).

E, segundo a mesma legislação, a disposição final de RS é a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos” (BRASIL, 2010).

Segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004), disposição final de resíduos compreende um conjunto de unidades, processos e procedimentos que visam ao lançamento de resíduos no solo, garantindo-se a proteção da saúde pública e a qualidade do meio ambiente.

É importante ressaltar que a partir de 2010, segundo a PNRS ficou proibido a destinação final de RS em lixões ou em aterros controlados (BRASIL, 2010). E os RSU devem ser reutilizados ou reciclados e apenas os rejeitos devem seguir para os AS (MODA, 2017).

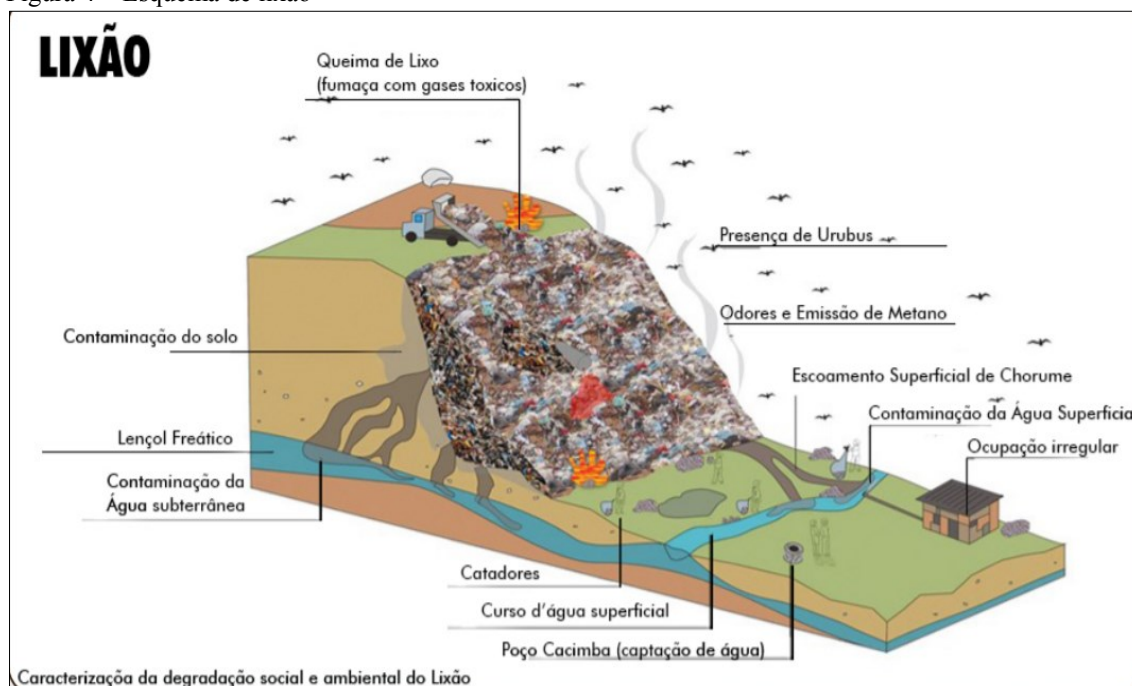
Dessa forma, as maneiras de disposição final de RSU mais usuais no Brasil são: os lixões ou vazadouros, os aterros controlados e AS (SILVA, 2019).

### 2.2.1 Lixão e aterro controlado

Segundo Albuquerque (2011) nos lixões (Figura 4) os RS são dispostos de forma inadequada, jogados sobre o solo, não tendo nenhum tipo de tratamento, sendo estes, considerados os mais prejudiciais ao meio ambiente e ao homem.

Corroborando, Lima e Oliveira (2020), afirmando que os lixões são espaços de descarte de RS, sem preparação do solo, a céu aberto e responsável pela maior parte de poluição dos lençóis freáticos e disseminação de doenças diversas e com incidência de pessoas (catadores) trabalhando, na maioria dos casos, ausentes de qualquer tipo de orientação coletando materiais recicláveis ou para seu próprio sustento.

Figura 4 – Esquema de lixão



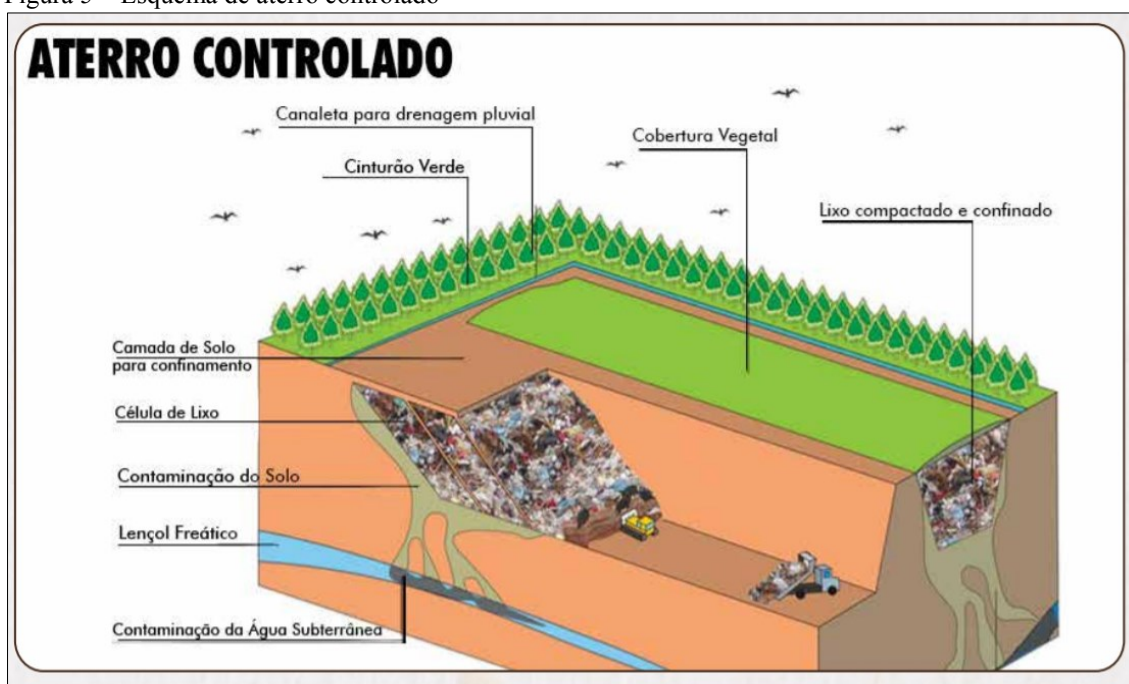
Fonte: Instituto Autoglass (2017).

Silva *et al.* (2012) elenca o aterro controlado como uma das técnicas de minimização de impactos ambientais, causados por lixões a céu aberto, uma vez que são utilizados alguns métodos de engenharia para confinar os RS, cobrindo com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho. Entretanto, ainda sim, produz poluição, principalmente

quando não dispõe de impermeabilização do solo, que pode comprometer a qualidade das águas subterrâneas e de sistemas de tratamento de percolados e de biogás gerado.

O aterro controlado (Figura 5), pode ser considerado um lixão disfarçado, pois todo o líquido produzido a partir desse lixo não é tratado (BRASIL, 2011). Ainda conforme Albuquerque (2011) a disposição dos resíduos é feita da mesma maneira que nos lixões, no entanto, os resíduos são cobertos com material inerte ou terra, não havendo, contudo, nenhum critério de engenharia ou controle ambiental no projeto.

Figura 5 – Esquema de aterro controlado



Fonte: Instituto Autoglass (2017).

Quando dispostos de forma inadequada, os RS podem causar poluição da água, do ar e do solo, além de criar ambiente propício para a proliferação de macro e micro vetores causadores de doenças (BESEN *et al.* 2014), com consequências desastrosas, tanto para o meio ambiente quanto para a qualidade de vida da população (COSTA; RIBEIRO, 2013).

Corroborando Muniz (2013), afirmando que os resíduos assim lançados acarretam problemas à saúde pública com proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos), geração de maus odores e, principalmente, poluição do solo e das águas superficiais, por meio do lixiviado que percorra comprometendo os solos e os recursos hídricos.

Ou seja, a disposição final em lixões, significa que não há critérios para a seleção e operações dessas áreas, e que a ausência de controle e falta de fechamento permitem o livre

acesso de pessoas e de animais, além de favorecer o lançamento de resíduos de serviços de saúde e industriais nestas áreas (BARTHOLOMEU; BRANCO; CAIXETA FILHO, 2011).

### 2.2.2 Aterro Sanitário

Segundo a NBR 8.419 (ABNT, 1992) o Aterro Sanitário:

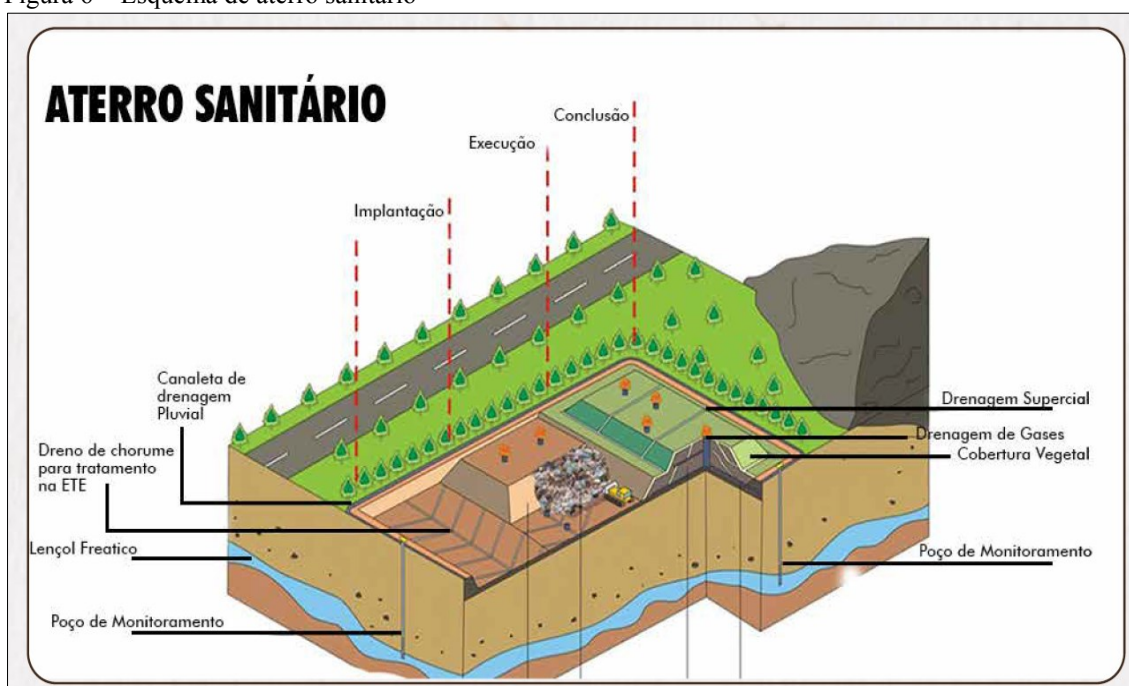
Consiste na técnica de disposição dos rejeitos urbanos sólidos no solo (RS que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada), sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais (ABNT, 1992, p.1).

Felicori *et al.* (2016), definem o AS (Figura 6) como a disposição de resíduos em área impermeabilizada com recobrimento e compactação dos mesmos com camadas sucessivas de solo; onde o tratamento dos resíduos ocorre por meio de digestão anaeróbia e requer um controle ambiental dos líquidos lixiviados (chorume) e do biogás resultantes do processo; sendo que esses líquidos são coletados por meio de drenos e tratados em lagoas aeróbias e o biogás é queimado ou pode ser coletado para reaproveitamento e geração de energia.

Para Colvero *et al.* (2017), o AS é considerado como uma das técnicas mais adequadas para receber os RS gerados por uma cidade. Essa obra de infraestrutura tem como objetivo permitir a disposição final dos mais diversos tipos de resíduos de origem urbana, principalmente domésticos, e reduzir os impactos ambientais que eles causariam caso fossem descartados em locais incorreto.

Os AS podem ainda possuir diferentes classificações, referentes ao tamanho e tipo de RS destinados. Assim, os AS de RSU possuem norma específica, e os de resíduos perigosos, possuem outra normativa (BRASIL, 2007). Logo, existem projetos simplificados, projetados para comunidades e localidades pequenas, bem como aqueles que recebem milhares de toneladas de resíduos diariamente (SILVA, 2019).

Figura 6 – Esquema de aterro sanitário



Fonte: Instituto Autoglass (2017).

Em um AS, as características técnicas envolvidas variam de acordo com o seu porte. Quanto maior o AS, maiores devem ser os cuidados envolvidos com a obra. O porte de um AS tem relação direta com os materiais empregados, e principalmente, com o método de concepção adotado.

O estudo “Estimativa de investimentos em AS para atendimento de metas estabelecidas pela PNRS entre 2015 e 2019” do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), com base na Abetre e FGV (2009), apresentam 4 tamanhos de aterros: pequeno porte (100 t/dia), médio porte I (500 t/dia), médio porte II (1.000 t/dia) e grande porte (2.000 t/dia) (Vital *et al.* 2014).

E ainda conforme o estudo, os valores estimados para implantação de cada tipo de aterro, seriam em torno de:

- Aterro de pequeno porte (100 t/dia): 5,2 milhões;
- Aterro de médio porte (800 t/dia): 18,4 milhões;
- Aterro de grande porte (2.000 t/dia): 36,2 milhões.

Segundo Albuquerque (2011), as vantagens quanto aos aterros sanitários, são inúmeras, pois oferecem todas as condições necessárias para que haja uma disposição adequada dos resíduos em conformidade com as normas de engenharia e controle ambiental; possuindo também uma grande capacidade de absorção diária dos resíduos gerados; dando tratamento ao chorume gerado pela decomposição da matéria orgânica e as precipitações pluviométricas.

Costa e Ribeiro (2013) também destacam que esse método de engenharia:

Apresenta baixo custo operacional, se comparado às alternativas existentes, oportunizando a associação de outras tecnologias, além de ser uma amplamente conhecida, que potencializa a geração de empregos, permitindo também a possibilidade de gestão consorciada entre municípios. Nesse caso, os custos podem ser reduzidos significativamente [...], entretanto, os AS também apresentam algumas desvantagens, como a geração de odores característicos, a possibilidade de exposição e riscos aos trabalhadores, a necessidade de grandes áreas para o empreendimento e ainda a resistência por parte da comunidade do entorno, fenômeno internacionalmente conhecido como *not in my back yard* (NINBY), ou seja, “não no meu quintal. ainda” [...] vale dizer que esses aterros se constituem em fontes de emissão de gases de efeito estufa, havendo também proliferação de vetores e potenciais doenças associadas e, além do mais, após seu encerramento a possibilidade de passivos ambientais (COSTA; RIBEIRO, 2010, p.7).

Segundo o estudo “Redução de emissão na disposição final” (2007) o projeto de concepção de um AS passa por várias etapas, e a seleção da área para a construção AS é uma fase muito importante no processo de implantação. A escolha correta do local é um grande passo para o sucesso do empreendimento, pois diminui custos, evitando gastos desnecessários com infraestrutura, impedimentos legais e oposição popular (BRASIL, 2007).

Em geral, faz-se primeiro uma pré-seleção de áreas disponíveis no município e, a partir de então, realiza-se um levantamento dos dados dos meios físico e biótico; sendo comum construir o AS em uma área contígua ao antigo lixão, desde que este não esteja situado em locais de risco ou restrição ambiental (BRASIL, 2007).

Nesse sentido, é importante traçar critérios para a escolha da área, os quais devem ser amplos, abrangendo tanto questões técnicas como econômicas, socioambientais e políticas.

De acordo com a NBR nº 13.896/97, a dimensão da área a receber o aterro e o tempo de vida útil do mesmo, encontram-se inter-relacionados e nesse sentido, a normativa recomenda uma vida útil de no mínimo 10 anos para projetos de implantação de AS.

Partindo desse pressuposto, Portella e Ribeiro (2014), afirmam que o sistema de AS precisa ser associado à coleta seletiva de lixo para reciclagem, o que permite que sua vida útil seja ampliada, além do aspecto altamente positivo de se implantar uma educação ambiental em sua área de atuação, desenvolvendo coletivamente uma consciência ecológica, propiciando na maior participação da comunidade na defesa e preservação do meio ambiente.

Portanto, pode-se afirmar que o AS (Figura 6), é caracterizado por um tratamento baseado em técnicas sanitárias de impermeabilização do solo, compactação e cobertura diária das células de lixo, coleta e tratamento de gases, bem como tratamento do chorume, entre outros

procedimentos técnico-operacionais que objetivem por evitar os aspectos negativos da disposição final do lixo (PORTELLA; RIBEIRO, 2014).

### **2.3 Seleção de áreas adequadas para implantação de aterros sanitários**

Baseando-se na leitura dos tópicos anteriores, pode-se afirmar que a escolha da área para AS, compreende um estudo técnico, desenvolvido como uma das etapas, para a instalação do empreendimento, afim de solucionar a problemática de disposição final de RS. E que o bom desempenho de um AS, sob os aspectos ambientais, técnicos, econômicos, sociais e de saúde pública, está diretamente ligado a uma adequada escolha de área de implantação (RECESA, 2008).

A seleção de áreas para implantação de AS é uma das principais dificuldades enfrentadas pelos municípios, principalmente porque uma área, para ser considerada adequada, deve reunir um grande conjunto de condições técnicas, econômicas e ambientais, que demandam o conhecimento de um grande volume de dados e informações, normalmente indisponíveis para as administrações municipais (RECESA, 2008).

O processo de seleção de critérios para a escolha de áreas para a construção de AS deve envolver esses aspectos: ambiental; social e econômico. Segundo Spigolon *et al.* (2015), o grupo de critério ambiental está relacionado a fatores que possam causar impacto ao meio ambiental ou, às condições físicas do local. O grupo de critério social está relacionado a fatores que possam interferir na segurança e bem estar das pessoas que vivem próximo da área ou frequentam locais nas proximidades. O econômico está relacionado ao custo de instalação do aterro, ou seja, a proximidade de infraestruturas disponíveis, topografia do terreno, além dos custos de transportes relacionados à distância aos polos geradores de RSU e o tipo de acesso ao AS.

Segundo Dutra *et al.* (2019), um dos problemas para a implantação de um AS está associado à alta complexidade para a correta alocação dessa obra de infraestrutura. Assim, para analisar os locais mais adequados, o geoprocessamento tem servido como uma ferramenta de auxílio na implementação desses projetos, pelo fato de o SIG possibilitar a inserção dos dados calculados no espaço geográfico, além de diversas análises ambientais e da paisagem.

Em grandes centros urbanos, os desafios estão associados à falta de espaços e, em pequenos e médios municípios, os problemas muitas vezes estão associados aos custos de implantação, operação e manutenção desses locais (LOURENÇO *et al.* 2017).

Diversos autores estudaram a temática, afim de levantar discussões que possam contribuir e melhorar o estudo de seleção de áreas para AS. Como por exemplo, os estudos:

- “Geoprocessamento aplicado a seleção de áreas para implantação de aterro sanitário: estudo de caso, consórcio Brejo Madre de Deus e Juatuba- PE”, de Rocha, Ximenes e Guerra (2015). O trabalho investigou áreas aptas para a construção de um aterro sanitário no município de Brejo da Madre de Deus - PE. Os autores identificaram, mapearam e analisaram os componentes geotécnicos, geoambientais e a biodiversidade da região. E por isso fizeram o estudo que aborda os conceitos do geoprocessamento e as características do meio físico com vistas à geração de instrumentos para a prevenção de contaminações do solo superficial, do subsolo e das águas superficiais e subterrâneas, tanto quanto estabelecer critérios geotécnicos e geoambientais para o planejamento de uso e ocupação do solo para a implantação de aterro sanitário de acordo com a Lei nº 12.305/10 (BRASIL, 2010), da Política Nacional de Resíduos sólidos.
- “Seleção de área adequada para a implantação de aterro sanitário no município de Marmeleiro – PR, através de técnicas de geoprocessamento”, de Baierle *et al.* (2016). Os autores selecionaram uma área apta a receber a implantação de um aterro sanitário no município de Marmeleiro - PR, através de técnicas de geoprocessamento. A definição da área mais apropriada foi feita a partir da elaboração e análise de mapas temáticos das características ambientais avaliadas, em ambiente SPRING, e da atribuição de notas às classes de condições ambientais. Foi escolhida como melhor área uma localizada a aproximadamente 18 km do centro gerador, acesso pavimentado em mais de 90% do trajeto, declividades abaixo de 20% e uso da terra em sua maioria como pastagem.
- “Geoprocessamento aplicado na seleção de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Conceição das Alagoas (MG)”, de Carrilho, Candido e Souza (2018). Os autores em seu estudo, abordaram que tendo em vista a grande quantidade de resíduos sólidos descartados nos lixões a céu aberto, contaminando o solo, as águas e o ar, observaram a necessidade de fazer um estudo para melhoria e adequação da disposição final dos detritos. E identificaram áreas potenciais para a construção de um aterro sanitário municipal, visando a redução dos impactos ambientais gerados pela disposição final incorreta desses resíduos no município de Conceição das Alagoas, Minas Gerais. A metodologia adotada no levantamento das áreas potenciais foi baseada

em um mapeamento digital, utilizando técnicas de geoprocessamento. Em uma primeira etapa realizaram os levantamentos das zonas restritivas e potenciais no município de Conceição das Alagoas para a implantação do aterro. Na segunda etapa foram avaliadas todas as áreas inseridas na zona potencial, nas quais se determinou seis áreas adequadas à implantação de aterro sanitário conforme critérios de restrição.

- “Uso dos sistemas de informação geográfica na seleção de áreas para implantação de aterro sanitário na microrregião do Arari, ilha do Marajó-PA”, de Rocha *et al.* (2019). Os autores investigaram preliminarmente áreas propícias à implantação de aterros sanitários, a partir de características ambientais, com o auxílio de ferramentas SIG na Microrregião do Arari, localizada na Ilha do Marajó. A metodologia utilizada se deu em consonância com outros estudos de mesmo cunho, considerando dados de vegetação, pedologia, áreas sujeitas a inundação e declividade, os quais foram ponderados de acordo com a importância que representavam para o objetivo da pesquisa. Como resultado, observaram que 19% da área analisada (4.285,25 Km<sup>2</sup>) possuía um baixo nível de suporte ambiental aos principais impactos advindos da implantação de um aterro sanitário, 4% (902,36 Km<sup>2</sup>) nível de suporte moderado e apenas 1% (208,77 Km<sup>2</sup>) atingiu o nível de suporte recomendado para o trabalho, dada as características ambientais presentes na região, onde o restante das áreas (76%), foram excluídas da análise devido à presença de características claramente restritivas ao objetivo da pesquisa. O uso do Sistema de Informações Geográficas, para os autores, se tornou eficiente em ações que envolvem o planejamento e ordenamento ambiental, dada a rapidez no manejo de informações espaciais associadas ao geoprocessamento.
  
- “Identificação e seleção de áreas potenciais à implantação de Aterro sanitário no município de Castanhal-PA, através do uso de sistema de informações geográficas”, de Silva (2019). O autor buscou identificar e selecionar, uma ou mais áreas aptas a receber a implantação de um Aterro Sanitário no município de Castanhal - PA. Para a determinação da área, apta a receber o empreendimento, o autor considerou o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e o método de análise de multicritério primordial para a execução do trabalho. Tal método viabilizou elaborar mapas temáticos a partir de dados vetoriais, tabulares e *rasters*, que permitiram ilustrar, manipular e analisar os critérios necessários para a seleção de áreas. Tais critérios foram classificados em Escalonados ou Restritivos. O dimensionamento da área, necessária

para instalação e funcionamento do aterro, estipulou-se 20 anos como tempo de vida útil, para o mesmo. Desta forma, utilizando a fórmula de projeção aritmética, estimou a população do município de Castanhal, seguido da estimativa da geração de resíduos para o mesmo período (2019 a 2038). Sendo assim, definiu-se que para atender a demanda do município no período estipulado, seria necessária uma área mínima de 35 hectares. Com isso, dentre as áreas consideradas aptas para receber o aterro, selecionou-se 6 áreas, que detêm dimensão igual ou superior a 35 ha. Em validação *in loco*, apenas as áreas de 1 a 5 confirmaram sua aptidão física, tornando-se aptas para o estudo. Por fim, o estudo elucidou a importância e a eficiência da aplicação de Sistema de Informações Geográficas em projetos socioambientais na Amazônia.

- “Utilização de técnicas de modelagem e análise espacial na identificação de áreas ótimas para a implantação de aterros sanitários em regiões metropolitanas densamente povoadas” de Aquino, Nero e Costa (2019). No estudo os autores afirmam que do ponto de vista econômico, os aterros sanitários são a solução ambientalmente mais viável, uma vez que são dotados de tecnologias que previnem principalmente a contaminação do solo e dos recursos hídricos subterrâneos. No entanto, apontam que a escolha da área para a construção de um aterro sanitário é um desafio. Assim, este estudo dos autores, determinaram através da análise multicritério, áreas ideais para a implantação de aterros sanitários em regiões metropolitanas densamente povoadas. Para tanto, empregaram conceitos dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na seleção das áreas potenciais e otimizadas. Dessa maneira, combinaram as técnicas de análise multicritério em conjunto com um SIG para examinar os critérios preconizados na legislação vigente e nas normas construtivas deste tipo de empreendimento. A partir da combinação de variáveis ambientais, sociais e econômicas, de ordem restritiva e fatorial, o estudo localizou 14 áreas potenciais para a instalação de aterros sanitários na Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH. E adicionaram a metodologia, uma análise da qualidade do mapa temático gerado por meio de processo empírico e amostral, sendo que consideraram satisfatórios os resultados obtidos.
- “Seleção de área para construção de aterro sanitário no município de Esmeraldas, MG, a partir da utilização de ferramentas de geoprocessamento”, Dutra *et al.* (2019). Os autores estudaram a utilização de ferramentas de geoprocessamento para a identificação de áreas aptas para a construção de aterro sanitário no município de Esmeraldas-MG.

Para isso, utilizaram o cálculo da área ideal de alocação do aterro através da projeção de população e dimensionamento do empreendimento. Além disso, na elaboração do mapa de regiões aptas para a implantação do aterro sanitário utilizaram a sobreposição dos mapas e a subtração dos *buffer's* elaborados para cada variável analisada. Os resultados permitiram verificar seis áreas potenciais para implantação do empreendimento. Dessa forma, visando atenuar a complexidade que envolve a seleção de áreas para a construção de aterros sanitários, concluíram que usos de técnicas de geoprocessamento se mostraram uma ferramenta eficaz para a realização da identificação preliminar de áreas ideais para implantação desse tipo de empreendimento.

- “Análise espacial (lógica Booleana) aplicada na identificação de áreas aptas a implementação de um aterro sanitário simplificado, Nova Ipixuna – PA”, de Santos *et al.* (2018), com objetivo de delimitar áreas propícias para se implantar um aterro sanitário simplificado em Nova Ipixuna, utilizaram o uso de multicritérios de aptidão e restrição com auxílio do geoprocessamento. Ao final do processamento selecionaram 17 áreas aptas quanto aos critérios sócio-ambiental-econômico que estão dispostas geológica e pedologicamente sobre áreas com excelentes características geotécnicas de permeabilidade e porosidade para se implantar um aterro sanitário. Os autores, ressaltaram que é necessário aplicar um filtro sobre estas áreas pré-selecionadas optando-se por aquelas mais antropizadas, de propriedade pública para se inibir gastos com desapropriações e em empecilhos documentacionais.
  
- “Análise baseada em SIG usada para selecionar áreas favoráveis da construção de aterros sanitários na cidade de Jacundá-PA”, de Santos e Felipe (2019). Os autores abordaram em seu estudo que a acomodação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em lugares impróprios, como nos lixões, além de poluir o meio ambiente favorece a propagação de vetores transmissores de doenças. Nesse sentido o trabalho dos autores, teve como objetivo fundamental gerar um mapa identificando as áreas favoráveis à implantação de um aterro sanitário, que é uma socioambiental adequada para disposição dos RSU. Utilizando a análise multicritérios e o método booleano, realizaram a seleção e classificação de terrenos a partir de técnicas de geoprocessamento pautadas em critérios geoambientais. O resultado obtido gerou um mapa classificando áreas como inaptas, restritas, moderadas e favoráveis à implantação de um aterro sanitário no município de Jacundá-PA.

- “Análise Regional para Implantação de Aterro Sanitário Utilizando Software Livre”, de Colman *et al.* (2016). Em seu estudo identificaram áreas com aptidão para implantação de aterro sanitário na região Sul do Estado de Mato Grosso do Sul, por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) utilizando análise multicritério. Os autores, atribuíram pesos diferenciados para a determinação de áreas consideradas com ou sem restrição para instalação do referido aterro. As classes mais propícias para a instalação do aterro apresentam as maiores áreas (220.800 hectares), representando 78% da área de estudo, nos municípios de Tacuru e Iguatemi. As classes com maior restrição apresentaram-se pouco representativas na área estudada, cabendo ao município de Coronel Sapucaia, o maior quantitativo com cerca de 47 hectares. Os autores, ressaltaram que o estudo é uma primeira aproximação desse tipo de estudo, pois a inclusão de outras variáveis de ordem socioambiental (opinião dos moradores locais, e normas como o Código Florestal e Zoneamento Ecológico Econômico), pode implicar em mais restrições e potencialidades para a localização desse tipo de empreendimento.

Neste contexto, a partir dos exemplos expostos, pode-se afirmar que estudos de seleção de áreas para aterros sanitários são relevantes, considerando que a escolha errada de uma área pode causar impactos socioambientais e econômicos. E que o SIG com a análise multicritério é um método que têm se mostrado eficaz. No entanto, embora de grande relevância, estudos semelhantes não foram encontrados para área de estudo, o que torna o estudo de suma importância.

#### **2.4 Legislações e normas vigentes**

Segundo Brito *et al.* (2016) existem no Brasil uma ampla gama de leis, resoluções, decretos e normas, que se aplicados poderiam reduzir e até mesmo eliminar o risco da disposição final dos RS causarem prejuízos à saúde da população, além da eminente economia com tratamento de água. Para tanto, é necessário o desenvolvimento de mecanismos de fiscalização que garantam a aplicação das legislações existentes.

A legislação sobre os RS deve evoluir juntamente com a sociedade, pois quanto maior a produção maior a necessidade de controle a partir de limites impostos por leis (BAIERLE *et al.* 2016). Neste sentido, em 1988 foi criada a Constituição Federal (BRASIL, 1988) que no artigo 225, aborda sobre o meio ambiente, explicitando, que o mesmo é essencial à sadia

qualidade de vida das atuais e futuras gerações, cabendo ao Poder Público e à coletividade garantir sua preservação.

O tema dos RS foi incluído na agenda das políticas públicas, ou seja, o problema passou a ser tratado como objeto de política pública em 2007, quando foi sancionada a Política Nacional de Saneamento Básico a Lei nº 11.445 de 2007.

A referida Lei foi sancionada, com o intuito de estabelecer as diretrizes nacionais para o saneamento básico, na qual em seu art. 3º considera que a limpeza urbana e manejo de RS são o “conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas” (BRASIL, 2007).

No âmbito infraconstitucional, como resultado da crescente preocupação com a preservação do meio ambiente, associada ao aumento da geração de RS, foi sancionada em agosto e regulamentada em dezembro de 2010 a PNRS (ROCHA; XIMENES; GUERRA, 2015).

A realização da PNRS está atrelada a Lei nº 12.305/2010, na qual traz em suas diretrizes a problemática da gestão integrada de RS, definida como “o conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os RS, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável” (BRASIL, 2010).

A Lei também explicita a preocupação com o gerenciamento, que envolve, indiretamente, várias etapas de coleta: transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos RS e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (REIS; FRIEDE; PASCARELLI, 2017).

Ainda segundo os autores, entende-se que, com a inclusão dos conceitos de redução, reutilização e reciclagem na Lei, pretende-se diminuir o uso de matéria-prima e retardar a disposição dos rejeitos, que é a última etapa da gestão sustentável dos RS. A sua efetivação permitirá o aumento do tempo dos recursos naturais no ciclo produtivo, bem como a vida útil dos AS (REIS; FRIEDE; PASCARELLI, 2017).

A PNRS estabelece diretrizes gerais aplicáveis a todos os tipos de RS, salvo os radioativos, e cria novo modelo de gestão dos resíduos com oportunidades de desenvolvimentos econômico e social. Desta forma, em seu art. 8º, I estabelece como um de seus instrumentos: “a criação de planos de RS por parte dos municípios, em que estes deverão apresentar, entre outras prioridades, uma disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (BRASIL, 2010).

Neste sentido, o art. 54 da Lei, deixa explícito que a disposição final dos resíduos de forma ambientalmente adequada, deveria ter sido implantada em até quatro anos após a data de publicação da lei, ou seja, todos lixões e aterros controlados deveriam ter sido substituídos por aterros sanitários até o ano de 2014 (BRASIL, 2010).

Contudo, em 2014, o Senado Federal prorrogou o prazo para encerramento dos lixões, pois as metas não foram alcançadas, e a partir da aprovação da emenda feita na Lei nº 12.305/2010, a data se estendeu para o intervalo entre 2018 e 2021, segundo o tamanho da população municipal (BRASIL, 2015).

Todavia, decorridos 10 anos da sanção da PNRS, no ano de 2020, o Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico (Lei nº 14.026, 2020) prorrogou do prazo para a instalação dos AS. A proposta do Novo Marco determina que:

A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deverá ser implantada até 31 de dezembro de 2020, exceto para os Municípios que tenham plano intermunicipal de resíduos sólidos ou plano municipal de gestão integrada de RS. Neste caso, as datas variam de agosto de 2021 a agosto de 2024, dependendo da localização e do porte, sendo:

- até 2 de agosto de 2021 - capitais de Estados e Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou de Região Integrada de Desenvolvimento (RIDE) de capitais;
- até 2 de agosto de 2022: municípios com população superior a 100 mil habitantes ou aqueles com mancha urbana da sede municipal a menos de 20 km da fronteira com países limítrofes;
- até 2 de agosto de 2023: municípios com população entre 50 mil e 100 mil habitantes;
- até 2 de agosto de 2024: municípios com população inferior a 50 mil.

Como visto, a data limite prevista na PNRS era 2014 e desde então, sem o apoio técnico e financeiro por parte dos Estados e da União, os gestores municipais têm tido dificuldades e não conseguem instalar os AS, e infelizmente os prazos estão sendo prorrogados. Além do aspecto financeiro, a falta de áreas apropriadas para a instalação dos AS dificultam ainda mais a problemática nos municípios, e por isso os estudos dessa temática são importantes.

Com a PNRS, a responsabilidade pelo lixo passa a ser compartilhada entre os cidadãos, empresas, prefeituras e os governos estaduais e federal (BRASIL, 2010). Por sua vez, a PNRS define como um de seus instrumentos o incentivo à adoção de consórcios ou de outras formas de cooperação entre os entes federados.

A Lei Federal dos Consórcios Públicos nº 11.107, foi criada em 2005 e estabelece as normas gerais de consórcios públicos, a fim de priorizar os recursos da União aos municípios que a realizam (BRASIL, 2005).

Conforme a Lei, consórcio público consiste na união entre dois ou mais entes da federação, sem fins lucrativos e de forma voluntária, com a finalidade de prestar serviços e desenvolver ações conjuntas que visem o interesse coletivo e benefícios públicos” (BRASIL, 2005).

Segundo Matos e Dias (2011), muitas cidades não conseguem obter recursos suficientes ou mesmo pessoal técnico, para realizar o tratamento adequado do lixo; e uma das formas mais eficientes encontradas para o enfrentamento da questão é o estabelecimento de parcerias entre diversos municípios para a gestão conjunta de seus RS, surgindo assim a opção da realização de consórcios intermunicipais.

Corroborando com os autores, Caldas (2007), afirmando que os consórcios intermunicipais são parcerias entre municípios para a realização de ações conjuntas, incrementando a qualidade dos serviços públicos prestados à população. Os consórcios surgem da iniciativa autônoma dos municípios, que resolvem atuar de forma cooperada em torno de uma questão em comum. Sua criação pode ser uma decisão do próprio município, de um município vizinho ou ainda do governo estadual ou federal.

Para a PNRS, a gestão de RS realizada de forma consorciada entre municípios é apresentada como uma possível solução destinada a aperfeiçoar o planejamento e sua respectiva operacionalização, garantindo maior eficiência, eficácia e efetividade frente aos grandes desafios que causam o entrave do setor, tendo prioridade na obtenção dos incentivos instituídos pelo Governo Federal (BRASIL, 2010).

Um dos pontos mais importantes quando se trata dos consórcios e da PNRS é a possibilidade de que a disposição final dos resíduos se realize em conjunto com vários municípios que, sozinhos não possuem estrutura financeira para uma obra desse porte (MODA, 2017).

Entretanto, Silveira (2008) destaca que a limitação frequente na formação de consórcios públicos, consiste no interesse político-partidário. Segundo Fonseca (2010) outras limitações, consistem na cultura do planejamento de curto prazo, o que favorece a incerteza da continuidade, na demora da formalização dos direitos e deveres de cada ente consorciado e na falta de um programa de educação ambiental continuado.

Embora a PNRS em 2010 veio proibir o uso de lixões como disposição final de RS, no Brasil desde de 1998, com a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605), os lixões já eram caracterizados como crime. Pois, em seu artigo 54, a referida lei, classifica a poluição como um crime ambiental e prevê penas para seus responsáveis, neste caso, os gestores municipais que por meio de seus atos destinam os resíduos para os lixões (BRASIL, 1998).

Outras legislações aplicáveis, para a implantação de AS, que devem ser consideradas para a seleção de áreas para AS, são:

- A Lei nº 12.725/2012 que instituiu como Área de Segurança Aeroportuária (ASA) uma área circular do território de um ou mais municípios, definida a partir do centro geométrico da maior pista do aeródromo ou do aeródromo militar, com 20 km (vinte quilômetros) de raio, cujos uso e ocupação estão sujeitos a restrições especiais em função da natureza atrativa de fauna. De acordo com a mesma lei, atividades atrativas ou potencialmente atrativas de fauna dentro da ASA são sujeitas à aplicação de restrições, que podem compreender desde a sua adequação até a cessação das operações.
- A Resolução nº 004 (CONAMA, 1995) define a ASA como áreas abrangidas por um determinado raio a partir do centro geométrico da pista de pouso/decolagem, de acordo com seu tipo de operação, estando subdivididos em 2 (duas) categorias: um raio maior que 20 km para aeroportos que operam de acordo com as regras de voos por instrumentos e um raio de 13 km para os demais aeroportos.
- O Código Florestal, Lei nº 12.651/12, que aborda sobre as áreas ao entorno dos cursos d'água, estabelecendo que as faixas marginais dos cursos d'água, são consideradas como Áreas de Preservação Permanente (APP), e o tamanho dessas áreas variam de acordo com a largura do curso d'água, medida a partir da borda da calha de seu leito regular; nas áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, no raio de 50 metros; nas encostas ou parte destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive; nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues; nos manguezais, em toda a sua extensão; nas bordas dos tabuleiros ou chapadas em faixa nunca inferior a 100m; no topo dos morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 m e inclinação maior que 25°, nas áreas em altitude superior a 1.800 metros; e em veredas, a faixa marginal com largura mínima de 50 m. A APP é uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

- A 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. E a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) 428/2010, que dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC), de que trata o § 3º do artigo 36 da Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, bem como sobre a ciência do órgão responsável pela administração da UC no caso de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos ao Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) e dá outras providências. Sendo que a mesma, coloca que o licenciamento de empreendimentos de significativo impacto ambiental que possam afetar a UC específica ou sua Zona de Amortecimento (ZA), assim considerados pelo órgão ambiental licenciador, com fundamento no EIA/RIMA, só poderá ser concedido após autorização do órgão responsável pela administração da UC ou, no caso das Reservas Particulares de Patrimônio Natural (RPPN), pelo órgão responsável pela sua criação.

Segundo a Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, as unidades de conservação integrantes do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) dividem-se em dois grupos, com características específicas:

- Unidades de Proteção Integral;
- Unidades de Uso Sustentável.

Onde o objetivo básico das Unidades de Proteção Integral é preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos nesta Lei. Já o objetivo básico das Unidades de Uso Sustentável é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais.

E em seu Art. 14. diz que constituem o Grupo das Unidades de Uso Sustentável as seguintes categorias de unidade de conservação:

- Área de Proteção Ambiental;
- Área de Relevante Interesse Ecológico;
- Floresta Nacional;
- Reserva Extrativista;
- Reserva de Fauna;
- Reserva de Desenvolvimento Sustentável;

- Reserva Particular do Patrimônio Natural.

A Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais. Sendo que pode ser constituída por terras públicas ou privadas. E devem ser respeitados os limites constitucionais, podendo ser estabelecidas normas e restrições para a utilização de uma propriedade privada localizada em uma Área de Proteção Ambiental.

A Reserva de Desenvolvimento Sustentável é uma área natural que abriga populações tradicionais, cuja existência baseia-se em sistemas sustentáveis de exploração dos recursos naturais, desenvolvidos ao longo de gerações e adaptados às condições ecológicas locais e que desempenham um papel fundamental na proteção da natureza e na manutenção da diversidade biológica.

Para a implantação de AS, também devem ser considerados os dados técnicos, os quais são descritos em normas. Para a apresentação dos projetos de AS não perigosos, recomenda-se que sejam adotadas a NBR 13.896 (ABNT, 1997), que fixa os critérios de projeto de aterros de resíduos não perigosos; e a NBR 8.419 (ABNT, 1992), que fala sobre as condições mínimas exigíveis para a apresentação de projetos de AS de RSU, além de adotar definições importantes relacionadas aos resíduos.

Cabe ressaltar que todo aterro, antes de ser implementado, deve obter as licenças exigidas pelos órgãos ambientais responsáveis (federais, estaduais e municipais); atender as legislações municipais, como os planos diretores e planos municipais de gestão integrada de RS; e ser de consenso e cooperação da população.

## **2.5 Critérios para seleção de áreas para aterros sanitários**

Segundo Filho (2017), a seleção de um local para implantar um AS não é trabalho simples, pois o elevado grau de urbanização dos municípios, acompanhado de uma ocupação intensa do solo, diminui a disponibilidade de áreas próximas aos locais de geração de lixo e com as dimensões exigidas para se implantar um AS que acolha às necessidades dos municípios.

Além dessa problemática, é necessário o conhecimento de alguns parâmetros que necessitam serem levados em consideração, como os parâmetros técnicos das normas e diretrizes legais. A NBR 13.896 (ABNT, 1997) estabelece critérios para localização de AS, e afirma que um local para ser utilizado para resíduos não perigosos (ênfase desse estudo), deve ser tal que:

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

Em qualquer caso, obrigatoriamente, a NBR 13.896 (ABNT, 1997) diz que os seguintes critérios devem ser observados:

- o aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações, em períodos de recorrência de 100 anos;
- entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,50 m de solo insaturado. O nível do lençol freático deve ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região;
- o aterro deve ser executado em áreas onde haja predominância no subsolo de material com coeficiente de permeabilidade inferior a  $5 \times 10^{-5}$  cm/s;
- os aterros só podem ser construídos em áreas de uso conforme legislação local de uso do solo.

Ainda segundo a NBR 13.896 (ABNT, 1997) para a avaliação da adequabilidade de um local aos critérios descritos diversas considerações técnicas devem ser feitas. O estudo dos ventos também deve ser avaliado. Abaixo constam, os critérios mais utilizados na seleção de áreas para AS:

#### i. Declividade

Segundo a NBR 13.896/1997 esta característica é fator determinante na escolha do método construtivo e nas obras de terraplenagem para a construção da instalação, recomendando locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%. No entanto locais com declividades maiores que 30% podem ser utilizados, com exceções.

Para Silva (2019), a declividade é um dos fatores primordiais para determinar a velocidade do escoamento superficial e a susceptibilidade à erosão. Pois uma declividade elevada faz com que o material não consolidado fique instável e propenso a infiltrações. Então, áreas que apresentam altas altitudes não são indicadas, pois se destaca o grande custo relacionado à construção e manutenção dos aterros nestes locais, além do risco devido à dificuldade do escoamento de drenagem, quando estes estão localizados em uma encosta muito plana.

De acordo com Ângelo, Oliveira e Silva (2014), as declividades inferiores a 3% possibilitam a infiltração do chorume e a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos, em paralelo, declividades acima de 30% permitem a susceptibilidade à erosão e transportes de poluentes através do escoamento superficial.

## ii. Geologia e pedologia

Segundo a NBR 13.896 (ABNT, 1997) tais indicações são importantes na determinação da capacidade de depuração do solo e da velocidade de infiltração. Considera-se desejável a existência, no local, de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a  $10^{-6}$  cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m.

Para Weber e Hasenack (2000) o Mapeamento Pedológico é de suma importância para estudos de aterros sanitários, pois, saber os tipos de solos que compõe o município é essencial para a implantação do AS, sendo os locais que apresentam solos mais profundos aconselhados, e terrenos rochosos não indicados, devido ao alto custo de escavação.

Filho (2017) afirma que, para o projeto de AS, se torna indispensável o conhecimento prévio do tipo de solo da região, e que o ideal para projetos de aterros, são os solos argilosos, por apresentarem características de alta impermeabilidade e serem resistentes a erosões.

Segundo Born (2013), os solos menos permeáveis se mostram mais adequados à implantação de AS, podendo-se considerar que o teor de argila encontrado nos solos é o fator primordial para esta análise. Ainda segundo a autora, quanto maior o teor de argila, menor é a permeabilidade e maior a resistência à erosão, portanto, maior será a aptidão do solo para a instalação de AS.

Ainda conforme a autora, para as áreas mais aptas para implantação do referido projeto, deve-se analisar a disponibilidade de material terroso para recobrimento e profundidade do

lençol freático, pois este fator é de extrema importância, visto que deve - se avaliar o risco de contaminação das águas subterrâneas (BORN, 2013).

### iii. Recursos hídricos

Segundo a NBR 13.896 (ABNT, 1997) deve ser avaliada a possível influência do aterro na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas próximas. O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água.

Conforme apontam Ângelo, Oliveira e Silva (2014), a construção do AS a uma distância segura de cursos d'água é de extrema importância no que se refere à diminuição dos riscos de contaminação ambiental, tendo em vista, que essa contaminação pode trazer prejuízos tanto para a fauna local, quanto pode vir a ser um problema de saúde pública, no caso do manancial superficial ou subterrâneo afetado for utilizado para abastecimento de um município.

### iv. Vegetação

Segundo a NBR 13.896 (ABNT, 1997) o estudo macroscópico da vegetação é importante, uma vez que ela pode atuar favoravelmente na escolha de uma área quanto aos aspectos de redução do fenômeno de erosão, da formação de poeira e transporte de odores.

Para Guevara *et al.* (2017), os locais em que o uso do solo é utilizado para pastagem são preferenciais para a implantação de AS, pois constituem áreas já desmatadas ou sem necessidade de fazê-lo. Já as Normas Técnicas são menos restritivas e indicam que as áreas selecionadas para implantação de aterro devem se localizar em regiões onde o uso do solo seja rural (agrícola) ou industrial e fora de qualquer Unidade de Conservação Ambiental.

### v. Acessos

A NBR 13.896 (ABNT, 1997) afirma o acesso que é fator de evidente importância em um projeto de aterro, uma vez que são utilizados durante toda a sua operação.

Ângelo, Oliveira e Silva (2014), apontam que para amenizar os problemas relacionados com ruídos, odores, impacto visual e riscos de disseminação de doenças pelo trânsito de veículos devido à proximidade do AS, deve-se atribuir uma distância de 0,3 Km como critério restritivo para toda a malha viária.

Segundo Weber e Hasenack (2000) é recomendado uma distância mínima de 200 metros das estradas. Tal recomendação visa preservar as áreas de circulação do impacto visual do aterro.

Para Silva (2019), as estradas são de suma importância, uma vez que o acesso ao aterro deve ser eficiente e sem transtornos. Em seu estudo, afirma que as faixas com até 200 metros estão totalmente restritas, enquanto que a mais recomendada é a distância próxima de 1000 metros, uma vez que se deve levar em conta o custo que levaria para abrir uma via de acesso para o aterro, caso o mesmo ficasse à uma distância muito longa da estrada.

vi. Tamanho disponível e vida útil

A NBR 13.896 (ABNT, 1997) recomenda que o tamanho disponível e vida útil em um projeto, estes fatores encontram-se interrelacionados e recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos.

vii. Custos

Os custos de um aterro, segundo a NBR 13.896 (ABNT, 1997) têm grande variabilidade conforme o seu tamanho e o seu método construtivo. A elaboração de um cronograma físico financeiro é necessária para permitir a análise de viabilidade econômica do empreendimento.

Considera-se importante, dar preferências por áreas de domínio do município, afim de diminuir custos e conflitos de interesse político. Desde que, essas áreas atendam às exigências mínimas estabelecidas.

viii. Distância mínima a núcleos populacionais

Segundo a NBR 13.896 (ABNT, 1997) deve ser avaliada a distância do limite da área útil do aterro a núcleos populacionais, recomendando-se que esta distância seja superior a 500 metros.

A delimitação do perímetro urbano definido por lei orgânica municipal deve ser respeitada em vista da avaliação de aptidões de terreno para instalação de AS, visto que os resíduos podem atrair vetores de doenças ou exalar odores desagradáveis. Em paralelo é importante destacar que o depósito de RSU também não pode estar distante, tendo em vista o gasto com combustíveis (MOREITA; BARBERI; OLIVEIRA, 2018).

ix. Distância do centro de geração de resíduos

Tressoldi e Consoni (1998) destacam que o local de funcionamento de um AS deve estar em uma distância mínima de 5 km do centro atendido. Também é elucidado que essa distância pode variar entre 5 e 20 km, contudo, deve-se haver restrições, pois ao olhar econômico, uma área próxima ao centro urbano facilita o transporte dos resíduos coletados e é importante, visto que contribui para um baixo custo do transporte dos resíduos até o aterro. Contudo, deve respeitar uma distância mínima, visando evitar transtornos à população, tais como: mau cheiro, fluxo de entrada e saída de caminhões coletores dentro do núcleo urbano, entre outros.

x. Distância mínima de aeródromo e aeroporto

A Lei Federal nº 12.725 (BRASIL, 2012), que dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos, estabelece um raio de 20 km a partir do centro geométrico da maior pista de um aeródromo como ASA.

A resolução Conama 004 (BRASIL, 1995) também define ASA e veda nessas áreas a implantação de atividades de natureza perigosa, entendidas como foco de atração de pássaros, assim como quaisquer outras atividades que possam proporcionar riscos semelhantes à navegação aérea, como AS.

Em estudo semelhante Kuerten (2018), optou por utilizar como critério eliminatório (excluíram), um raio de 20 km a partir do centro geométrico da pista de aeródromos. Já Marques (2011), adotou um raio de 13 km conforme normativa nº 5 do Estado de Goiás.

A relação entre os aeroportos ou aeródromos e a localização de uma área para a construção de AS é de extrema importância, visto que locais para deposição de resíduos, geralmente costumam atrair aves, que por sua vez podem atrapalhar as atividades de voos (NASCIMENTO & SILVA, 2011).

xi. Distância mínima de áreas de preservação permanente

Conforme o atual Código Florestal (Lei Federal nº 12.651/12):

A APP possui a função de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas, constituindo-se dever do proprietário da área manter sua vegetação (BRASIL, 2012).

Para os efeitos da referida lei são consideradas APP as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, variando sua largura entre 30 metros para cursos d'água com largura inferior a 10 metros e 500 metros para cursos d'água com largura superior a 600 metros, e o tamanho dessas áreas variam de acordo com a largura do curso d'água, medida a partir da borda da calha de seu leito regular. Também são APP: áreas no entorno de lagos, lagoas, nascentes, olhos d'água e reservatórios artificiais (que barrem curso hídrico), encostas com declividade superior a 45°, ambientes com altitude superior a 1.800 metros, dentre outras áreas (BRASIL, 2012).

## xii. Unidades de conservação

De acordo com o SNUC (Lei nº 9.985, 2000), as Zona de Amortecimento (ZA) são entendidas como o entorno da UC, onde serão impostas normas e restrições para as atividades humanas, com a finalidade de minimizar os impactos negativos sobre a unidade. Por isso o interior e o entorno das UC de proteção integral são considerados áreas com restrição para instalação de AS.

Para Silva (2019), é válido ressaltar que as áreas com porções de terra sujeitas a inundação foram excluídas em sua análise, bem como Áreas de Preservação Ambiental (APA). As referidas exclusões têm como propósito, evitar áreas que estejam inseridas nos perímetros com chances de alagamento e que contenham demais características que se mostrem desinteressantes no tocante a implantação de AS, como é o caso de Áreas de Proteção.

## 2.6 Sistema de informações geográficas (SIG)

Um dos problemas para a implantação de um AS está associado à alta complexidade para a correta alocação dessa obra de infraestrutura, pois envolve dados técnicos, ambientais, econômicos e sociais (LOURENÇO *et al.* 2017). Assim, para analisar os locais mais adequados, o geoprocessamento tem servido como uma ferramenta de auxílio na implementação desses projetos, pelo fato de o SIG possibilitar a inserção dos dados calculados no espaço geográfico, além de diversas análises ambientais e da paisagem (LOURENÇO *et al.* 2017).

Corroboram Colman *et al.* (2016), que afirmam que as várias técnicas de seleção de áreas adequadas para a instalação de AS, via de regra, se valem das geotecnologias, por meio da utilização de produtos de sensoriamento remoto e de SIG nas diversas etapas de gestão.

Para Silva (2004), o SIG tem como principal característica a possibilidade de otimizar a atualização dos dados, já que a realidade se encontra em constante mutação, servindo para acompanhar estas mudanças ocorridas no espaço geográfico e fazer as devidas alterações que ocorrem ao longo dos anos. O SIG tem se tornado um instrumento fundamental no planejamento urbano e regional, já que é uma ferramenta importante na elaboração e no controle das políticas públicas voltadas aos municípios (ROCHA; XIMENES; GUERRA, 2015).

Nas questões ambientais a ferramenta é destinada a tratar dos problemas encontrados levando em conta a localização, a extensão e as relações espaciais dos fenômenos analisados, contribuindo e acompanhando à evolução passada e futura de um determinado local de estudo, abordando uma interdisciplinaridade na projeção e nas ações de um planejamento (MOURA, 2005).

Segundo Carissimi, Wolf e Tavares (2015), para a utilização do SIG para a seleção de áreas para AS, primeiramente é preciso ter um conjunto de dados referente a essas áreas, esses dados precisam ser inicialmente normatizados para um sistema único de referência, o que possibilitará as análises espaciais e a correlação entre os diversos dados oriundos das mais diversas fontes como, por exemplo: mapa dos solos, mapa de declividade, mapa de vegetação, mapa de bacias hidrográficas e localização de estradas entre outros. Após selecionadas as áreas, continua-se com visitas in loco para verificação das condições do terreno e executar os estudos detalhados (CARISSIMI; WOLF; TAVARES, 2015).

Portanto, as técnicas de geoprocessamento incorporados em SIG têm se evidenciado uma importante ferramenta para a seleção de tais áreas, sendo utilizada por muitos pesquisadores (LOURENÇO *et al.* 2015).

## **2.7 Análise multicritério**

Os problemas de decisão envolvem múltiplos objetivos e critérios muitas vezes contraditórios entre si, em que a contribuição de um critério quase sempre apresenta um prejuízo em outro. Nos dias atuais, a problemática da tomada de decisão é caracterizada por um número crescente de alternativas e critérios, posto que os decisores necessitam selecionar, ordenar, classificar ou ainda descrever com detalhes as alternativas tecnológicas disponíveis, considerando múltiplos critérios (ROCHA; XIMENES; GUERRA, 2015).

Há vários métodos de análise multicritério para a determinação dos pesos estatísticos dos critérios, sendo um deles o método de “comparação par a par”, também conhecido como o

método de *Saaty* ou *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que significa Processo Analítico Hierárquico.

O método foi desenvolvido na década de 1970, e sua principal característica tem como base a decomposição hierárquica do problema criando-se uma hierarquia de critérios e convertendo avaliações subjetivas de importância relativa em um conjunto de pontuações ou pesos gerais (ANDRADE; BARBOSA, 2015).

Segundo Spigolon *et al.* (2015), o AHP é um método de análise multicritério baseado na decomposição e síntese das relações entre as variáveis e grupos de critérios, resultando na priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho, e é baseada na escala de julgamento definida por *Saaty* em 1977.

A escala, conhecida como escala fundamental de *Saaty* fornece classificações utilizadas para a ponderação das variáveis par a par, com (1) significando a indiferença de importância de uma variável em relação a outra, e (9) significando a extrema importância de uma variável sobre outra, com estágios intermediários de importância entre (1) e (9). Esse processo resulta em uma matriz de comparação para a avaliação de cada grupo de critério (SPIGOLON *et al.* 2015).

Segundo Andrade e Albuquerque (2012), os métodos de apoio multicritério à decisão não substituem o elemento humano na tomada de decisões, mas fornecem uma avaliação global mais exata dos vários fatores envolvidos no estudo, facilitando, assim, a tomada de decisões. Assim como os demais métodos, o AHP não objetiva a uma única solução do problema, mas sim ao apoio ao decisor, sugerindo ações que se mostrem mais eficazes para a resolução do problema.

Silva (2019) em sua metodologia, utilizou o aplicativo online “Calculadora Prioritária AHP” para a definição dos pesos de cada variável escalonada, que permite inserir as variáveis trabalhadas, bem como realizar a comparação entre elas, de acordo com o seu nível importância uma sobre a outra.

Já Spigolon *et al.* (2015) em todo o processo de julgamento dos critérios de sua pesquisa, utilizaram o programa *Expert Choice 11.5*, que utiliza o princípio do AHP para gerar os percentuais das relevâncias para os dados de saídas utilizados para na construção da expressão algébrica do processo de mapeamento.

Nesse contexto, a aplicação de técnicas de geoprocessamento associadas a métodos análise multicritério para a seleção de áreas adequadas para a instalação têm se mostrado uma ferramenta eficaz para a solução da problemática.

## 2.8 Problemática dos RSU nos municípios de Tucuruí e Breu Branco

Os municípios de Tucuruí e Breu Branco integram, com os municípios de Goianésia do Pará, Jacundá, Nova Ipixuna, Itupiranga e Novo Repartimento, a Região de Integração do Lago de Tucuruí (RILT), subdivisão adotada pelo governo do Estado do Pará para promoção do desenvolvimento regional. A RILT é conhecida por sediar a construção e operação da Usina Hidroelétrica da empresa Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A – Eletronorte, obra que provocou inúmeros impactos socioambientais e econômicos na região.

Segundo o PEGIRS (2014) os 7 municípios da RILT, considerando a população urbana consolidada e a população das sedes distritais, geram cerca de 196,6 toneladas de RSU por dia. Desta quantia, estima-se que 173,5 t/dia seriam coletadas, deixando 23,1 t/dia que corresponde a aproximadamente 13% sem coleta. Sendo que os RSU de todos os municípios, ainda são dispostos em lixões a céu aberto, realidade da maioria dos municípios do Estado do Pará.

De acordo com PEGIRS (2014) Tucuruí é o município polo da RILT, responsável por cerca de 81,6 t/dia de RSU pela população total. Destaca-se que o município participa com 79,6 t/dia, com 40,5% da geração da população urbana da região de integração, e com isso, a população urbana gera em torno de 0,84 kg/hab.dia.

A taxa de cobertura de limpeza urbana em Tucuruí é de 100% da coleta regular, e a frequência da coleta de RSU, conforme plano de coleta varia entre coleta diária (pontos centrais da cidade) e coleta alternada (demais pontos).

A disposição final do município de Tucuruí é realizada em lixão/vazadouro a céu aberto, localizado, sob as coordenadas S 03°53'29,3" e W 049°39'21,0", instalado em terreno de propriedade da prefeitura e não atende a outros municípios. Com relação ao AS, não existe projeto para o município, porém existe Licença Prévia (LP) para o local de instalação AS. Este está localizado sob as coordenadas S 03°53'29,3" e W 049°39'21,0", com previsão de vida útil de 20 anos, para um processo de remediação de lixão.

De acordo com Fonseca (2010) a gestão dos RSU no município de Tucuruí era realizada através da administração indireta, por empresas terceirizadas, desde 2005, sem cobranças pelos serviços, que ocorreu até o ano de 2020. No ano de 2021 a gestão passou a ser de forma direta, realizada pela Secretaria Municipal de Obras, Serviços Urbanos e Habitação.

Figura 7 – Lixão do município de Tucuruí



Fonte: Autoras (2021).

O município de Breu Branco, segundo o PERGIS (2014) gera cerca de 36,22 t/dia de RSU, que são coletados e encaminhados para disposição final, o lixão a céu aberto, situado a 4 km do centro da cidade, à margem esquerda da PA-263 (sentido Goianésia - Breu Branco), entrada da cidade, uma localidade chamada vaquejada, de propriedade privada (Figura 8).

De acordo com Fonseca (2010), a gestão dos RS no município de Breu Branco é realizada pela administração direta. A autora ainda firma que, a coleta de lixo é realizada em dias alternados, exceto na área central da cidade, onde a coleta é diária. E não é realizada pelo município a cobrança, através de taxas ou tarifas específicas, pelos serviços prestados nas áreas de RSU.

É válido ressaltar que o município de Tucuruí possui área e população rural pequena. Já Breu Branco, possui metade da sua população distribuída na sua zona rural, e por isso, o mesmo consta com soluções particulares para essas áreas.

Os municípios de Tucuruí e Breu Branco distam aproximadamente 28 quilômetros, possuindo um tráfego de habitantes e mercadorias expressivo para ambas as economias locais. Por sua proximidade, os municípios podem ter a formação de um AS consorciado, resultando em uma solução para a disposição final dos RSU.

Corroborando com a afirmação, o estudo de Fonseca (2010), que sugere a formação de consórcio intermunicipal entre os municípios, para a implantação de AS, como um instrumento

eficaz de gestão de RSU. O PEGIRS de 2014, sugere a formação de um ASR (formação de consórcio intermunicipal) entre os municípios de Tucuruí, Breu Branco e Goianésia, afim de minimizar a problemática dos RS e afirma que essa configuração é a mais vantajosa economicamente para os municípios.

Figura 8 – Lixão do município de Breu Branco



Fonte: Autoras (2021).

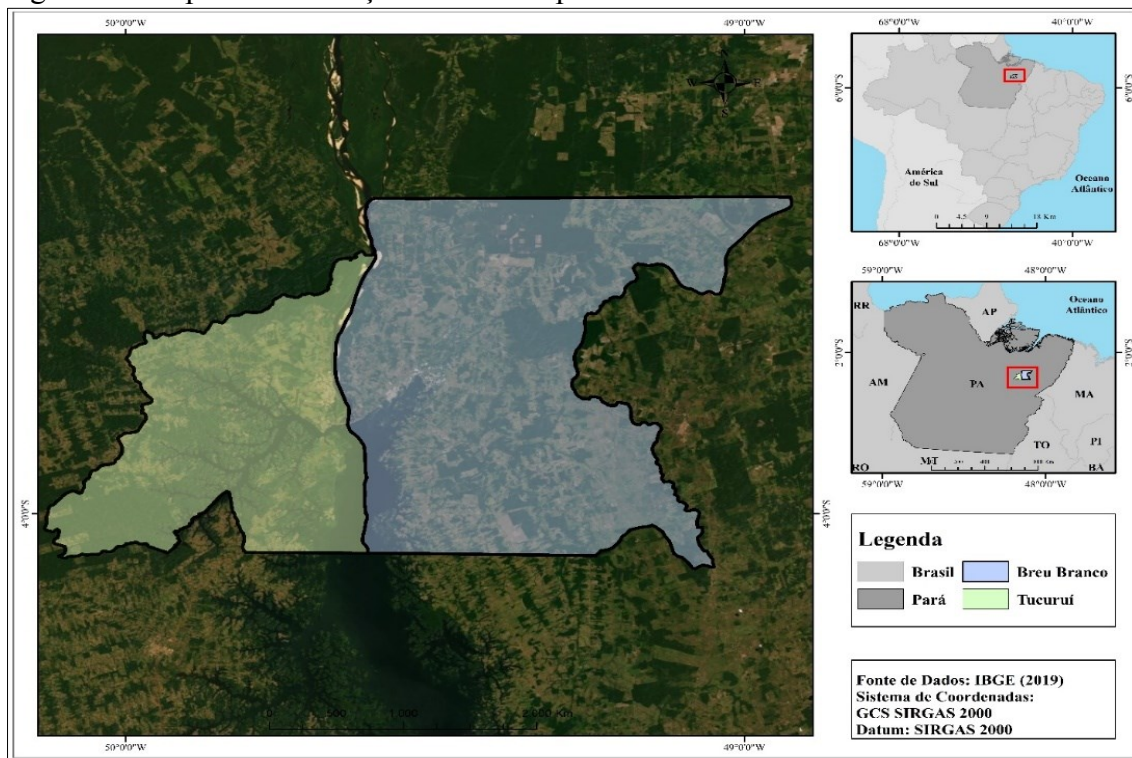
Neste sentido, com a caracterização dos municípios considera-se importante, identificar áreas aptas para a implantação de um aterro sanitário em ambos os municípios, sendo este preferencialmente, em forma de consórcio público. E as áreas para AS devem apresentar características que visem minimizar os impactos socioambientais ocasionados por este tipo de atividade e estejam de acordo com a legislação vigente.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Área de estudo

Os municípios de Tucuruí e Breu Branco localizam-se na microrregião de Tucuruí e na mesorregião do Sudeste Paraense do estado do Pará, região Norte do Brasil (Figura 9). Os municípios juntos possuem uma área de 6.026,2 km<sup>2</sup>, fazem parte da bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins e são de clima Tropical.

Figura 9 – Mapa de localização dos municípios de Tucuruí e Breu Branco



Fonte: Autoras (2021).

O município de Tucuruí possui uma área de 2.084,29 km<sup>2</sup>, delimitado pelas coordenadas de Latitude 03°45'58'' S e Longitude 49°40'21'' W. A população estimada é de 113.659 habitantes (IBGE, 2019). O clima úmido de monção e sua cobertura vegetal primitiva é formada por floresta tropical. Seu relevo é levemente ondulado, cortado pelo rio Tocantins e seus afluentes.

O município de Breu Branco possui uma área de 3.941,91 km<sup>2</sup>, delimitado pelas coordenadas de Latitude 04°04'04'' S e Longitude 49°38'13'' W. A população estimada é de 66.046 habitantes (IBGE, 2019). O clima é tropical úmido de monção e áreas de floresta, juquira

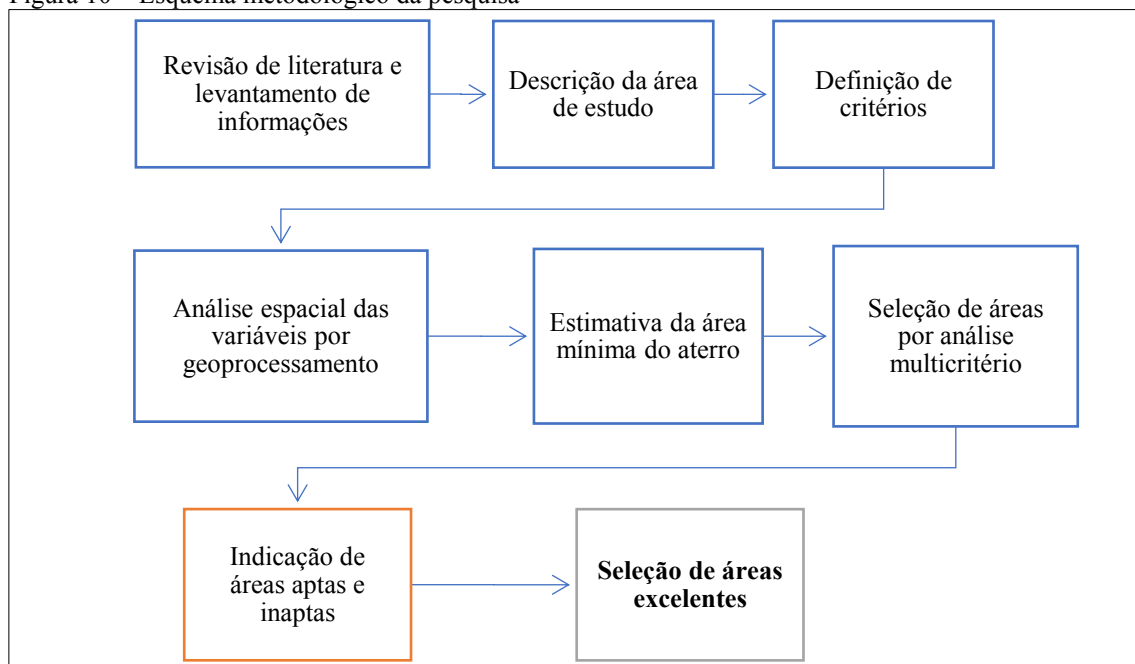
e pastagens. Seu relevo é de ondulações suaves, cortado pelos rios Tocantins e Moju e seus afluentes.

A região formada pelos municípios de Breu Branco e Tucuruí, faz parte da RILT, onde encontra-se a Usina Hidrelétrica (UHE) de Tucuruí. Os dois municípios distam cerca de 28 km e devido à proximidade entre as sedes municipais, no que se refere ao comércio, trabalho e à utilização dos equipamentos e serviços urbanos (PMBB, 2006).

### 3.2 Métodos

Neste tópico serão apresentadas as etapas metodológicas da pesquisa, que utilizou geoprocessamento, análise multicritério e cálculos, para a seleção de áreas adequadas para a implantação de Aterro Sanitário de RSU, seguindo as leis e normas vigentes. Dessa forma, a Figura 10 apresenta o esquema metodológico da pesquisa.

Figura 10 – Esquema metodológico da pesquisa



Fonte: Autoras (2021).

A pesquisa é do tipo quantitativa e qualitativa, uma vez que seu resultado deverá atender a uma determinada população em crescimento e também seguirá critérios pré-estabelecidos.

O estudo das alternativas locais baseia-se em metodologia que busca em um primeiro momento, a partir da aplicação de critérios eliminatórios, a avaliação de toda a região de interesse, com vistas à identificação e exclusão de áreas aptas e não aptas que por algum dos critérios avaliados não possam receber empreendimento dessa natureza.

E em um segundo momento, a metodologia se propõe a análise classificatória das áreas selecionadas, analisando os critérios, levando à indicação de excelentes áreas adequadas para sua implantação.

Por meio de pesquisa bibliográfica, estudos realizados sobre a temática foram analisados, como os de Silva (2019); Rocha, Ximenes e Guerra (2015).; Baierle *et al.* (2016); Carrilho, Candido e Souza (2018); Rocha *et al.* (2019); Aquino, Nero e Costa (2019); Dutra *et al.* (2019); Felipe *et al.* (2019); Colman *et al.* (2016); junto com a NBR 13.896/97 e NBR 8.419/92 da ABNT, as leis nº 12.725 (BRASIL, 2012) e nº 12.651 (BRASIL, 2012), a Resolução do CONAMA nº 428 (BRASIL, 2010) e demais diretrizes ambientais referentes aos critérios que devem ser seguidas para a seleção de áreas para a implantação de um AS.

Também foram consultados órgãos competentes municipais referentes aos dois municípios de Tucuruí e Breu Branco, a fim de buscar informações e/ou dados que seriam importantes para desenvolver o referido trabalho. Em conversa com os representantes da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA) de Tucuruí e SEMMA de Breu Branco, foi relatado que ambos os municípios não possuem uma disposição final adequada dos rejeitos, dispondo os mesmos em lixões a céu aberto, sem nenhuma medida de controle. Foi indagado também, se havia algum estudo técnico que indicava alguma área ou áreas aptas para a instalação de um AS, e foi relatado que somente em Tucuruí existe a indicação de uma área localizada sob as coordenadas S 03°53'29,3" e W 049°39'21,0", com uma previsão de vida útil de 20 anos.

### 3.2.1 Seleção de critérios

Os critérios para a escolha de áreas para a implantação de AS devem envolver os aspectos ambiental, social e econômico, da região a ser escolhida. Na Tabela 2 estão descritos os 12 critérios escolhidos para o estudo e as respectivas fontes consultadas.

Todos os 12 critérios possuem como principal característica a disponibilidade e facilidade ao acesso de informações para obtê-las, justificando a escolha dos mesmos. Os critérios adotados foram: declividade, pedologia, hidrografia, APP, uso e cobertura do solo, UC, tamanho disponível, acessos, distância do centro atendido, distância mínima de núcleos populacionais, distância mínima de populações tradicionais e a proximidade de aeroportos.

No entanto, os critérios que não foram selecionados, não deixam de ser importantes, e não foram escolhidos para o estudo por difícil acesso à informação, devendo em outros estudos

técnicos serem avaliados, como por exemplo: a profundidade do lençol freático, o grau do coeficiente de permeabilidade do solo, a geologia, a direção dos ventos.

Tabela 2 – Critérios selecionados para identificação de áreas para implantação de AS

<b>Critérios</b>	<b>Fonte</b>
<b>Critérios ambientais</b>	
1. Declividade	NBR 13.896/1997 da ABNT.
2. Pedologia (tipos de solos)	NBR 13.896/1997 da ABNT.
3. Recursos Hídricos (distância dos cursos d'água)	NBR 13.896/1997 da ABNT.
4. Área de Preservação Permanente (APP)	Código Florestal, Lei nº 12.651/12.
5. Uso e cobertura do solo	NBR 13.896/1997 da ABNT e Silva (2019).
6. Unidades de conservação (UC)	Resolução CONAMA 428/2010 e Lei nº 9.985/20.
<b>Critérios econômicos</b>	
7. Tamanho disponível	NBR 13.896/1997 da ABNT.
8. Acessos	NBR 13.896/1997 da ABNT e Silva (2019).
9. Distância do centro atendido	Tressoldi e Consoni (1998) e Silva (2019).
<b>Critérios sociais</b>	
10. Distância mínima de núcleos populacionais	NBR 13.896/1997 da ABNT.
11. Distância mínima de populações tradicionais	NBR 13.896/1997 da ABNT.
12. Proximidade de aeroportos	Lei nº 12.725/2012 e CONAMA nº 04/1995.

Fonte: Autoras (2021).

### 3.2.2 Análise espacial dos critérios definidos

Cada critério possui sua importância na seleção de áreas para implantação de AS. Esses critérios podem ser melhor visualizados elaborando mapas. Com isso, todos os dados dos critérios definidos foram sistematizados, organizados e analisados com o uso do programa *ArcGis 10.5*, onde foram gerados os mapas temáticos. Os dados espaciais utilizados têm dois formatos: matricial (*raster*) e vetorial. E cada critério foi analisado individualmente, afim de determinar os resultados esperados para o trabalho.

#### 3.2.2.1 Declividade

A NBR 13.896/1997 recomenda locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%. Para a delimitação da declividade dos municípios, os dados matriciais utilizados foram os Modelos Digitais de Elevação (MDE), que são imagens que representam as elevações do terreno.

Os MDE utilizados foram adquiridos a partir do projeto TOPODATA, de responsabilidade do Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais (INPE). No entanto, antes de

gerar a declividade, foi necessário realizar um processamento no MDE, a fim de adequá-lo ao objetivo do estudo.

Após o tratamento do MDE, a classificação das declividades pôde ser gerada. As classes das declividades precisaram ser ajustadas para serem utilizadas no estudo, e neste caso, utilizou-se como referência a classificação de 1979 da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), que trata da descrição de relevo e suas respectivas classes (Tabela 3).

Tabela 3 – Classificação do relevo brasileiro

<b>Declividade (%)</b>	<b>Relevo</b>
<b>00 a 03</b>	Relevo plano
<b>03 a 08</b>	Relevo suavemente ondulado
<b>08 a 20</b>	Relevo ondulado
<b>20 a 45</b>	Relevo fortemente ondulado
<b>45 a 75</b>	Relevo montanhoso
<b>&gt; 75</b>	Relevo fortemente montanhoso

Fonte: EMBRAPA (1979).

### 3.2.2.2 Pedologia (tipos de solo) e Unidade de Conservação

Para a elaboração dos mapas de pedologia e UC dos municípios estudados, foram adquiridos dados vetoriais a partir do banco de dados disponibilizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), em seu portal de geociências. Ambos os dados foram processados e espacializados de forma individual, e assim, as classes de solos puderam ser identificadas; bem como as áreas de UC, que por serem áreas de importância ambiental e com legislação específica, foram identificadas e consideradas restritivas ao uso, afim de evitar conflitos de uso.

### 3.2.2.3 Recursos hídricos (distância dos cursos d'água)

A NBR nº 13.896/1997 estabelece que deve ser avaliada a possível influência do AS na utilização e na qualidade das águas superficiais, por isso estabelece a distância mínima de 200 metros de qualquer coleção hídrica ou curso d'água.

Os dados vetoriais dos cursos d'água dos municípios foram obtidos no banco de dados do site do IBGE (<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepagedo> IBGE).

A metodologia utilizada para a obtenção das distâncias dos cursos d'água pré-definidas foi a ferramenta *Euclidian distance*, que calcula as distâncias euclidianas de um vetor. As distâncias definidas para os cursos d'água foram: 0 a 200 m; 200 a 500 m e >500 m (NBR 13.896/1997; SILVA, 2019).

### 3.2.2.4 Área de Preservação Permanente

O Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) estabelece que as faixas marginais dos cursos d'água são APP's, e o tamanho dessas áreas variam de acordo com a largura do curso d'água, medida a partir da borda da calha de seu leito regular.

Para a delimitação das APP dos cursos d'água, foram usados os mesmos dados vetoriais dos cursos d'água do item 4.2.3.3. E foi utilizada a ferramenta *Buffer*, com as distâncias (Tabela 4) definidas pelo Código Florestal.

Tabela 4 – Largura de APP dos cursos d'água

<b>Largura do rio</b>	<b>Largura da APP</b>
Menos de 10 metros	30 metros
10 a 50 metros	50 metros
50 a 200 metros	100 metros
200 a 500 metros	200 metros
Mais de 600 metros	500 metros
Menos de 10 metros	30 metros

Fonte: Brasil (2012).

### 3.2.2.5 Uso e cobertura do solo

Para a elaboração do mapa de uso e cobertura do solo foram utilizados dados matriciais das imagens do Satélite *Sentinel 2*, com resolução espacial de 10 metros. Ressalta-se que embora o mapa gerado permita a visualização das características do uso e cobertura do solo, existem outras imagens de satélites com distâncias menores que 10 metros, que dão maior visualização ao mapa, no entanto, a maioria são pagas ou necessita de permissão de órgãos competentes, o que inviabilizou o uso dessas imagens de satélite.

As classes definidas para a delimitação no mapa foram adaptadas do projeto *TerraClass* e do Manual de Classificação do Uso da Terra, do IBGE, sendo elas: área urbana, floresta, regeneração com pasto, vegetação secundária, pasto, solo exposto, mosaico de ocupação e hidrografia.

A ferramenta Classificação Supervisionada foi utilizada para o processamento das classes de uso e cobertura do solo, em que são selecionadas amostras de cada classe de uso, em seguida as mesmas são processadas e vetorizadas de acordo com as classes definidas.

### 3.2.2.6 Centro atendido, núcleos populacionais, acessos, distância de aeroportos e distância de populações tradicionais

As feições vetoriais dos centros atendidos, núcleos populacionais, rodovias e estradas (acessos), aeroportos e populações tradicionais dos municípios foram obtidas a partir das bases cartográficas do IBGE (<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa222602>).

A metodologia utilizada para a obtenção das distâncias pré-definidas para todos os mapas citados acima, foi a ferramenta do *Euclidian distance*, que calcula as distâncias euclidianas de um vetor.

Tressoldi e Consoni (1998) destacam que o local de funcionamento de um AS deve estar em uma distância mínima de 5 km do centro atendido, e também é elucidado que essa distância deve variar entre 5 e 20 km. As distâncias definidas para os centros urbanos foram: 0 a 500 m; 500 a 1.000 m; 1.000 a 2.000 m; 2.000 a 5.000 m; 5.000 a 8.000 m; 8.000 a 10.000 m; 10.000 a 15.000 m; 15.000 a 20.000 m e >30.000 m (NBR 13.896/1997; SILVA, 2019).

A NBR nº 13.896/1997 estabelece a distância mínima de 500 metros de núcleos populacionais, e neste trabalho considerou-se as populações tradicionais como núcleos populacionais, sendo assim a distância mínima de 500 metros para essas áreas. As distâncias definidas para os núcleos urbanos e populações tradicionais foram: 0 a 500 m; 500 a 1.000 m e >1.000 m (NBR 13.896/1997; SILVA, 2019).

Os acessos, que se referem as estradas, são considerados um critério de evidente importância em um projeto de aterro, uma vez que são utilizados durante toda a sua operação (NBR 13.896/97). As distâncias definidas para os acessos foram: 0 a 200 m; 200 a 500 m; 500 a 1.000 m e >1.000 m (NBR 13.896/1997; SILVA, 2019).

A distância mínima de aeroportos adotada foi de 13km, com base na Lei nº 12.725/2012 e Resolução CONAMA nº 04/95. As distâncias definidas para os acessos foram: 0 a 13 km; 13 a 20 km e < 20 km.

### 3.2.3 Análise multicritério para tomada de decisão

Os critérios definidos, foram classificados de duas formas: restritivos e escalonados. O Tabela 5, mostra os 12 critérios adotados e que serão considerados para a determinação das áreas aptas/não aptas e áreas adequadas, para a implantação de um aterro sanitário, o seu tipo e sua principal descrição e/ou restrição quanto ao uso.

Tabela 5 – Classificação dos critérios e suas descrições

<b>CRITÉRIO</b>	<b>TIPO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
1. Declividade	Restritivo e Escalonado	Áreas com declividade inferior a 1% e superior a 30% devem ser restritas (NBR nº 13.896/97).
2. Pedologia (tipos de solos)	Escalonado	Preferências por solos argilosos, e deve-se excluir os solos arenosos e inundáveis (NBR nº 13.896/97 e Silva, 2019).
3. Hidrografia	Restritivo e Escalonado	Distância mínima de 200m de qualquer coleção hídrica (NBR nº 13.896/97).
4. APP	Restritivo	Respeitar as faixas marginais estabelecidas para cursos d'água e demais APP (Lei nº 12.651/12).
5. Uso e cobertura do solo	Escalonado	Áreas pouco utilizadas, são as mais indicadas para a instalação do aterro, sendo as áreas de floresta as mesmo indicadas (NBR nº 13.896/97 e Silva, 2019).
6. Unidades de Conservação	Restritivo	As UC de uso Integral são totalmente restritivas, no entanto, nas UC de Uso Sustentável, poderá ser concedido licenciamento ambiental, após autorização do órgão responsável (Lei nº 9.985/20 e CONAMA 428/2010).
7. Tamanho disponível	Restritivo	O aterro deve atender a estimativa de área mínima para a vida útil adotada (NBR 13.896/1997).
8. Acessos	Restritivo	Distância mínima de 200m do sistema viário (NBR 13.896/1997 da ABNT e Silva, 2019).
9. Distância do centro atendido	Escalonado	A distância deve variar entre 5 e 20 km (Silva, 2019).
10. Distância mínima núcleos populacionais	Restritivo e Escalonado	Distância mínima de 500 metros (NBR nº 13.896/97).
11. Populações tradicionais	Restritivo	Distância mínima de 500 metros (NBR nº 13.896/97).
12. Proximidade de aeroportos	Restritivo	Em aeroportos que operam de acordo com regras de voo por instrumento deve ser adotado o raio de 20 km, enquanto os demais aeródromos devem adotar o raio de 13 km (Lei nº 12.725/2012 e CONAMA nº 004/1995).

Fonte: Autoras (2021).

Os critérios considerados restritivos, são aqueles que em norma ou lei, estão proibidos de serem utilizados, foram eles: declividade, APP, UC, tamanho disponível, distância de acessos, distância de núcleos populacionais e distância de aeroportos. Sendo que as áreas classificadas como restritivas são consideradas inaptas e serão excluídas na seleção de áreas.

Já os critérios escalonados, foram: a distância do centro atendido, distância de núcleos populacionais, distância dos cursos d'água, distância das estradas, uso e cobertura do solo, pedologia e declividade.

Os critérios escalonados são fatores, que definem algum grau de aptidão para a área considerada, tais critérios, definem áreas ou alternativas em termos de uma medida contínua de aptidão, de tal forma que a esses fatores são atribuídos pesos e notas de acordo com o seu grau de avaliação para receber o projeto (WEBER e HASENACK, 2000).

Portanto, pode-se afirmar que a regra de decisão é uma ferramenta pela qual os critérios eleitos, fatores ou restrições são combinados, corroborando assim, para o método de análise de multicritério na área estudo (SILVA, 2019).

Após a análise espacial, estruturação e padronização dos mapas de critérios estabelecidos, utilizou-se uma regra de decisão para a seleção de áreas. Neste sentido, o método aplicado para definir os pesos dos critérios do tipo escalonado, a partir da importância de cada variável, foi o método AHP.

Na prática, cada critério é comparado um contra o outro ou de dois-a-dois e com base na importância que um fator tem sobre o outro, e é dado um critério de importância relativa a essa comparação. Por exemplo, digamos que o fator ‘solo’ é ligeiramente mais importante do que o fator ‘água’ em dada situação, logo, o valor dessa comparação será 3 e, por consequência, o valor da comparação ‘água’ em relação ao ‘solo’ será 1/3 (DOMINGOS & BRITO, 2010).

Este método possibilita informar qual dos elementos é mais importante para uma determinada tomada de decisão, e com que intensidade em uma escala de 1 a 9 este critério é mais importante, de tal forma que o valor “1” considera os dois elementos de relevância igual (SILVA, 2019). Desse modo, já existem programas que auxiliam na tomada de decisão multicritério, como por exemplo a Calculadora AHP *online*.

Esta solução, Calculadora AHP, é gratuita baseada na *web* ([bpmmsg.com/ahp/ahp-calc.php](http://bpmmsg.com/ahp/ahp-calc.php)), sendo uma ferramenta de suporte para processos de tomada de decisão. Os programas podem ser úteis em trabalho diário para problemas de decisão simples e também apoiar problemas de tomada de decisão complexos. E considerando o estudo de Silva (2019), para a definição dos pesos de cada variável escalonada, foi utilizado o aplicativo *Online* “Calculadora Prioritária AHP”, visto que é de fácil acesso.

No site, primeiramente, é necessário colocar no primeiro campo a quantidade de critérios que serão empregados na análise multicritério (Figura 12). Logo após, é necessário nomear os critérios de forma individual. A página retorna como resultado comparações pareadas que podem ser realizadas entre os fatores que foram nomeados. Existe também uma pergunta principal nessas comparações, sendo ela: “O fator A é mais importante que o fator B?” (Figura 11). Depois de responder qual fator é mais importante, em cada comparação deve-se responder o quão mais importante é o fator escolhido, em uma escala de 1 a 9 (escala de *Saaty*).

Figura 11 – Introdução dos critérios na Calculadora *Online* AHP

**Nomes de critérios AHP**

Por favor preencha

AHP priorities

Nome dos Critérios

1 Distância de cursos d'água

2 Uso e Cobertura do Solo

3 Distância de núcleos populacionais

4

5

máx. 45 caracteres cada.

OK

Autor de AHP-OS: Klaus D. Goepel, BPMSG. [Contato](#). Última atualização: 19 de setembro de 2019 Rev: 49

Fonte: Calculadora Prioritária AHP (2021).

Os critérios selecionados para o estudo foram adicionados na Calculadora AHP *Online*, sendo eles: distância de cursos d'água, uso e cobertura do solo, distância de núcleos populacionais, distância do centro atendido, distância de estradas, pedologia, declividade; em seguida, inicia-se as comparações de pares para calcular as prioridades.

Após preencher todas as comparações e clicar em “calcular” os pesos, o site gera um valor de razão de consistência dos julgamentos, simbolizado pela sigla CR. Segundo o método AHP, a razão de consistência sempre deve ser inferior a 10%. Ou seja, sendo inferior a 10%, significa que todos os julgamentos foram coerentes, não havendo inconsistência. Em seguida, aparecem os pesos já calculados para todos os critérios.

Desta forma, ao fim do processo de comparação pareada, o aplicativo disponibiliza uma matriz de decisão, bem como a porcentagem de importância para cada variável, de acordo com o seu nível de importância. Desta forma, foi possível definir os valores dos pesos para os critérios escalonados que serão necessários para o mapeamento das áreas aptas a receber o aterro.

Por conseguinte, definiu-se as notas de cada classe pertencente aos critérios escalonados. Para tal, vale elucidar que a avaliação de cada classe quanto a sua aptidão para a implantação do aterro, seguiu as normas e leis regentes, bem como a literatura estudada.

As notas estabelecidas para cada classe variam de “0” a “5”, de tal forma que “5” seria a área de maior aptidão (considerada excelente) para receber o empreendimento, como pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 – Intervalo de notas para classificação do nível de aptidão da área

Notas	Classificação da área
0,0	Inapropriada
1,0	Péssima
1,0 – 3,0	Ruim
3,0 – 4,5	Regular
4,5 – 5,0	Excelente

Fonte: Silva (2019).

Nesse sentido, após a elaboração dos critérios de aptidão para a implantação do aterro, foram aplicados os critérios restritivos, exposto no Tabela 7:

Tabela 7 – Critérios considerados restritivos para a implantação do aterro sanitário

Critério	Descrição
1. Declividade	Áreas com declividade inferior a 1% e superior a 30%.
2. Hidrografia	Distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica. Restringir as faixas marginais dos cursos d'água que são APP's, e o tamanho dessas áreas variam de acordo com a largura do curso d'água, medida a partir da borda da calha de seu leito regular
3. Área de Preservação Permanente (APP)	Por exemplo, a distância mínima de 500 metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 metros.
4. Unidades de Conservação	Restringir toda área.
5. Tamanho disponível	Atender ao valor da área mínima calculada.
6. Acessos	Distância mínima de 200 m do sistema viário.
7. Distância mínima núcleos populacionais	Distância mínima de 500 metros.
8. Distância mínima de populações tradicionais (aldeia indígena)	Distância mínima de 500 metros.
9. Proximidade de aeroportos	Restringir a distância de 13 km.

Fonte: Autoras (2021).

Com isso, após a análise dos critérios que irão definir as áreas aptas para receber o AS, o próximo passo consistiu na atribuição das notas já estabelecidas para cada classe, no programa *ArcGis 10.5*.

Para a geração do mapa de aptidão, primeiro foi feita a conversão dos dados vetoriais de cada variável para o formato *raster*, que é formato imagem, pois alguns mapas, como o mapa de uso e ocupação do solo e de pedologia, estavam em formato de vetor, aí a necessidade de conversão.

Depois foram atribuídas as notas de cada classe por meio da ferramenta *Reclassify*; e posteriormente a sobreposição ponderada dos dados reclassificados, com atribuição dos pesos,

utilizando a ferramenta *Weighted Overlay*. A ferramenta *Weighted Overlay* é utilizada em casos de cruzamento de mapas, a partir de pesos estabelecidos pelo usuário, viabilizando assim a Análise Multicritério Ponderada.

Para a geração do mapa de restrições, foram aplicados os critérios restritivos ao mapa de aptidão. Para isso, foram utilizadas ferramentas que efetuam o recorte dessas áreas (*clip e symmetrical difference*). No entanto, não foi possível aplicar no critério de declividade, devido ao seu formato matricial (*raster*), e por isso não foi possível realizar sua conversão para o formato vetorial.

O mapa final de áreas adequadas, foi realizado a partir da seleção das áreas consideradas excelentes para a instalação do aterro; foram verificados os tamanhos das áreas excelentes; e por fim, selecionadas aquelas que possuem dimensão igual ou superior a área mínima calculada.

Ao final as áreas encontradas foram visualizadas no programa *Google Earth Pr*, para verificação das áreas indicadas para a implantação do aterro sanitário, a partir da análise de componentes da paisagem.

#### 3.2.4 Estimativa da área mínima do aterro sanitário

Para a estimativa da área (tamanho) necessária para a instalação e funcionamento do AS, se fez necessário estimar a população dos municípios, bem como a geração dos resíduos gerados durante o tempo de funcionamento do aterro (vida útil). Assim, considerou-se para os municípios de Tucuruí e Breu Branco, uma vida útil de 20 anos para o AS, baseado na NBR 13.896/1997 da ABNT, para um período de 2020 a 2040. Para a realização dos cálculos utilizou-se o Programa *Microsoft Excel*.

##### 3.2.4.1 Estimativa populacional

A estimativa do número populacional sempre serviu de controle para o próprio conhecimento de determinada área sobre o quantitativo de indivíduos, os quais ocupam determinado espaço geográfico, aspirando, na maioria dos casos, o planejamento dos recursos do local ou governo, para se elaborar um plano condizente com o equilíbrio entre população e meio (SILVA, 2019).

No caso do planejamento de AS não é diferente, pois, ao saber o quantitativo da população é possível saber a quantidade de resíduos que será produzida em determinado período. De tal forma que a projeção dessa população auxilia no dimensionamento da escolha

do local para a implantação do projeto, sendo primordial para determinar o tamanho da área e a vida útil do AS, para o qual consiga suportar a demanda da população e dos resíduos gerados no período em que o aterro estiver em funcionamento (SILVA, 2019).

Diante disso, através dos dados populacionais dos censos de 2000 e 2010, disponibilizados pelo IBGE, ressaltando que estes dados populacionais são os mais recentes encontrados, é possível estimar aritmeticamente a população dos municípios para os próximos 20 anos.

Esse cálculo foi realizado de acordo com o método aritmético proposto por Tsutiya (2006). Trata-se de uma metodologia que pressupõe uma taxa relativamente baixa de crescimento constante da população para um período futuro, a partir de dados conhecidos de projeção aritmética, que consiste em uma estimativa populacional a partir da aplicação da uma taxa constante (k).

$$k = \frac{P_2 - P_0}{T_2 - T_0} \quad (1)$$

Onde:

k= Coeficiente de crescimento;

P<sub>0</sub>= População inicial (penúltimo senso);

P<sub>2</sub>= População final (último senso);

T<sub>0</sub>= Ano inicial (penúltimo senso);

T<sub>2</sub>= Ano final (último senso).

A partir da aplicação da Equação (1) é possível definirmos o coeficiente de crescimento (k), o qual é dado pela variação da população ( $\Delta P$ ), dividida pela variação do tempo ( $\Delta T$ ).

Para o cálculo da projeção populacional dos municípios para os próximos 20 anos, utilizou-se a Equação 2:

$$Pr = P_0 + k \times (T_2 - T_0) \quad (2)$$

Onde:

Pr = Projeção de crescimento aritmética (população que se deseja estimar);

k = Coeficiente de crescimento;

P<sub>0</sub>= População inicial (último senso);

$T_0$ = Ano inicial (2020);

$T_2$ = Ano final (2040).

Os cálculos foram feitos para os dois municípios isolados e posteriormente os valores das populações foram somados, conforme Equação 3.

$$PA = PT + PB \quad (3)$$

Onde:

PA= População da área de estudo;

PT= População de Tucuruí;

PB= População de Breu Branco.

#### 3.2.4.2 Estimativa da geração de resíduos sólidos

Outro aspecto importante para o cálculo da área mínima do AS é a estimativa de produção de RS até o fim da vida útil do mesmo (BAIERLE *et al.* 2016). Com a população estimada é possível estimar o volume de RS produzidos.

Para tal, foram utilizados os dados do PEGIRS (2014), que indica em Tucuruí uma produção diária de 81.59 toneladas de RSU, uma média de 0,84 kg/hab.dia; e em Breu Branco indica uma produção de diária de 36,22 toneladas de RSU e uma média de 0,69 kg/hab.dia. Diante disso, e com a projeção populacional, foi possível realizar a estimativa da quantidade de RSU que será gerada nos municípios durante o período de funcionamento do aterro, a partir da Equação 4:

$$GR = P * PDR/1000 \quad (4)$$

Onde:

GR = Geração de Resíduos;

PDR = Produção Diária de Resíduos em kg/hab/dia;

P = População.

O valor de PDR aplicado na fórmula, equivale a produção diária de resíduos por habitante no município, e tal valor é dado em toneladas por dia. Nesse sentido, para que fosse possível a mensuração da geração de RSU anualmente, o valor resultante da Equação 4 é multiplicado pelos dias do ano (365 dias).

Os cálculos foram feitos para os dois municípios isolados, referentes às suas populações e posteriormente os valores de cada município foram somados, estimando a geração de resíduos para a área de estudo.

Com isso, a partir da estimativa dos resíduos dos municípios e baseado na classificação de BNDS (2014) foi classificado o porte do aterro.

### 3.2.4.3 Estimativa da área mínima

Para a determinação da área mínima para AS, utilizou-se o termo de referência disponibilizado pelo Ministério das Cidades (MC, 2011) que apresenta uma estimativa das extensões superficiais mínimas de glebas destinadas à implantação de AS, conforme a faixa em que se enquadre a população a ser beneficiada pelo mesmo (Tabela 8).

Tabela 8 – Referência de área mínima recomendável da gleba para implantação do AS

<b>População urbana (habitantes)</b>	<b>Área mínima recomendável (ha)</b>
Até 2.000	1 hectares
Entre 2.001 e 5.000	2 hectares
Entre 5.001 e 10.000	4 hectares
Entre 10.001 e 20.000	6 hectares
Entre 20.001 e 50.000	10 hectares
Entre 50.001 e 100.000	20 hectares
Entre 100.001 e 150.000	25 hectares
Entre 150.001 e 250.000	35 hectares
Entre 250.001 e 500.000	55 hectares
Entre 500.001 e 750.000	95 hectares

Fonte: BRASIL (2011).

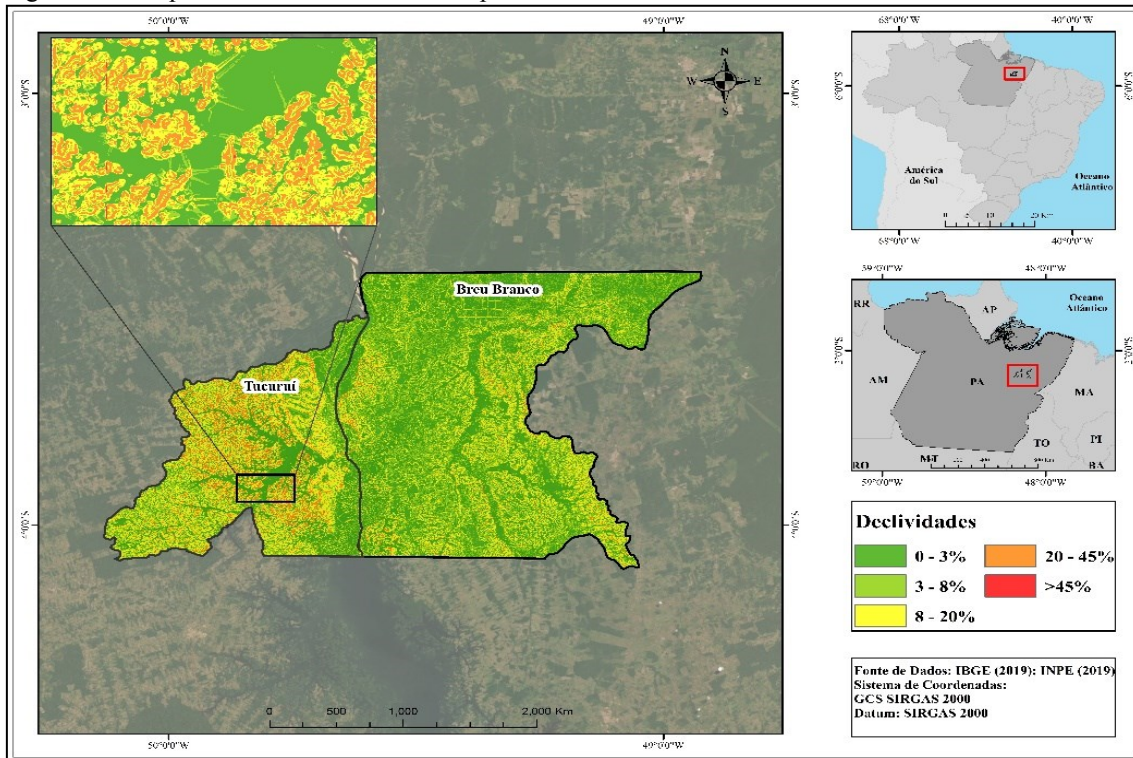
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Avaliação dos critérios definidos para seleção de área do AS

#### 4.1.1 Declividade

O Mapa de Declividade (Figura 12) mostra a declividade em unidade percentual dos municípios de Tucuruí e Breu Branco. A partir do mapa é possível afirmar que nos municípios as declividades não excedem 45%, sendo a maior parte da área adequada para a instalação de um aterro.

Figura 12 – Mapa de declividade dos municípios de Tucuruí e Breu Branco



Fonte: Autoras (2021).

A Tabela 9 mostra os percentuais por área de declividade do município de Tucuruí, onde observa-se que a principal classe de relevo que cobre o município é a classe relevo ondulado que possui sua declividade variante de 8-20%, seguida da classe relevo plano que possui sua declividade variante de 0-3%.

Tabela 9 – Percentuais por área de declividade do município de Tucuruí

Declividade (%)	Classe de Relevo	Declividade (Tucuruí)		Percentual de cobertura da classe (%)
		Área (km <sup>2</sup> )	Área Total (km <sup>2</sup> )	
0-3%	Relevo plano	561,441825	2085,747975	26,91800887
3-8%	Relevo suavemente ondulado	497,503125	2085,747975	23,85250428
8-20%	Relevo ondulado	748,436625	2085,747975	35,88336817
20-45%	Relevo fortemente ondulado	277,23645	2085,747975	13,29194386
>45%	Relevo montanhoso	1,12995	2085,747975	0,05417481

Fonte: Autoras (2021).

Da mesma forma, a Tabela 10, mostra os percentuais por área de declividade do município de Breu Branco, onde observa-se que a principal classe de relevo que cobre o município é a classe relevo suavemente ondulado, que possui sua declividade variante de 3-8%, seguida da classe relevo plano, que possui uma declividade variante de 0-3%.

Tabela 10 – Percentuais por área de declividade do município de Breu Branco

Declividade (%)	Classe de Relevo	Declividade (Breu Branco)		Percentual de cobertura da classe (%)
		Área (km <sup>2</sup> )	Área Total (km <sup>2</sup> )	
0-3%	Relevo plano	1462,415175	3941,610525	37,101971
3-8%	Relevo suavemente ondulado	1628,344125	3941,610525	41,311644
8-20%	Relevo ondulado	786,9762	3941,610525	19,965854
20-45%	Relevo fortemente ondulado	63,78435	3941,610525	1,618231
>45%	Relevo montanhoso	0,090675	3941,610525	0,0023

Fonte: Autoras (2021).

De acordo com EMBRAPA (2006) o relevo brasileiro é classificado em classes quanto a sua declividade. Analisando o mapa de declividade (Figura 12) e Tabela 9 e 10, observa-se que a maior parte do relevo dos municípios é do tipo plano a suavemente ondulado, sendo essa condição favorável a implantação de AS.

A declividade do terreno é um fator relevante na escolha de áreas de AS, pois vai interferir na escolha do método construtivo e nas obras de terraplenagem para a construção da instalação (COLMAN *et al.* 2016). E de acordo com a NBR 13.896/97 da ABNT a declividade adequada é de no mínimo 1% e no máximo 30% de inclinação.

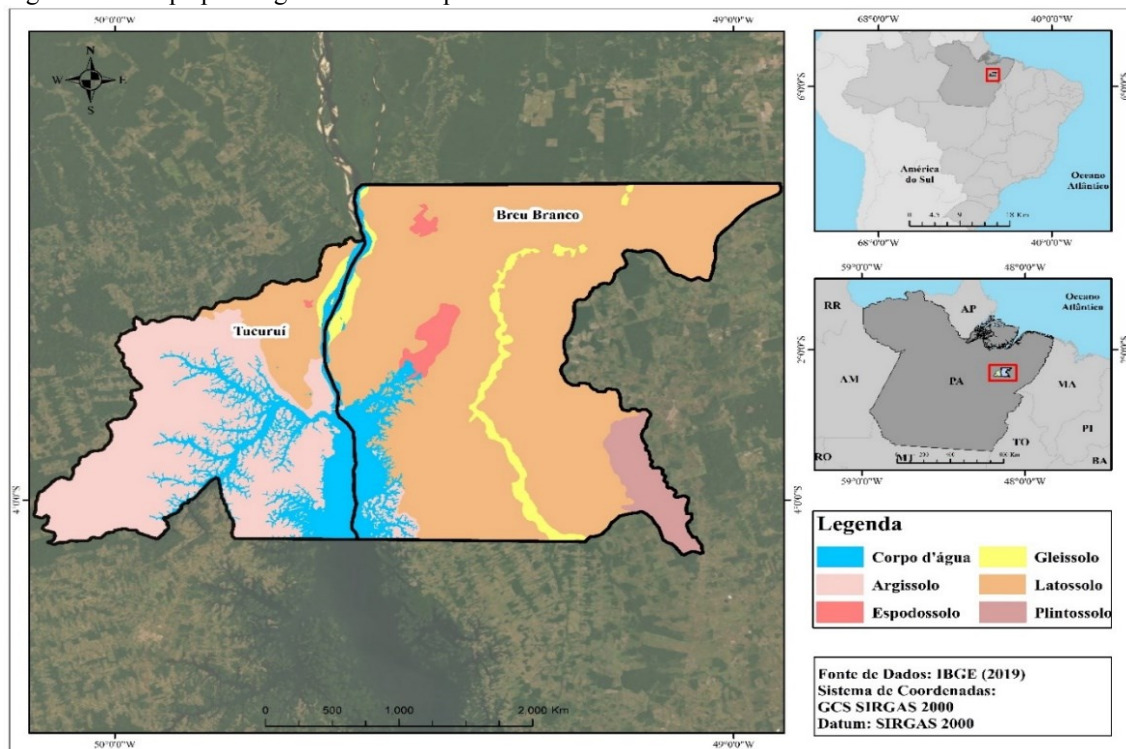
Moreira *et al.* (2016), concluiu em seu trabalho que os aterros construídos em encostas muito baixas têm um risco, devido à possibilidade de alagamento devido ao escoamento superficial tender a ir para regiões planas e posterior contaminação nas proximidades dos cursos d'água e águas subterrâneas. E que áreas com alta altitude ou alta declividade não são adequadas para a implantação de aterros.

Corroborando Silva (2019), que em seu estudo, afirma que a declividade é um dos fatores primordiais para determinar a velocidade do escoamento superficial e a susceptibilidade à erosão. Pois uma declividade elevada faz com que o material não consolidado fique instável e propenso a infiltrações. Então, áreas que apresentam altas altitudes não são indicadas, pois se destaca o grande custo relacionado à construção e manutenção dos aterros nestes locais, além do risco devido à dificuldade do escoamento de drenagem, quando estes estão localizados em uma encosta muito plana.

Os municípios possuem a maior parte do seu território adequado para a instalação de AS. No que se refere ao critério declividade o município de Breu Branco possui 98,37947% e Tucuruí 86,65388% de percentual de cobertura da classe variando de 0 a 20%, considerada uma área ótima para a instalação de aterros sanitários.

#### 4.1.2 Pedologia (tipos de solo)

Figura 13 – Mapa pedológico dos municípios de Tucuruí e Breu Branco



Fonte: Autoras (2021).

O Mapa Pedológico (Figura 13) indica os tipos de solos dos municípios. No município de Tucuruí foram identificados quatro tipos de solos, sendo eles: Latossolo, Espodossolo, Argissolo, Gleissolo. E em Breu Branco foram identificados cinco tipos de solos, sendo eles: Latossolo, Espodossolo, Argissolo, Gleissolo e Plintossolo.

A Tabela 11, mostra os percentuais por área de unidades pedológicas do município de Tucuruí, e indica que a classe predominante é a Argissolo, tendo um percentual de 64% de área.

Tabela 11 – Percentuais por áreas pedológicas do município de Tucuruí.

<b>Pedologia – tipos de solo (Tucuruí)</b>			
<b>Classe</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área total (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentual de cobertura da classe (%)</b>
Gleissolo	22,57369306	2085,401181	1,08246285
Argissolo	1352,512436	2085,401181	64,85622278
Corpo d'água	417,4341588	2085,401181	20,01697144
Latossolo	290,5185311	2085,401181	13,93106198
Espodossolo	2,362361819	2085,401181	0,113280928

Fonte: Autoras (2021).

A Tabela 12, mostra os percentuais por área de unidades pedológicas do município de Breu Branco, e indica que a classe predominante é a Latossolo, tendo um percentual de 81% de área.

Tabela 12 – Percentuais por áreas pedológicas do município de Breu Branco.

<b>Pedologia – tipos de solo (Breu Branco)</b>			
<b>Classe</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área total (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentual de cobertura da classe (%)</b>
Latossolo	3210,842951	3942,022809	81,45165837
Corpo d'água	246,1144259	3942,022809	6,243353674
Espodossolo	86,36757826	3942,022809	2,190945676
Argissolo	41,838813	3942,022809	1,061353905
Gleissolo	154,7766694	3942,022809	3,926326073
Plintossolo	202,0823717	3942,022809	5,126362315

Fonte: Autoras (2021).

A partir do Mapa 15 e das Tabelas 11 e 12, discorreremos as principais características de cada tipo solo encontrados nos municípios.

Os Gleissolos, estão presentes nos dois municípios e representam 5% da área total. Segundo a Embrapa (2006), esses compreendem solos hidromórficos, constituídos por material mineral, são solos mal ou muito mal drenados em condições naturais e são permanentes ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados.

Em estudos semelhantes, Rocha *et al.* (2019) afirmam que os gleissolos possuem constituição argilosa a arenosa, ocorrendo normalmente em áreas alagáveis devido à proximidade do lençol freático a que se associa este tipo de solo, possuindo risco de inundações ou alagamentos frequentes. Corrobora Benda (2008), afirmando que os solos Gleys compõem as regiões sujeitas a alagamentos e que apresentam maiores problemas a prática da engenharia, devido à alta compressibilidade já na superfície do terreno.

Observando o Mapa 15, pode-se verificar que esses solos estão próximos aos cursos d'água, o que condiz com as características expostas, e por suas características inundáveis são considerados desfavoráveis e inaptos para a implantação de AS.

O solo do tipo Plintossolo encontra-se somente no município de Breu Branco, representando 5% de sua área total. Esses são solos restritivos a percolação de água, constituído por minerais, ocorrem em áreas deprimidas de relevo plano ou suave ondulado, que possuem escoamento lento de água; compreendem solos minerais formados sob condições de restrição à percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, de maneira geral imperfeitamente ou maldrenados (EMBRAPA, 2006).

Parte dos solos desta classe (solos com horizonte plíntico) tem ocorrência relacionada a terrenos de várzeas, áreas com relevo plano ou suavemente ondulado e, menos frequentemente, ondulado, em zonas geomórficas de baixada. Ocorrem também em terços inferiores de encostas ou áreas de surgentes, sob condicionamento quer de oscilação do lençol freático, quer de alagamento ou encharcamento periódico por efeito de restrição à percolação ou escoamento de água (EMBRAPA, 2006).

Por possuírem características de lugares alagados, apresenta um caminho maior para contaminantes, como o chorume, proveniente dos RS, por isso é um o Plintossolo é desfavorável para implantação de AS.

Os espodosolos, representam cerca de 2% da área total de estudo. Esses compreendem solos originários principalmente, de materiais arenoquartzosos, sob condições de clima tropical e subtropical, em relevo plano, suave ondulado ou ondulado. As principais limitações desta classe de solo estão relacionadas a sua textura arenosa, presença de horizonte de impedimento e baixa fertilidade.

Neste sentido, os espodosolos são considerados inaptos, pois a NBR 13.896/97 orienta excluir solos arenosos, por seu alto teor de infiltração e baixa compactação, consideradas características inapropriadas para a instalação de aterros.

Os Argissolos e Latossolos, compõe a maior parte dos solos da área de estudo. Isso coincide com a classificação nacional, pois os Argissolos representam 26,84% dos solos brasileiros, sendo o segundo maior tipo de solo, atrás apenas dos Latossolos, que representam 31,49% (EMBRAPA, 2006).

Segundo a Embrapa (2006) os Argissolos são solos definidos pela presença de horizonte diagnóstico B textural, apresentando acúmulo de argila em profundidade devido à mobilização e perda de argila da parte mais superficial do solo. Os Argissolos tendem a ser mais suscetíveis aos processos erosivos devido à relação textural presente nestes solos, que implica em

diferenças de infiltração dos horizontes superficiais e subsuperficiais. No entanto, os de texturas mais leves ou textura média e de menor relação textural são mais porosos, possuindo boa permeabilidade, sendo, portanto, menos suscetíveis à erosão (Embrapa, 2006).

Dutra *et al.* considerando que se deve proteger as águas subterrâneas do contato com os líquidos lixiviados, optaram em seu trabalho, pelo solo argissolo como melhor solo para a instalação de AS. PRADO 2016, corrobora afirmando que os argissolos podem apresentar uma baixa permeabilidade, contribuindo para a retenção de percolados.

Já, os latossolos, são solos de intemperização intensa chamados popularmente de solos velhos, e apresentam normalmente uma boa permeabilidade por serem solos bem estruturados e muito porosos. Porém, devido aos mesmos aspectos físicos, possuem baixa retenção de umidade, principalmente os de textura mais grosseira em climas mais secos (Embrapa, 2006).

Streck *et al.* (2008) afirmam que os Latossolos possuem condições adequadas em relação a aptidão de disposição final de resíduos, inclusive a instalação de AS, isso se deve pela boa capacidade de sorção de contaminantes e pelo fácil controle do escoamento superficial por práticas mecânicas. Corrobora Silva (2019), afirmando que o Latossolo Amarelo é o solo mais indicado para receber a implantação do AS.

A NBR n° 13.896 estabelece que, no local de implantação do aterro, considera-se desejável a existência de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10<sup>-6</sup> cm/s. Esse critério é importante para determinar a capacidade de depuração do chorume e a sua velocidade de infiltração no solo (SANTOS & FELIPE, 2019).

Segundo Aquino, Nero e Costa (2019), dentre as funções principais do solo, na construção e operação de um AS, estão: ser depósito natural de material inerte para recobrimento diário das células, bem como servir de estanque contra possíveis contaminações do lençol freático pelo líquido percolado oriundo da decomposição da matéria orgânica presente nos RS, conhecido como chorume.

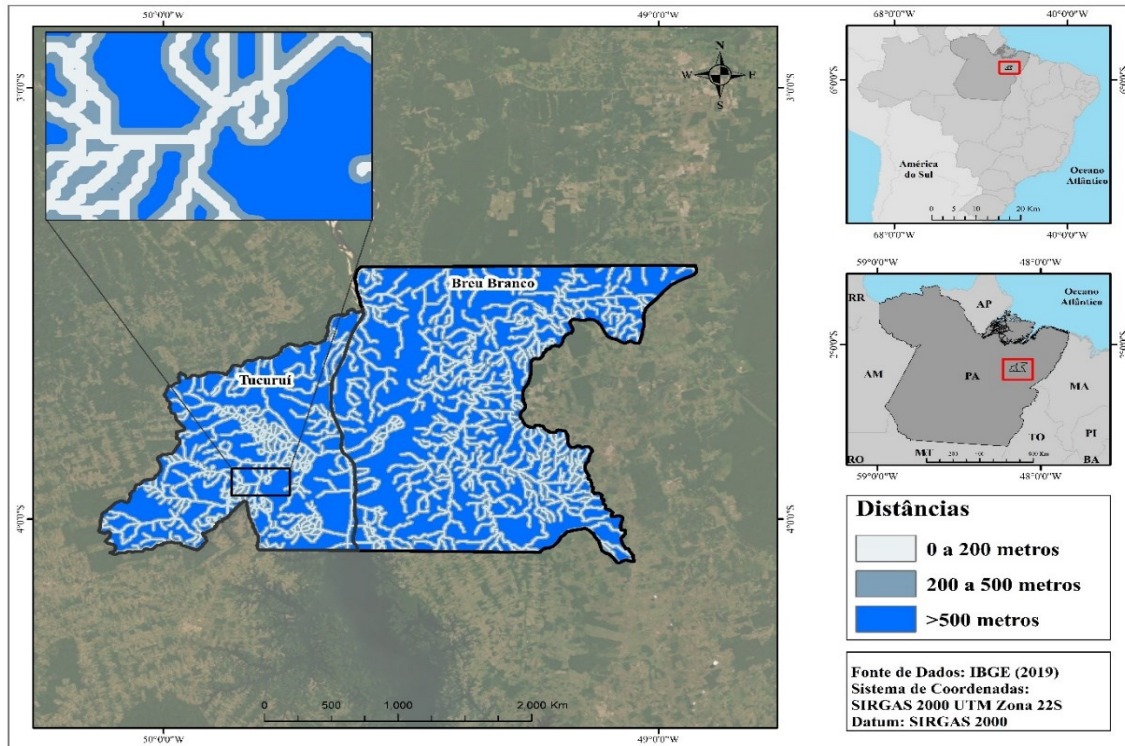
Diante disso, os Gleissolos e Espodossolos devem ser excluídos da seleção de áreas, os Plintossolos são desfavoráveis, e os Argissolos e os Latossolos os mais apropriados para obras do tipo de aterros, sendo o Latossolo o mais indicado.

#### 4.1.3 Distância dos cursos d'água

Como observado no Mapa da distância a partir de corpos d'água (Figura 14), os municípios possuem diversos corpos d'água. Sendo essa, uma variável de grande relevância

uma vez que a implantação de um aterro sanitário pode impactar de forma negativa a rede de drenagem. Foram definidas 3 zonas de distância a partir do curso d'água, uma de 200 metros, de 200 a 500 metros de distância e uma zona com valor maior que 500 metros.

Figura 14 – Mapa da distância a partir de cursos d'água dos municípios de Tucuruí e Breu Branco



Fonte: Autoras (2021).

Em relação aos cursos corpos d'água a NBR 13.896/1997 recomenda uma distância mínima de 200 metros para que sejam preservados os recursos hídricos superficiais de possíveis contaminações geradas pelo aterro.

Tendo como base os critérios e referências legais, Santos e Felipe (2019) afirmam que no local onde será implantado o AS é imprescindível que haja a impermeabilização do solo e implantação de sistemas de drenagem para todos os líquidos gerados, evitando possíveis contaminações.

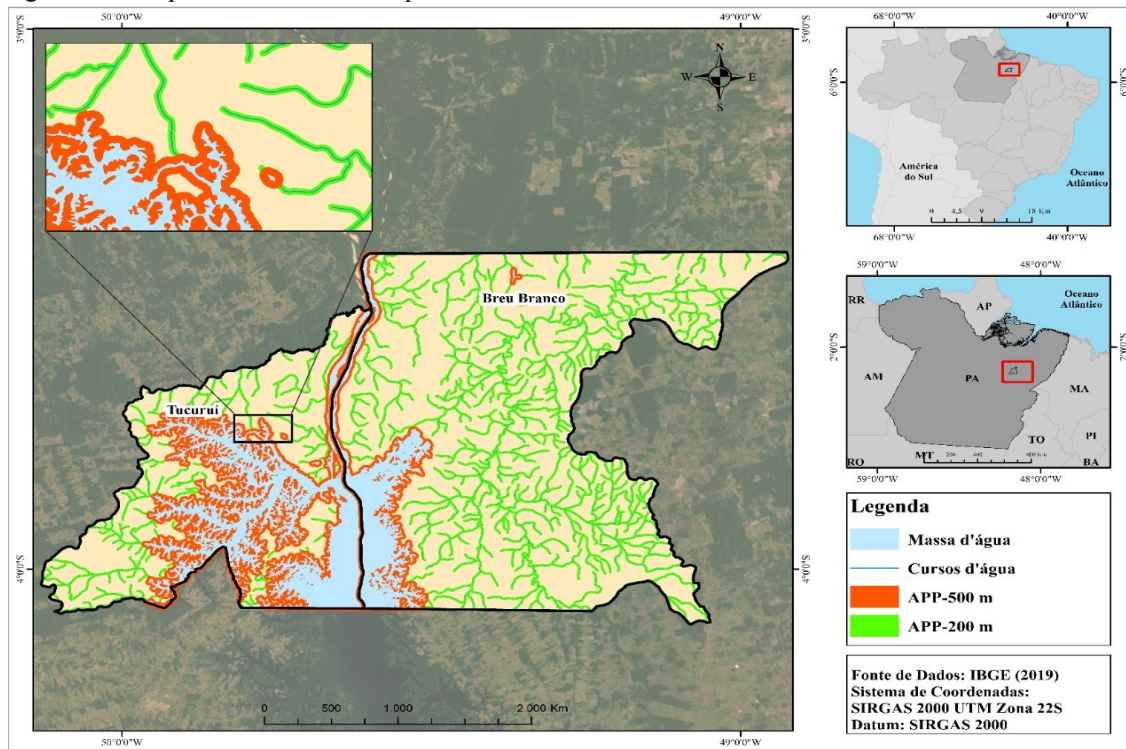
Os AS não devem estar localizados próximos a cursos d'água, de forma a garantir a segurança destes e diminuir o risco de contaminações, e por isso as áreas de 200 metros aos seus entornos, serão consideradas inaptas e excluídas da seleção de áreas.

#### 4.1.4 Área de preservação permanente (APP)

Conforme o Código Florestal (Lei Federal nº 12.651/12) são consideradas APP as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente; áreas no entorno de lagos, lagoas, nascentes, olhos d'água e reservatórios artificiais (que barrem curso hídrico), encostas com declividade superior a 45° e ambientes com altitude superior a 1.800 metros.

A Figura 15 apresenta o Mapa de Área de Proteção Permanente, onde pode-se verificar um curso d'água central, o Rio Tocantins, que corta os municípios de Tucuruí e Breu Branco. E devido a declividade dos municípios serem consideradas relativamente baixa, não foi constatado APP do tipo encosta de morro dentro da área de estudo.

Figura 15 – Mapa de APP nos municípios de Tucuruí e Breu Branco



Fonte: Autoras (2021).

Além da NBR 13.896/97 estabelecer uma distância mínima de 200 metros dos cursos d'água para a instalação do aterro, o Código Florestal (Lei nº 12.651 de 2012) atenta para as medições cabíveis para cada tipo de leito, ou seja, a distância de preservação de cada curso d'água que foi delimitada de acordo com a largura do rio ou curso d'água.

Foi realizado a medição dos cursos d'água encontrados, de tal forma que o rio Tocantins, possui as maiores larguras, com mais de 600 metros, e por isso ao seu entorno, as áreas restritivas serão de 500 metros, de acordo com o Código Florestal. Os demais cursos d'água,

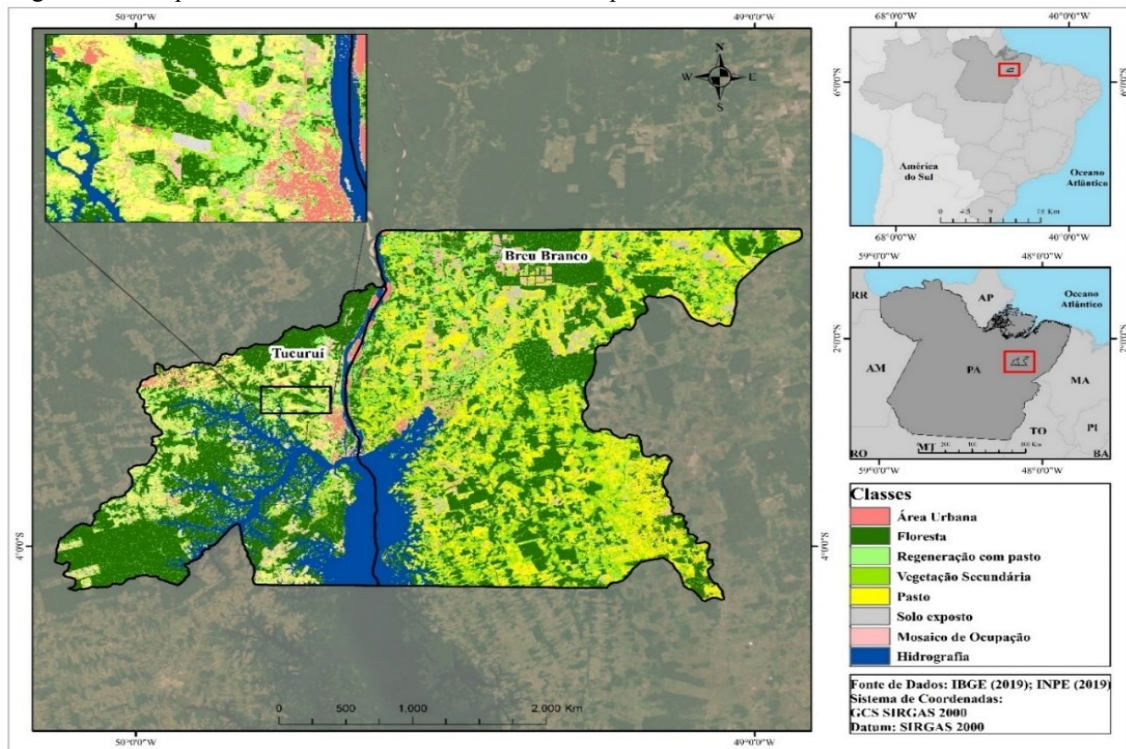
apresentaram larguras variantes, todas inferiores a 500 metros, e por isso terão suas restrições de 200 metros, que atenderá o Código Florestal e também a NBR nº 13.896/97, que já estabelece a distância de 200 metros de quaisquer cursos d'água.

O mapa de APP tem função de critério restritivo, e por isso, as faixas marginais de 500 metros ao entorno do rio Tocantins e 200 metros dos demais cursos d'água serão consideradas inaptas e excluídas da seleção de áreas.

#### 4.1.5 Uso e cobertura do solo

A Figura 16 mostra o Mapa de Uso e Cobertura do Solo, onde foram identificadas 8 classes.









Figura 16 – Mapa de uso e cobertura do solo dos municípios de Tucuuruí e breu branco



Fonte: Autoras (2021).

Para a determinação das classes de uso do solo que foram delimitadas, foi utilizada a literatura do projeto *TerraClass* e o Manual de Classificação do Uso da Terra do IBGE. A Tabela 13 apresenta a descrição para a identificação das diferentes classes selecionadas.

Tabela 13 – Identificação visual e descrição das classes de uso e cobertura do solo

Classe	Descrição	Identificação visual
<b>Área urbana</b>	Manchas Urbanas decorrentes da concentração populacional formadora de vilas ou cidades que apresentam infraestrutura diferente da Zona Rural.	
<b>Floresta</b>	Áreas com cobertura vegetal nativa, com alta densidade arbórea.	
<b>Regeneração com Pasto</b>	Áreas que, após o corte raso da vegetação natural e o desenvolvimento de atividade pastoril, encontram-se no início do processo de regeneração da vegetação nativa.	
<b>Vegetação secundária</b>	Áreas que após a supressão total da vegetação florestal, encontram-se em processo avançado de regeneração.	
<b>Pasto</b>	Áreas de Pastagem em processo produtivo, com predomínio da vegetação herbácea, e cobertura de espécies de gramíneas.	
<b>Solo exposto</b>	Áreas que não apresentam pouca ou nenhuma cobertura vegetal.	
<b>Mosaico de Ocupação</b>	Áreas representadas por uma associação de diversas modalidades de uso da terra, entre as principais está ocupações em meio a agricultura familiar.	
<b>Hidrografia</b>	Corpos ou cursos d'água (rios, igarapés, lagos, entre outros).	

Fonte: Adaptado do Terra Class (2014).

A Tabela 14, diz respeito ao quantitativo de área e percentagem de uso e cobertura do solo do município Tucuruí, e mostra que o uso é diversificado. No entanto, a maior parte é a classe de florestas, seguido de hidrografia, resultando em uma cobertura de 64,827256%.

Tabela 14 – Quantitativo de área e percentagem de uso e cobertura do solo do município Tucuruí

Uso e cobertura do solo (Tucuruí)			
Classe	Área (km <sup>2</sup> )	Área Total (km <sup>2</sup> )	Percentual de cobertura da classe (%)
Área urbana	47,5783	2085,3272	2,281575
Floresta	879,1561	2085,3272	42,159144
Regeneração com pasto	216,3908	2085,3272	10,376827
Vegetação secundária	99,6732	2085,3272	4,779739
Pasto	242,159	2085,3272	11,612518
Solo exposto	25,4742	2085,3272	1,221592
Mosaico de ocupação	102,1913	2085,3272	4,900492
Hidrografia	472,7043	2085,3272	22,668112

Fonte: Autoras (2021).

Da mesma forma, a Tabela 15, diz respeito ao quantitativo de área e percentagem de uso e cobertura do solo do município Breu Branco, e mostra que uso no município é diversificado. No entanto, a maior parte é o de florestas, seguido de pasto, resultando em uma cobertura de 56,14144973%.

Tabela 15 – Quantitativo de área e percentagem de uso e cobertura do solo do município Breu Branco

<b>Uso e cobertura do solo (Breu Branco)</b>			
<b>Classe</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Total (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentual de cobertura da classe (%)</b>
<b>Área urbana</b>	77,1935	3942,0562	1,958203944
<b>Floresta</b>	1240,3991	3942,0562	31,46578935
<b>Regeneração com pasto</b>	457,8895	3942,0562	11,61549904
<b>Vegetação secundária</b>	643,5336	3942,0562	16,32482053
<b>Pasto</b>	972,7284	3942,0562	24,67566038
<b>Solo exposto</b>	167,3909	3942,0562	4,246283957
<b>Mosaico de ocupação</b>	134,8811	3942,0562	3,421592518
<b>Hidrografia</b>	248,0401	3942,0562	6,292150274

Fonte: Autoras (2021).

O mapeamento de uso e cobertura do solo tem como função primordial, espacializar o uso e as paisagens que compõe os municípios de Tucuruí e Breu Branco, uma vez que a área que receberá a instalação do aterro deve atender a determinados critérios.

Considerando os dados da Figura 16 e Tabelas 14 e 15, observa-se que a classe de maior destaque em ambos os municípios é a de florestas, considerado o índice de florestas altas. Pode-se indicar que isso ocorre porque nos municípios existe uma grande APA, e que no Estado do Pará, o percentual da propriedade rural que deve ser registrado como Reserva Legal é de 80%, que são localizadas em área de floresta.

De acordo com a Lei 12.651/2012, todo imóvel rural deve manter uma área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal. Trata-se de área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa. Sua dimensão mínima em termos percentuais relativos à área do imóvel é dependente de sua localização (BRASIL, 2012).

Nos municípios a segundo maior classe é o de pasto. No entanto no município de Breu Branco o índice é maior, isto se deve ao fato do município ter em sua matriz econômica a agropecuária.

Desta forma, dependendo do tipo de atividade realizada na área a qual se pretende implantar o aterro e o tipo de solo presente no local, a condição proporcionada para este empreendimento pode ser otimizada, bem como a minimização de possíveis danos ao meio ambiente e atividades socioeconômicas (SILVA, 2019).

Segundo a NBR 13.896/97, o estudo macroscópico da vegetação é importante, uma vez que ela pode atuar favoravelmente na escolha de uma área quanto aos aspectos de redução do

fenômeno de erosão, da formação de poeira e transporte de odores. Sendo as áreas pouco utilizadas, as mais indicadas para a instalação de AS e as áreas de floresta as menos indicadas.

Nesse sentido, a NBR nº 13.896/97 estabelece que o impacto ambiental a ser causado pela instalação do aterro deve ser mínimo, corroborando para que as áreas de florestas e vegetação secundária sejam evitadas.

Portando as classes área urbana, floresta, mosaico de ocupação, hidrográfica e vegetação secundária são desfavoráveis para a instalação de AS. E a classe mais indica é o solo exposto, seguida das classes pasto e regeneração com pasto. Neste sentido, Tucuruí possui 26,76908% e Breu Branco 40,53744% de áreas ótimas para a instalação de AS.

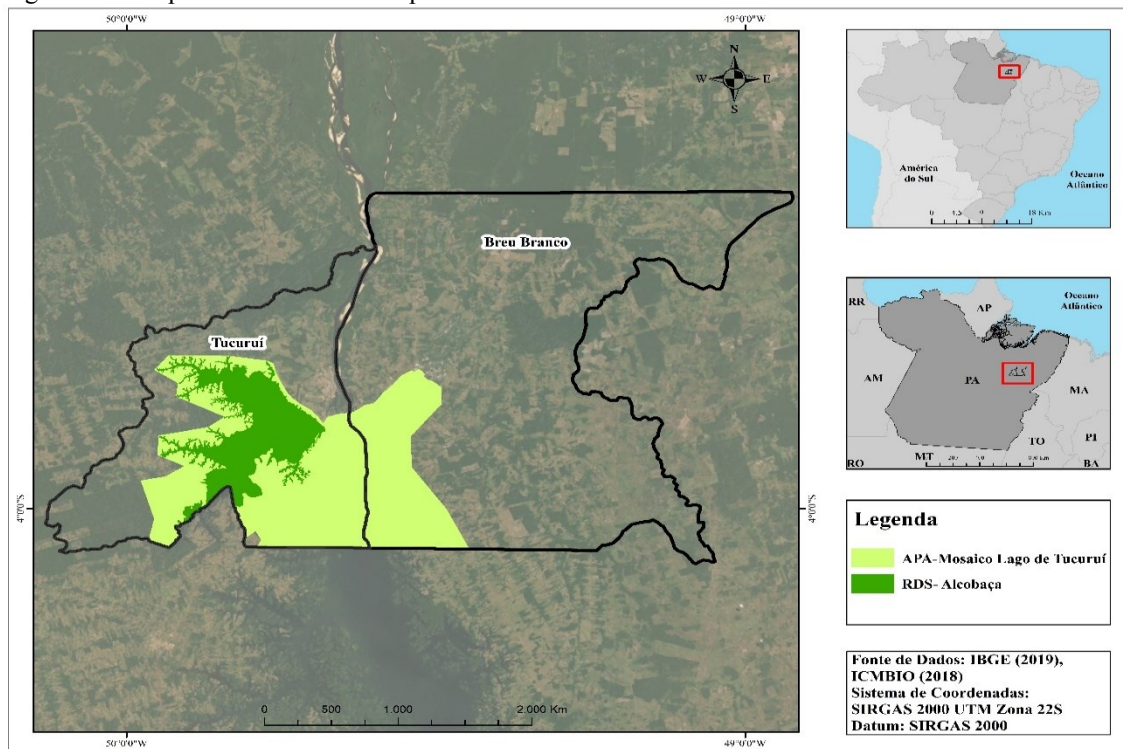
#### 4.1.6 Área de Proteção Ambiental (APA)

No Mapa da APA (Figura 17) é possível visualizar a APA do Lago de Tucuruí nos municípios de Tucuruí e Breu Branco e a Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) Alcobaça dentro da APA no município de Tucuruí. Observa-se que a APA compreende grande parte da área territorial dos municípios, principalmente no território de Tucuruí. E quando comparada com os mapas que mostram a rede hidrográfica dos municípios, verifica-se que a APA está localizada no Lago de Tucuruí e Rio Tocantins.

Na região de estudo, segundo o Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Estado do Pará (IDEOFLOR-BIO, 2018) existe a APA do Lago de Tucuruí, uma UC de Uso Sustentável que apresenta extensão territorial de 503.490,00 ha (descontadas as áreas das RDSs Alcobaça e Pucuruí-Ararão, situadas dentro de seu território), compreendendo os municípios de Tucuruí, Breu Branco, e municípios os vizinhos, Goianésia do Pará, Jacundá, Novo Repartimento, Nova Ipixuna e Itupiranga. É a 8ª maior UC Estadual e apresenta núcleos populacionais residentes e variadas dinâmicas econômicas, dentre as quais se destacam a pesca, a aquicultura e a pecuária.

A RDS Alcobaça é composta apenas por ilhas situadas dentro da APA Lago de Tucuruí, e especialmente nos municípios de Tucuruí e Novo Repartimento (município vizinho), com área de 36.128 ha (dos quais 78% correspondem à porção aquática da UC), foi concebida nos territórios do Lago que abrigavam ilhas com maior densidade de ocupação, locais de maior concentração da população tradicional, cuja existência baseia-se em garantir sistemas sustentáveis de exploração dos recursos naturais, desenvolvidos ao longo de gerações e adaptados às condições ecológicas locais e que desempenham um papel fundamental na proteção da natureza e na manutenção da diversidade biológica (IDEOFLOR-BIO, 2018).

Figura 17 – Mapa da APA nos municípios de Tucuuruí e Breu Branco



Fonte: Autoras (2021).

A APA e a RDS são consideradas áreas protegidas e seu uso é restrito, podendo apenas por autorização de órgão responsável ser licenciada para atividades do porte do AS. Nesta pesquisa, a área escolhida deve estar fora dos limites das áreas de UC, para não gerar conflitos, visto que o local escolhido deve ser tal que minimize o potencial impacto socioambiental, logo a área de UC serão consideradas inaptas e excluídas.

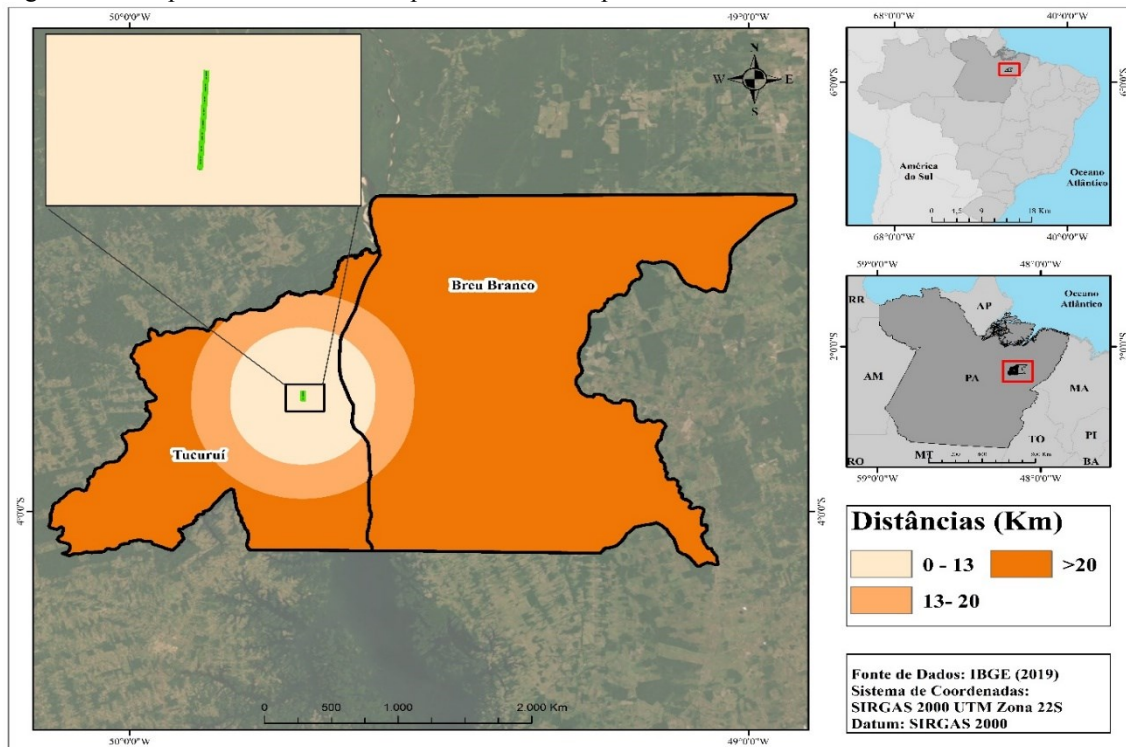
#### 4.1.7 Proximidade de aeroportos

A Lei Federal 12.725/2012 coloca as atividades atrativas ou potencialmente atrativas de fauna dentro da Área de Segurança Aeroportuária (ASA), e afirma que são sujeitas à aplicação de restrições, que podem compreender desde a sua adequação até a cessação das operações.

E a Resolução nº 004 (CONAMA, 1995), define a ASA como áreas abrangidas por um determinado raio a partir do centro geométrico da pista de pouso/decolagem, de acordo com seu tipo de operação, estando subdivididos em 2 (duas) categorias: um raio maior que 20 km para aeroportos que operam de acordo com as regras de voos por instrumentos e um raio de 13 km para os demais aeroportos.

A Figura 18, mostra que nos municípios, foi identificado um aeroporto de pequeno porte, localizado no município de Tucuuruí.

Figura 18 – Mapa de distância de aeroportos nos municípios de Tucuruí e Breu Branco



Fonte: Autoras (2021).

As regras de voos por instrumentos são o conjunto de regras das quais o piloto se utiliza para conduzir uma aeronave orientando-se pelos instrumentos de bordo, ao invés de se orientar por referências visuais exteriores a essa aeronave.

Diversos estudos apontam que o urubu-de-cabeça-preta (*Coragyps atratus*) é a espécie com maior incidência de colisões com aeronaves no Brasil, especialmente nas Regiões Norte e Nordeste (Novaes e Alvarez, 2010; Novaes e Alvarez, 2014; Carvalho *et al.* 2016).

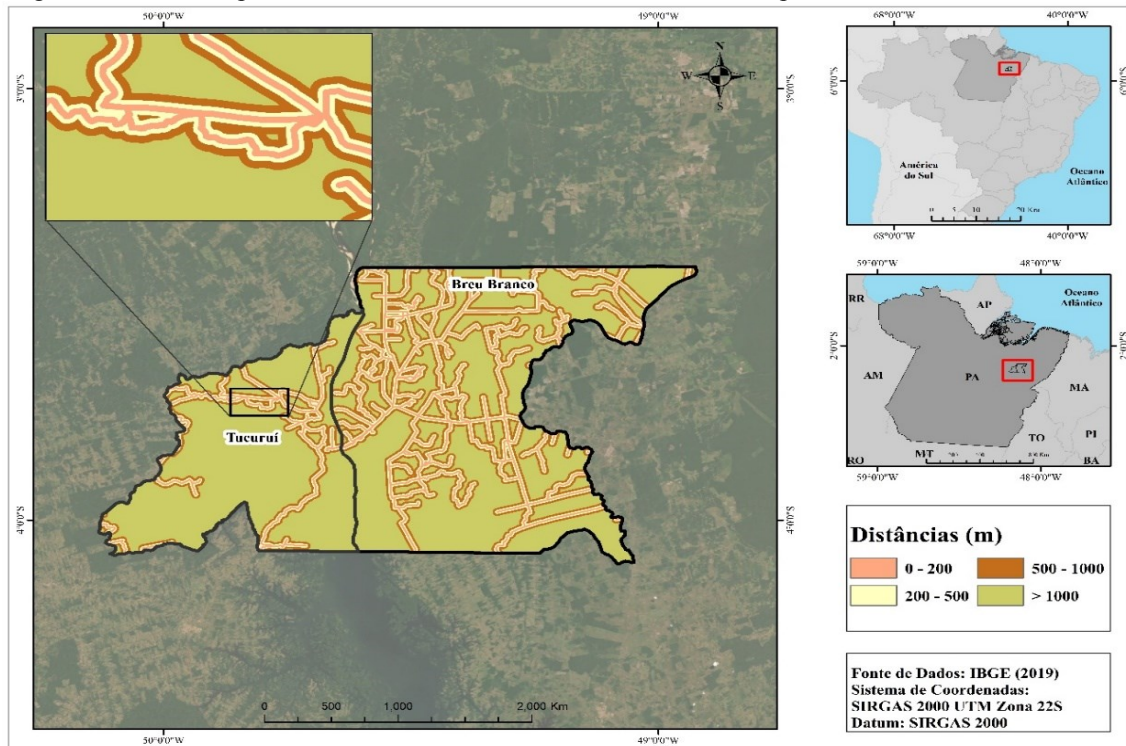
Afim de prevenir acidentes, respeitando a lei e resolução vigente, a ASA foi avaliada neste estudo. O aeroporto do município de Tucuruí não opera por instrumentos, e por isso foi adotado o raio de restrição de 13km de distância, sendo essa área considerada excluída e não apta na seleção de áreas.

#### 4.1.8 Acessos

A NBR13.896/97 considera os acessos de evidente importância em um projeto de aterro, uma vez que são utilizados durante toda a sua operação. Os acessos são as estradas que possibilitam o transporte dos RS.

A Figura 19 ilustra as estradas identificadas nos municípios e a espacialização das zonas de distância definidas.

Figura 19 – Mapa de distância das estradas dos municípios de Tucuruí e Breu Branco



Fonte: Autoras (2021).

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2005) as áreas a serem selecionadas para a instalação de um AS devem encontrar-se fora da área de influência direta das rodovias, evitando-se impactos ambientais relacionados à segurança do tráfego e ao conforto do usuário, assim como os relacionados à poluição visual, proliferação de vetores indesejáveis e de odores desagradáveis.

Com o intuito de preservar as áreas de circulação do impacto visual gerado pelo AS e facilitar o acesso dos caminhões de coleta ao AS foi adotado como critério de restrição a distância mínima 200 m de estradas, assim como Silva (2019). Enquanto que a distância mais recomendada é a distância próxima de 1000 metros. No entanto, é necessário ressaltar que grandes distâncias implicam em maiores custos de transportes.

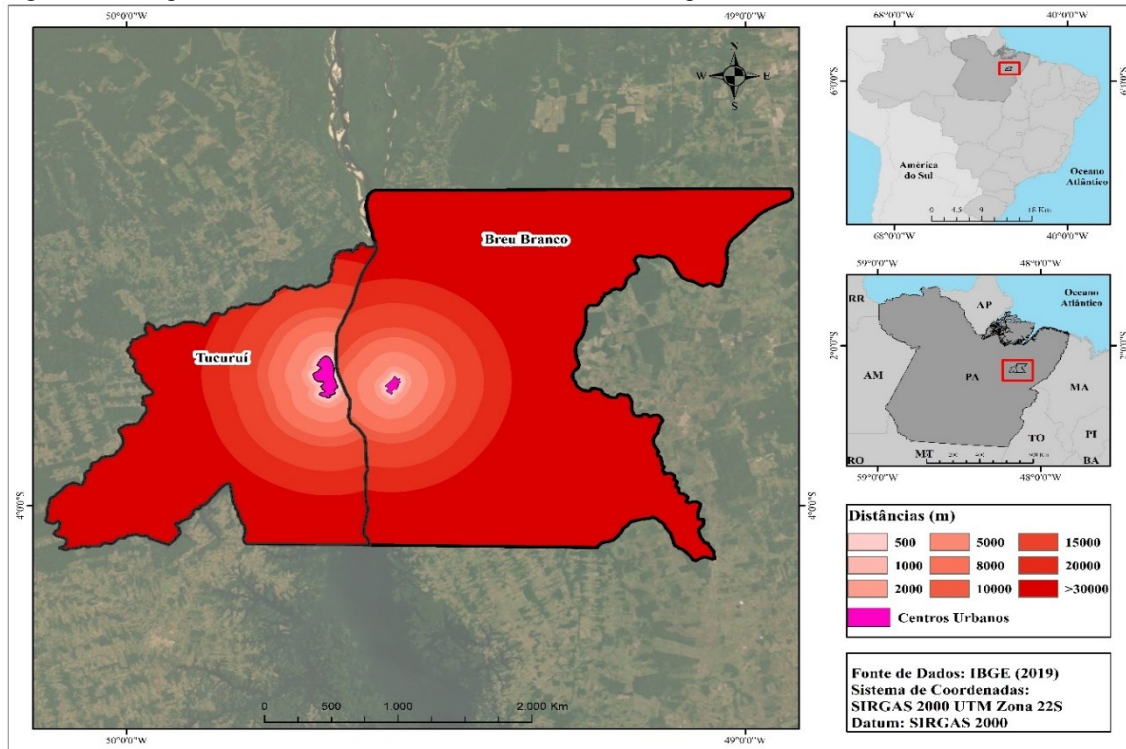
#### 4.1.9 Distância do centro atendido

O local de funcionamento de um AS segundo Tressoldi e Consoni (1998) deve estar em uma distância mínima de 5 km do centro atendido, que nesse caso são a área urbana do

município de Tucuruí e Breu Branco. Também é elucidado que essa distância pode variar entre 5 e 20 km, contudo, deve-se haver restrições, pois ao olhar econômico, uma área próxima ao centro urbano facilita o transporte dos resíduos coletados e é importante, visto que contribui para um baixo custo do transporte dos resíduos até o aterro (SILVA, 2019).

A Figura 20 ilustra as o Mapa de distância a partir da área urbana do município.

Figura 20 – Mapa de distância dos centros atendidos dos municípios de Tucuruí e Breu Branco



Fonte: Autoras (2021).

Contudo, deve respeitar uma distância mínima, visando evitar transtornos à população, e a NBR 13896/1997 recomenda que a distância entre o limite da área útil do aterro e os núcleos populacionais seja superior a 500 metros.

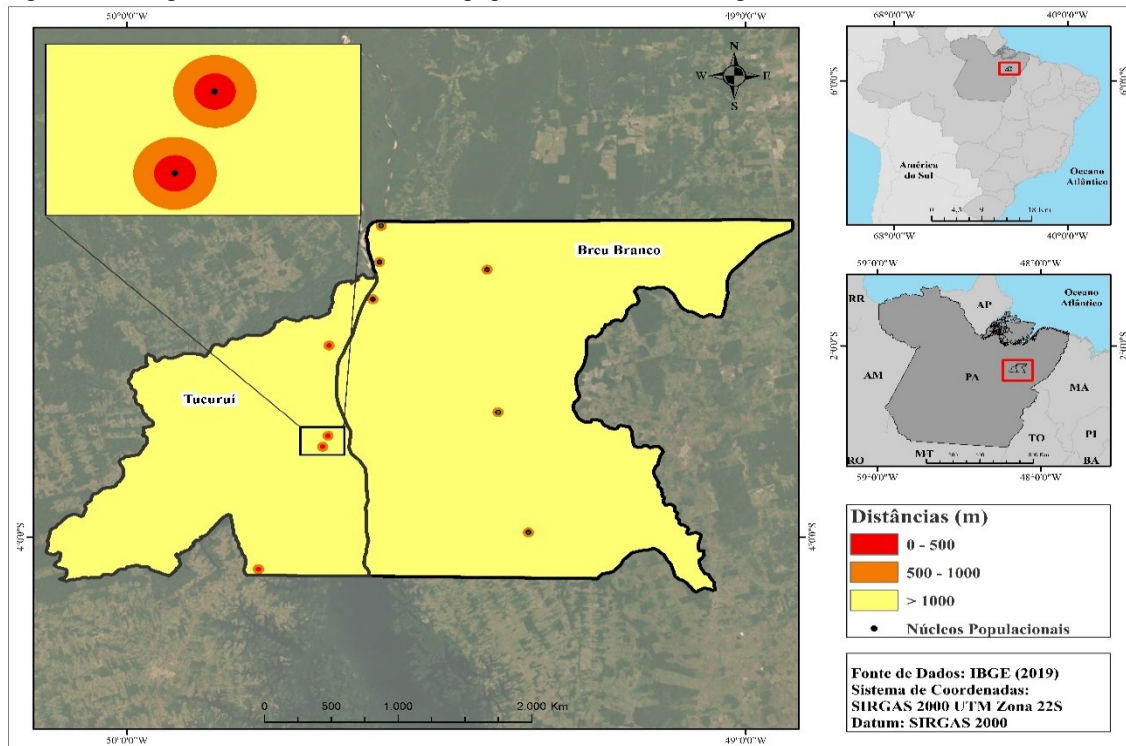
Os AS não devem estar localizados nem tão próximo e nem tão longe do centro gerador, e por isso as áreas com distâncias inferiores a 500 m foram e superiores a 20 km foram consideradas inaptas e excluídas da seleção de áreas.

#### 4.1.10 Distância de núcleos populacionais

Na Figura 21 é possível observar os núcleos populacionais fora da zona urbana dos municípios. O mapeamento consistiu em delimitar três zonas de distância a partir do entorno

de cada núcleo populacional mapeado no município: 500 metros, 500 metros a 1000 metros e acima de 1000 metros.

Figura 21 – Mapa de distância dos núcleos populacionais dos municípios de Tucuuruí e Breu Branco



Fonte: Autoras (2021).

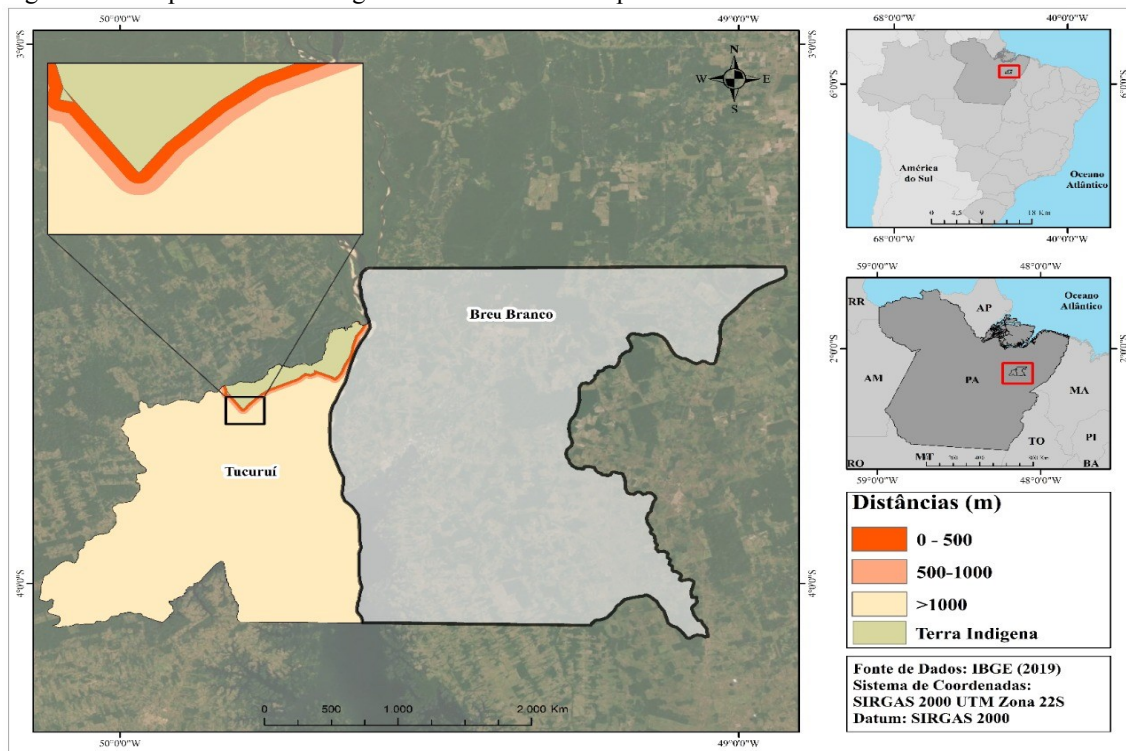
A NBR 13896/1997 recomenda que a distância entre o limite da área útil do aterro e os núcleos populacionais seja superior a 500 metros. Esta distância foi estabelecida para minimizar os impactos e incômodos que esta atividade propicia, tais como: problemas de odor, proliferação de insetos e roedores, poluição sonora e desvalorização imobiliária, sendo que alguns destes podem trazer danos à saúde humana.

A distância exigida entre um AS e habitações é fator fundamental em questões sociais e de saúde pública da população. Portanto, as áreas que se encontrarem em distâncias menores ou igual a 500 m foram consideradas inaptas e excluídas da seleção de áreas.

#### 4.1.11 Distância de comunidades tradicionais

A Figura 22 mostra o mapa de comunidades tradicionais nos municípios de Tucuuruí e Breu Branco, e indica que na área existe uma aldeia indígena, localizada em Tucuuruí, a Terra Indígena *Trocará* do povo *Asurini* do Tocantins, com uma superfície de 14,048 hectares.

Figura 22 – Mapa da Aldeia Indígena Trocará nos municípios de Tucuruí e Breu Branco



Fonte: Autoras (2021).

A destinação e disposição de resíduos inadequadas, trazem malefícios que se estendem tanto aos povos indígenas quanto à sociedade em geral. No entanto, devido às condições existentes na maioria dos territórios indígenas, estes povos se tornam mais vulneráveis aos diversos prejuízos que podem ser ocasionados à saúde e ao acesso das gerações futuras aos recursos naturais no entorno destes territórios (SILVA *et al.* 2020).

A legislação brasileira restringe o acesso e uso das áreas consideradas de proteção às comunidades e culturas tradicionais, como terras indígenas. O Decreto nº 7.747/2012 regulamenta a Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental em Terras Indígenas (PNGATI), que objetiva: garantir e promover a proteção, a recuperação, a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais das terras e territórios indígenas, assegurando a integridade do patrimônio indígena, a melhoria da qualidade de vida.

Em trabalho semelhante Kuerten (2018) usou como critério as terras indígenas e as restringiu. Cornélio (2017) em seu trabalho sobre RS e aldeias indígenas, também observou que em áreas indígenas são de proteção integral.

Foi adotada uma distância mínima de 500 metros no entorno das terras indígenas, considerando-as como núcleos populacionais, restringindo assim o seu uso e classificando as mesmas como áreas inaptas, ou seja, foram excluídas da seleção de áreas.

Cabe ressaltar que a aldeia dista mais de 20 km do centro gerador e situa-se na zona rural do município de Tucuruí, no entanto, adotou-se uma distância de 500 metros, pois a expansão territorial do município tende a crescer e futuramente pode estar próxima da área.

Nesta pesquisa, foram consideradas a distância de povos e comunidades tradicionais, e só foi identificado na área de estudo uma aldeia indígena.

É válido ressaltar, que existem muitos ribeirinhos na área de estudo, característico da região amazônica, e que por morarem próximo aos cursos d'água, estão tendo seus entornos protegidos, pois dentro d'água não se faz AS.

## 4.2 Análise multicritério

A Figura 23 mostra as comparações de pares calculados das prioridades usando o Calculadora AHP *Online*. O valor de razão de consistência dos julgamentos deu 7,8%, sendo o julgamento considerado coerente.

Figura 23 – Comparação pareada na Calculadora *Online* AHP

Com relação às prioridades do AHP, qual critério é mais importante e quanto mais em uma escala de 1 a 9?			
A - prioridades AHP escritas - ou B?		Igual	Quanto mais?
1	<input checked="" type="radio"/> Distância de cursos d'água	<input type="radio"/> Uso e Cobertura do Solo	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
2	<input checked="" type="radio"/> Distância de cursos d'água	<input type="radio"/> Distância de núcleos populacionais	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
3	<input checked="" type="radio"/> Distância de cursos d'água	<input type="radio"/> Distância do centro atendido	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
4	<input checked="" type="radio"/> Distância de cursos d'água	<input type="radio"/> Distância de estradas	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
5	<input checked="" type="radio"/> Distância de cursos d'água	<input type="radio"/> Declividade	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
6	<input checked="" type="radio"/> Distância de cursos d'água	<input type="radio"/> Pedologia (Tipos de Solo)	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
7	<input checked="" type="radio"/> Uso e Cobertura do Solo	<input type="radio"/> Distância de núcleos populacionais	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
8	<input checked="" type="radio"/> Uso e Cobertura do Solo	<input type="radio"/> Distância do centro atendido	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
9	<input checked="" type="radio"/> Uso e Cobertura do Solo	<input type="radio"/> Distância de estradas	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
10	<input checked="" type="radio"/> Uso e Cobertura do Solo	<input type="radio"/> Declividade	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
11	<input checked="" type="radio"/> Uso e Cobertura do Solo	<input type="radio"/> Pedologia (Tipos de Solo)	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
12	<input checked="" type="radio"/> Distância de núcleos populacionais	<input type="radio"/> Distância do centro atendido	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
13	<input checked="" type="radio"/> Distância de núcleos populacionais	<input type="radio"/> Distância de estradas	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
14	<input checked="" type="radio"/> Distância de núcleos populacionais	<input type="radio"/> Declividade	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
15	<input checked="" type="radio"/> Distância de núcleos populacionais	<input type="radio"/> Pedologia (Tipos de Solo)	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input checked="" type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
16	<input checked="" type="radio"/> Distância do centro atendido	<input type="radio"/> Distância de estradas	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
17	<input checked="" type="radio"/> Distância do centro atendido	<input type="radio"/> Declividade	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
18	<input checked="" type="radio"/> Distância do centro atendido	<input type="radio"/> Pedologia (Tipos de Solo)	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
19	<input checked="" type="radio"/> Distância de estradas	<input type="radio"/> Declividade	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
20	<input checked="" type="radio"/> Distância de estradas	<input type="radio"/> Pedologia (Tipos de Solo)	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
21	<input checked="" type="radio"/> Declividade	<input type="radio"/> Pedologia (Tipos de Solo)	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9

CR = 7,8% OK

dez. vírgula

Escala AHP: 1- Importância igual, 3- Importância moderada, 5- Importância forte, 7- Importância muito forte, 9- Importância extrema (2,4,6,8 valores intermediários).

Fonte: Fonte: Calculadora Prioritária AHP (2021).

Ao fim do processo de comparação pareada, o aplicativo disponibilizou a matriz de decisão e a porcentagem de importância para cada variável, de acordo com o seu nível de

importância. Desta forma, foi possível definir os valores dos pesos para os critérios escalonados que serão necessários para o mapeamento das áreas aptas a receber o AS (Tabela 16).

Tabela 16 – Pesos atribuídos aos critérios escalonados

<b>Critério</b>	<b>Peso</b>
Distância de cursos d'água	0,301 (30,1%)
Uso e cobertura do solo	0,277 (27,7%)
Distância dos núcleos populacionais	0,188 (18,8%)
Distância do centro atendido	0,096 (9,6%)
Distância de estradas	0,065 (6,5%)
Declividade	0,037 (3,7%)
Pedologia (tipos de solos)	0,037 (3,7%)

Fonte: Calculadora Prioritária AHP (2021).

As notas e pesos atribuídos às classes pertencentes aos critérios escalonados, constam na Tabela 17. As notas foram definidas conforme Tabela 6, que consta na metodologia. Para tal, vale ressaltar que a avaliação de cada classe quanto a sua aptidão para a implantação do aterro, seguiu as normas e leis regentes, bem como a literatura estudada.

Tabela 17 – Notas e pesos atribuídos às classes pertencentes aos critérios escalonados

<b>Variável</b>	<b>Classe</b>	<b>Peso</b>	<b>Nota</b>
<b>Distância de cursos d'água</b>	000 – 200 metros	0,301 (30,1%)	0
	200 – 500 metros		4
	> 500 metros		5
<b>Uso e cobertura do solo</b>	Área urbana	0,277 (27,7%)	1
	Floresta		1
	Regeneração com pasto		3
	Vegetação secundária		1
	Pasto		4
	Solo exposto		5
	Mosaico de ocupação		1
Hidrografia	0		
<b>Distância dos núcleos populacionais</b>	000 – 500 metros	0,188 (18,8%)	0
	500 – 1000 metros		4
	> 1000 metros		5
<b>Distância do centro atendido</b>	00 – 05 km	0,096 (9,6 %)	0
	05 – 10 km		5
	10 – 15 km		4
	15 – 20 km		3
	20 – 30 km		1
<b>Distância de estradas</b>	000 – 200 m	0,065 (6,5 %)	0
	200 – 500		3
	500– 1000		5
	> 1000		2

Fonte: Autoras (2021).

Tabela 17 – Notas e pesos atribuídos às classes pertencentes aos critérios escalonados

Variável	Classe	(Continuação)	
		Peso	Nota
Declividade	00 – 03%		5
	03 – 0 8%	0,037	4
	08 – 20%	(3,7 %)	3
	> 20%		2
			5
Pedologia (tipos de solos)	Latossolo		5
	Espodossolo		1
	Argissolo	0,037	4
	Gleissolo	(3,7 %)	1
	Plintossolo		1

Fonte: Autoras (2021).

### 4.3 Área mínima do aterro sanitário

A partir da aplicação da Equação 1, definimos o coeficiente de crescimento (Ka) dos municípios, os dados utilizados foram dos anos censitários de 2000 e 2010, e obteve-se o valor de Ka para Tucuruí = 2.333 e o Ka de Breu Branco = 2.004,7.

Com isso, foi realizado o cálculo da projeção aritmética para estimar a população dos municípios para os próximos 20 anos (2020 a 2040), como exposto na Tabela 18.

Tabela 18 – Estimativa populacional do município de Tucuruí e Breu Branco

Ano	População de Tucuruí (hab)	População de Breu Branco (hab)	População Total (hab)
2020	120.458	72.540	192.998
2021	122.791	74.545	197.336
2022	125.124	76.549	201.673
2023	127.457	78.554	206.011
2024	129.790	80.559	210.349
2025	132.123	82.564	214.687
2026	134.456	84.568	219.024
2027	136.789	86.573	223.362
2028	139.122	88.578	227.700
2029	141.455	90.582	232.037
2030	143.788	92.587	236.375
2031	146.121	94.592	240.713
2032	148.454	96.596	245.050
2033	150.787	98.601	249.388
2034	153.120	100.606	253.726
2035	155.453	102.611	258.064
2036	157.786	104.615	262.401
2037	160.119	106.620	266.739
2038	162.452	108.625	271.077
2039	164.785	110.629	275.414
2040	167.118	112.634	279.752

Fonte: Autoras (2021).

A Tabela 18 mostra a projeção populacional entre os anos 2020 a 2040, dos municípios de Tucuruí e Breu Branco, e o resultado total da somatória dos dois municípios.

Os valores da geração de RSU para o município de Tucuruí estão descritos na Tabela 19, que diz respeito estimativa até o ano de 2040.

Tabela 19 – Estimativa da Geração de RSU para o Município de Tucuruí até o ano de 2040

<b>Ano</b>	<b>População total</b>	<b>Geração diária de RSU (ton/dia)</b>	<b>Geração anual de RSU (ton/ano)</b>
2020	120.458	101,18	36.932,42
2021	122.791	103,14	37.647,72
2022	125.124	105,10	38.363,02
2023	127.457	107,06	39.078,32
2024	129.790	109,02	39.793,61
2025	132.123	110,98	40.508,91
2026	134.456	112,94	41.224,21
2027	136.789	114,90	41.939,51
2028	139.122	116,86	42.654,81
2029	141.455	118,82	43.370,10
2030	143.788	120,78	44.085,40
2031	146.121	122,74	44.800,70
2032	148.454	124,70	45.516,00
2033	150.787	126,66	46.231,29
2034	153.120	128,62	46.946,59
2035	155.453	130,58	47.661,89
2036	157.786	132,54	48.377,19
2037	160.119	134,50	49.092,49
2038	162.452	136,46	49.807,78
2039	164.785	138,42	50.523,08
2040	167.118	140,38	51.238,38

Fonte: Autoras (2021).

Os valores da geração de RSU para o município de Breu Branco estão descritos na Tabela 20, que diz respeito à uma estimativa até o ano de 2040.

Tabela 20 – Estimativa da Geração de RSU para o Município de Breu Branco até o ano de 2040

<b>Ano</b>	<b>População total Breu Branco</b>	<b>Geração Diária de RSU (ton/dia)</b>	<b>Geração Anual de RSU (ton/ano)</b>
2020	72540	50,05	18.269,20
2021	74544,7	51,44	18.774,08
2022	76549,4	52,82	19.278,97
2023	78554,1	54,20	19.783,85
2024	80558,8	55,59	20.288,73
2025	82563,5	56,97	20.793,62
2026	84568,2	58,35	21.298,50
2027	86572,9	59,74	21.803,38
2028	88577,6	61,12	22.308,27
2029	90582,3	62,50	22.813,15

Fonte: Autoras (2021).

Tabela 20 – Estimativa da Geração de RSU para o Município de Breu Branco até o ano de 2040

(Continuação)

<b>Ano</b>	<b>População total Breu Branco</b>	<b>Geração Diária de RSU (ton/dia)</b>	<b>Geração Anual de RSU (ton/ano)</b>
<b>2030</b>	<b>92587</b>	<b>63,89</b>	<b>23.318,04</b>
<b>2031</b>	94591,7	65,27	23.822,92
<b>2032</b>	96596,4	66,65	24.327,80
<b>2033</b>	98601,1	68,03	24.832,69
<b>2034</b>	100605,8	69,42	25.337,57
<b>2035</b>	102610,5	70,80	25.842,45
<b>2036</b>	104615,2	72,18	26.347,34
<b>2037</b>	106619,9	73,57	26.852,22
<b>2038</b>	108624,6	74,95	27.357,11
<b>2039</b>	110629,3	76,33	27.861,99
<b>2040</b>	112634	77,72	28.366,87

Fonte: Autoras (2021).

Na Tabela 21, estão descritos os valores da geração de RSU para o município de Tucuruí somados aos valores de Breu Branco, que diz respeito à uma estimativa até o ano de 2040.

Tabela 21 – Estimativa da Geração de RSU para área de estudo até o ano de 2040

<b>Ano</b>	<b>Geração diária de RSU (ton/dia) para a população total</b>	<b>Geração anual de RSU (ton/ano) para a população total</b>
<b>2020</b>	151,24	55.201,62
<b>2021</b>	154,58	56.421,80
<b>2022</b>	157,92	57.641,98
<b>2023</b>	161,27	58.862,17
<b>2024</b>	164,61	60.082,35
<b>2025</b>	167,95	61.302,53
<b>2026</b>	171,30	62.522,71
<b>2027</b>	174,64	63.742,89
<b>2028</b>	177,98	64.963,07
<b>2029</b>	181,32	66.183,26
<b>2030</b>	184,67	67.403,44
<b>2031</b>	188,01	68.623,62
<b>2032</b>	191,35	69.843,80
<b>2033</b>	194,70	71.063,98
<b>2034</b>	198,04	72.284,16
<b>2035</b>	201,38	73.504,34
<b>2036</b>	204,72	74.724,53
<b>2037</b>	208,07	75.944,71
<b>2038</b>	211,41	77.164,89
<b>2039</b>	214,75	78.385,07
<b>2040</b>	218,10	79.605,25

Fonte: Autoras (2021).

A partir da estimativa dos resíduos que serão gerados nos municípios e baseado na classificação do BNDS (2014) a classificação do aterro é de médio porte.

Mediante o exposto, devido a população dos municípios terem sido estimada em 279.752 habitantes até o fim da vida útil do aterro, que nesse caso é no ano de 2040, podemos concluir com base no termo de referência disponibilizado pelo Ministério das Cidades (MC), que a área ocupada para o AS será de 55 hectares. E conforme o MMA (2015) os valores estimados para implantação de um aterro de médio porte (800 t/dia) seriam em torno de R\$ 18,4 milhões.

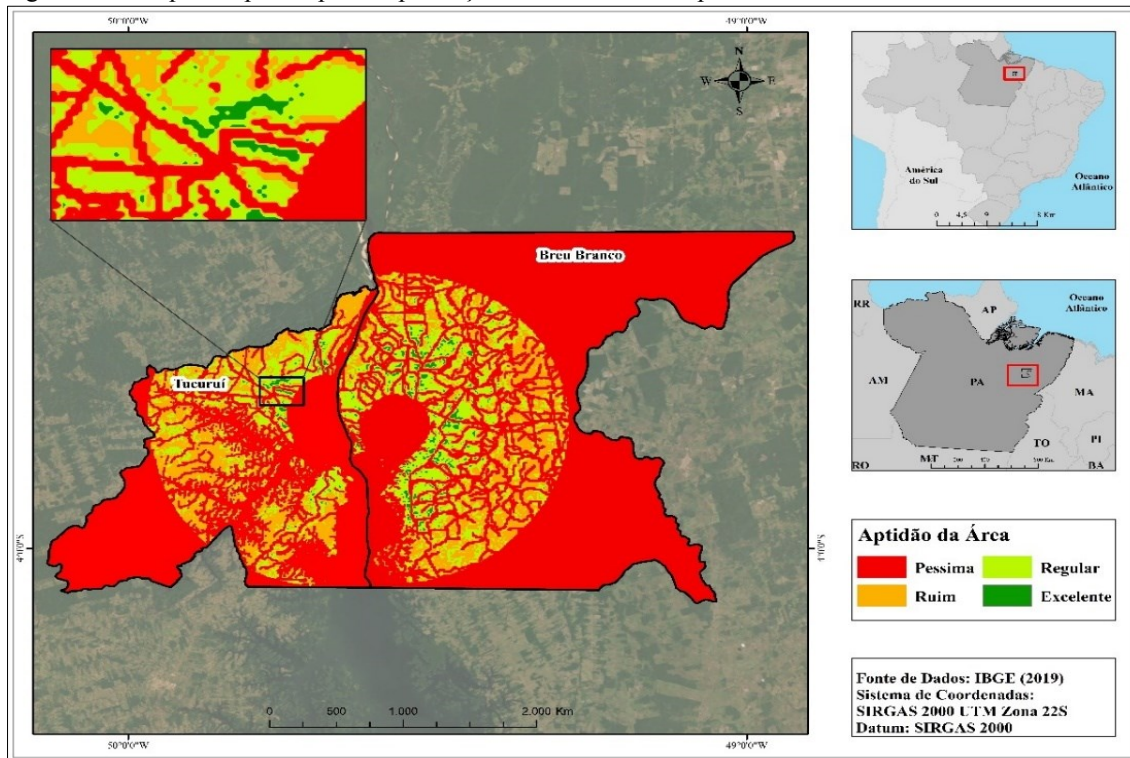
Observa-se, que essa estimativa é preliminar, o que também foi ressaltado por Silva (2019), afirmando que existem outras maneiras de cálculo para dimensionamento da área do aterro, porém ambas exigem informações técnicas da operação do aterro, o que equivocadamente fugiria do foco do referido trabalho.

E no estudo não foram consideradas a realização da triagem, compostagem e coleta diferenciada dos resíduos, condições exigidas pela Lei nº 12.305/2010 e requisito para se ter um AS, porque estamos trabalhando com a situação mais desfavorável, tendo esta atendida, a situação favorável (atendimento completo da PNRS) será atendida também.

#### **4.4 Seleção das áreas adequadas**

A Figura 24 apresenta o mapa de áreas potenciais a implantação do AS nos municípios de Tucuruí e Breu Branco, em seus 4 níveis de aptidão classificadas em péssima, ruim, regular e excelente. De acordo com o mapa, pode ser observado que em sua maioria, as áreas dos municípios têm potencialidades péssima e ruim (cores vermelhas e laranja, respectivamente) para receber a implantação do projeto. Enquanto que as áreas com excelente aptidão, representadas pela cor verde escuro, são as de menor abrangência dentro dos municípios, estando localizadas em sua maioria no município de Breu Branco. Esses dados, são melhores descritos na Tabela 22 e 23.

Figura 24 – Mapa de aptidão para implantação de AS nos municípios de Tucuruí e Breu Branco



Fonte: Autoras (2021).

Percebe-se na Tabela 22 que o município de Tucuruí possui baixa aptidão de áreas para a instalação de AS, sendo apenas 0,739179237% excelente.

Tabela 22 – Percentual de aptidão de áreas para AS no município de Tucuruí

Aptidão da área	Tucuruí		
	Áreas (m <sup>2</sup> )	Áreas (km <sup>2</sup> )	%
<b>Péssima</b>	1242535603	1242,535603	60,07884579
<b>Ruim</b>	522380199,4	522,3801994	25,25802831
<b>Regular</b>	287971568,8	287,9715688	13,92394667
<b>Excelente</b>	15287519,38	15,28751938	0,739179237
<b>Total</b>	2068174891	2068,174891	100

Fonte: Autoras (2021).

Rabelo e Santos (2019) em seu estudo verificaram que o município de Tucuruí já instalou lixões em nove pontos diferentes e que foram desativados de forma desordenada. Esse fato, também foi observado por Fonseca (2010), que afirma que o município de Tucuruí apresenta dificuldades com a disponibilidade de áreas aptas para a construção de AS, visto que as áreas para disposição final, estão cada vez mais escassas, por conta das ocupações espontâneas sucedidas no município e além de possuir extensa Área de Preservação Ambiental.

O estudo proposto corrobora com os estudos citados, onde conclui-se que o município de Tucuruí possui poucas áreas adequadas para AS.

Tabela 23 – Percentual de aptidão de áreas para AS no município de Breu Branco

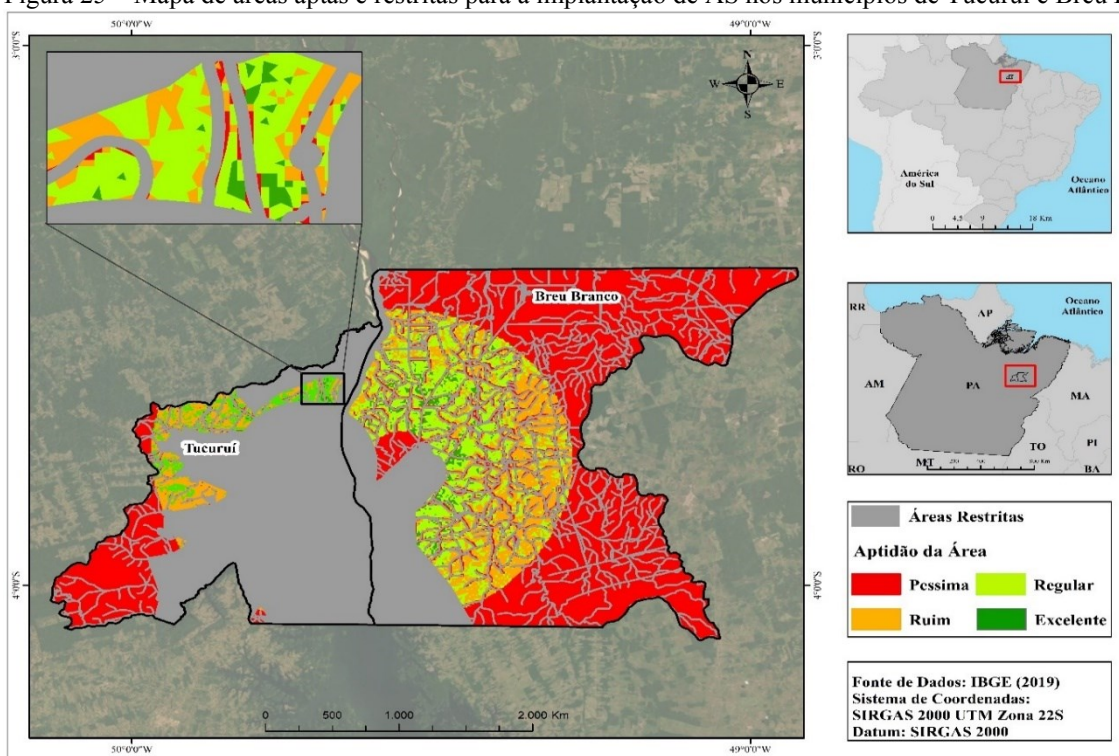
Breu Branco			
Aptidão da área	Áreas (m <sup>2</sup> )	Áreas (km <sup>2</sup> )	%
<b>Péssima</b>	2750616774	2750,616774	70,22935235
<b>Ruim</b>	504529524,4	504,5295244	12,88175876
<b>Regular</b>	592217128,1	592,2171281	15,12061794
<b>Excelente</b>	69256451,32	69,25645132	1,76827094
<b>Total</b>	3916619878	3916,619878	100

Fonte: Autoras (2021).

Percebe-se na Tabela 23 que o município de Breu Branco possui baixa aptidão de áreas para a instalação de AS, sendo apenas 1,76827094% excelente.

A aplicação dos critérios restritivos, sobre o resultado do mapa de potencialidades (Figura 24) serviu como condicionante legal, para restringir áreas consideradas inaptas. Desta forma, possibilitou o restringimento das áreas como é ilustrado na Figura 25.

Figura 25 – Mapa de áreas aptas e restritas para a implantação de AS nos municípios de Tucuruí e Breu Branco

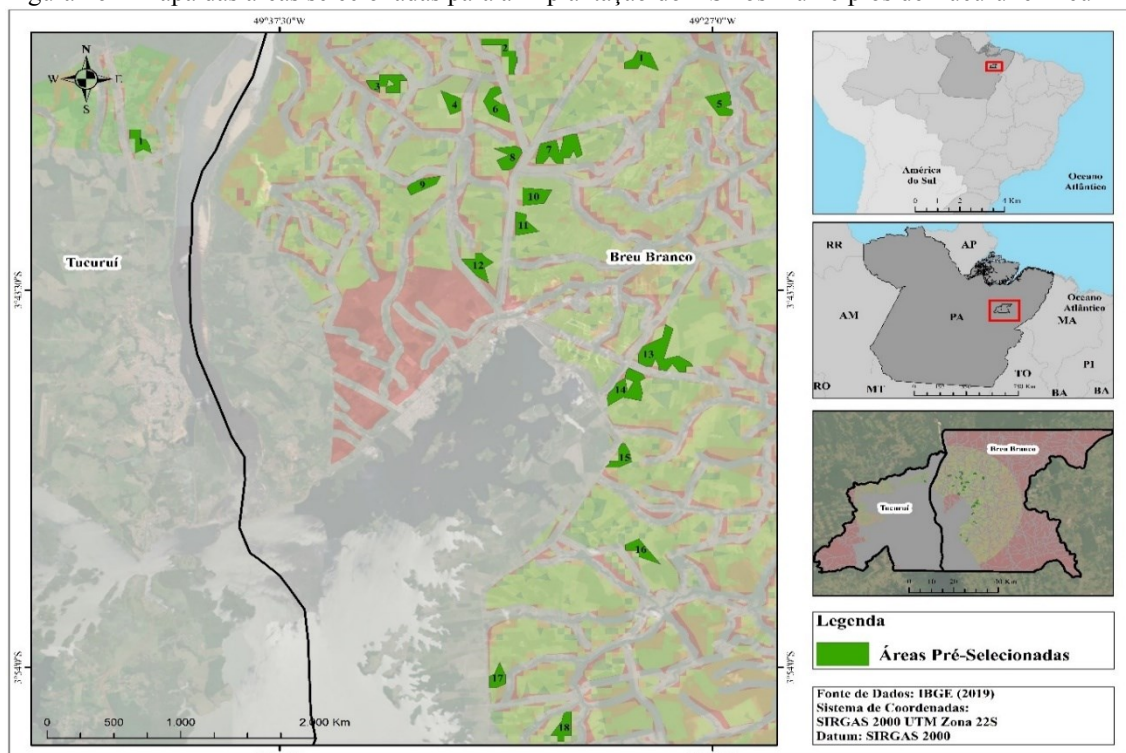


Fonte: Autoras (2021).

Dessa forma, os mapas (Figura 24 e 25) permitem uma visão de como o território do município se comporta em termos de aptidão à implantação do aterro, possibilitando a escolha dos locais dentro de regiões excelentes que merecem um estudo detalhado. Observando a Figura 26 pode-se perceber a influência das restrições no resultado final.

As áreas de excelente aptidão, foram filtradas quanto ao seu tamanho, sendo consideradas apenas áreas iguais ou superiores a 55 hectares, de acordo com a área mínima calculada para implantação e funcionamento do AS. Como resultado foram identificadas 19 áreas que atendem a este critério (Figura 26).

Figura 26 – Mapa das áreas selecionadas para a implantação do AS nos municípios de Tucuruí e Breu Branco



Fonte: Autoras (2021).

A Tabela 24 indica as áreas selecionadas bem como a dimensão de área de cada uma e as coordenadas geográficas, a fim de permitir a identificação em campo.

Tabela 24 – Áreas selecionadas para AS nos municípios de Tucuruí e Breu Branco

Área selecionada	Dimensão (ha)	Longitude	Latitude
<b>Tucuruí</b>			
1	60,6388	49° 40' 54,049" W	3° 39' 21,788" S
<b>Breu Branco</b>			
1	85,5663	49° 28' 44,120" W	3° 37' 8,357" S
2	93,4112	49° 32' 3,709" W	3° 36' 52,723" S
3	100,0331	49° 34' 53,138" W	3° 37' 45,124" S
4	61,9785	49° 33' 18,645" W	3° 38' 17,916" S
5	95,6729	49° 26' 47,845" W	3° 38' 19,410" S
6	107,2477	49° 32' 14,978" W	3° 38' 21,282" S
7	189,5971	49° 30' 43,263" W	3° 39' 36,537" S

Fonte: Autoras (2021).

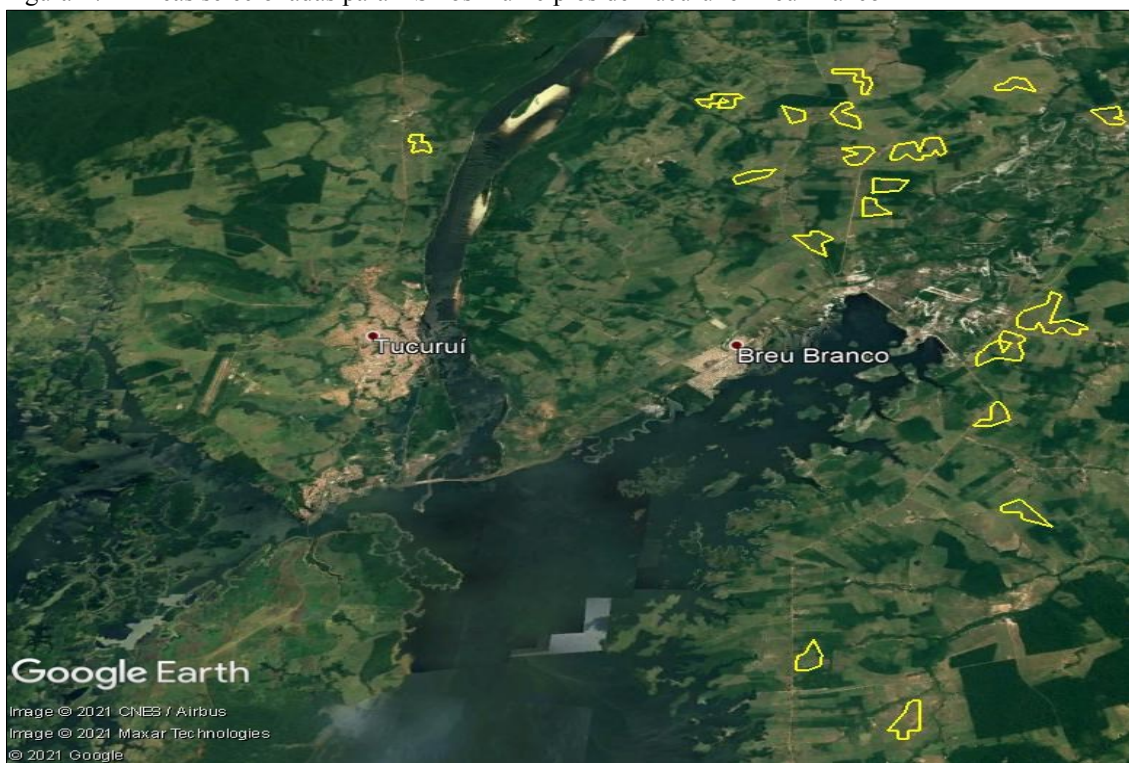
Tabela 24 – Áreas selecionadas para AS nos municípios de Tucuruí e Breu Branco

(Continuação)			
Área selecionada	Dimensão (ha)	Longitude	Latitude
<b>Breu Branco</b>			
8	91,4831	49° 31' 55,792" W	3° 39' 48,783" S
9	69,3407	49° 34' 2,033" W	3° 40' 34,364" S
10	90,8465	49° 31' 18,962" W	3° 40' 53,639" S
11	70,2738	49° 31' 35,428" W	3° 41' 41,876" S
12	92,9080	49° 32' 40,299" W	3° 42' 49,554" S
13	231,9796	49° 28' 14,122" W	3° 45' 17,212" S
14	161,4760	49° 29' 4,157" W	3° 46' 13,547" S
15	65,6715	49° 29' 12,640" W	3° 48' 9,636" S
16	72,0205	49° 28' 44,568" W	3° 50' 44,729" S
17	59,7343	49° 32' 12,670" W	3° 54' 17,821" S
18	75,9139	49° 30' 36,556" W	3° 55' 40,040" S

Fonte: Autoras (2021).

Para melhor avaliação dos resultados, foram utilizadas imagens do programa *Google Earth Pro*, para verificação da viabilidade de implantação do aterro sanitário, a partir da análise de componentes da paisagem.

Figura 27 – Áreas selecionadas para AS nos municípios de Tucuruí e Breu Branco



Fonte: Adaptado do Google Earth (2021).

A Figura 27 mostra as áreas selecionadas, este recurso permitiu constatar que o critério uso e cobertura do solo foi assertivo, pois as áreas são predominantemente de pastagem, que correspondem as áreas mais claras no mapa. Também pode-se observar que as áreas são próximas a estradas e distantes de cursos d'água (que são representadas pela cor azul escuro). Para melhor visualização, em Apêndice constam a visualização individual de todas as 19 excelentes áreas selecionadas.

Portanto a seleção de áreas para AS nos municípios de Tucuruí e Breu Branco, identificou 19 áreas com aptidão excelente para a sua instalação e indicou que todas as áreas estão localizadas em áreas rurais.

## 5 CONCLUSÃO

A disposição final dos resíduos sólidos urbanos em lixões a céu aberto é uma forma ambientalmente inadequada e legalmente proibida. Neste cenário, os municípios de Tucuruí e Breu Branco no estado do Pará, dispõem seus resíduos em lixões e suas áreas encontram-se em localizações inadequadas.

Diante disso, a pesquisa teve como objetivo selecionar áreas adequadas para a implantação de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, que são a forma ambientalmente adequada e indica pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, nos municípios de Tucuruí e Breu Branco – PA, a partir do uso de geoprocessamento e análise multicritério. Neste sentido, a metodologia apresentada, teve os seus objetivos alcançados.

O geoprocessamento em conjunto com a análise multicritério mostrou-se uma ferramenta eficaz e de baixo custo para a escolha de áreas para implantação de aterros sanitários. E nesta pesquisa a análise conjunta de critérios restritivos e escalonados, resultou na seleção de 19 áreas excelentes, todas localizadas em zonas rurais, sendo apenas 1 localizada no município de Tucuruí.

Portanto, o presente estudo realizou uma importante contribuição para o desenvolvimento de pesquisas acerca do uso de geotecnologias como auxílio à gestão de resíduos sólidos, e pode ser utilizado como uma ferramenta de gestão para os municípios brasileiros, uma vez que as áreas adequadas para implantação de aterros sanitários ainda são um desafio.

### 5.1 Recomendações para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros seguem algumas recomendações:

- Estudo específico para cada área selecionada e a realização de análises *in loco* nas mais adequadas. Pois, embora a utilização de técnicas de geoprocessamento racionalize tempo e traga respostas rápidas, o emprego dessa técnica não exclui a necessidade de um estudo mais detalhado, além de análises *in loco*. A avaliação *in loco* é de suma importância, pois a escolha do local para disposição final de resíduos envolve uma série de critérios socioeconômicos, de difícil mensuração em ambiente SIG.
- O estudo de viabilidade para formação de consórcio público para a implantação de um aterro sanitário nos municípios. Pois a disposição final frequentemente esbarra na indisponibilidade de áreas adequadas, ou mesmo na incapacidade financeira diante dos elevados custos de um aterro sanitário. E a seleção de áreas em nível regional, possui o

incentivo da PNRS para a formação de consórcios intermunicipais para o gerenciamento conjunto do problema.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS E EFLUENTES. **Estudo sobre os aspectos econômicos e financeiros da implantação e operação de aterros sanitários**. Rio de Janeiro - RJ: FGV, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.896/97: aterros de resíduos não perigosos - critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. 2018. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em 05 jul. 2019.

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

ALBERTIN, R.M. *et al.* **Diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos urbanos do município de Flórida Paraná**. Revista Agro@ambiente On-line, v. 4, n. 2, p. 118-125, 2010.

ALBUQUERQUE, J. B. T. **Resíduos Sólidos: Teoria – Jurisprudência – Legislação – Prática**. 1. ed. Leme-SP: Independente, 2011. 795 p.

ANDRADE, A.; BARBOSA, N. **Combinação do Método AHP e SIG na Seleção de Áreas com Potenciais para a Instalação de Aterro Sanitário: Caso da Ilha do Fogo, na República de Cabo Verde**. Revista de Geografia (UFPE), v. 32, n. 2, 2015.

ANDRADE, T.; ALBUQUERQUE, P. **Tomada de Decisão Usando o Analytic Hierarchy Process (AHP) para a Seleção de um Curso para Concurso Público**. TAC, Rio de Janeiro, v. 2, n.1, 2012.

ÂNGELO, D. S.; OLIVEIRA, G. G. R. & SILVA, J. Q. **Aplicação de técnicas de geoprocessamento para determinação de áreas favoráveis à disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) em aterro sanitário no município de Jaraguá – GO**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiás – Goiânia, 2014.

AQUINO, J, N; NERO, M, A; COSTA, A, M. Utilização de técnicas de modelagem e análise espacial na identificação de áreas ótimas para a implantação de aterros sanitários em Regiões metropolitanas densamente povoadas. **REVISTA Caminhos de Geografia**. Uberlândia - MG v. 20, n. 70 Junho/2019. p. 01–19.

BAIERLE, B. et al. **Seleção de área adequada para a implantação de aterro sanitário no município de Marmeleiro – PR, através de técnicas de geoprocessamento**. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 13, n. 2, p. 110-127, 2016.

BANCO MUNDIAL. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>. Acesso em 29 out. 2019.

BARTHOLOMEU, D. B.; BRANCO, J. E. H. & CAIXETA FILHO J.V. **Logística de transporte dos resíduos sólidos**. In: BARTHONOLONEU, D. B.; BRANCO, J. E. H.; Logística ambiental de resíduos sólidos. São Paulo: Atlas, 2011.

BENDA, F. **Favorabilidade de Áreas para implantação de Aterros Controlados no Município de Campos dos Goytacazes/RJ Utilizando Sistemas de Informação Geográfica**. Dissertação (mestrado) – Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2008.

BESEN, G.R. et al. **Coleta seletiva na região metropolitana de São Paulo: impactos da política nacional de resíduos sólidos**. Ambiente & Sociedade, v. XVII, n. 3, p. 259–278, 2014.

BORN, V. **Avaliação da aptidão de áreas para a instalação de aterro sanitário com o uso de ferramentas de apoio à decisão por múltiplos critérios**. Anais. In: XV Mostra de Ensino, Extensão e Pesquisa da UNIVATES - XV MEEP, 2013, Lajeado. Anais da XIV MEEP - Mostra de Ensino, Extensão e Pesquisa, 2013.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Diário Oficial da União 1998.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União 1998.

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. Brasília, DF, 2000.

BRASIL. Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005. **Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências**. Brasília, DF, 2005.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos**. Redução de emissão na disposição final. Brasília, DF, 2007. Disponível em: [http://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/03-aterro\\_mdl\\_1.pdf](http://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/03-aterro_mdl_1.pdf). Acesso em 02 mar. 2019.

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. Câmara dos Deputados. **Jornal da Câmara**. Edição especial: Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília-DF, 2011.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Termo de Referência Técnico: Execução dos estudos ambientais preliminares, elaboração do projeto básico e executivo completo do aterro Sanitário**. Brasília, DF, 2011

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, 2011.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Brasília, DF, 2012.

BRASIL. **Lei nº 12.725, de 16 de outubro de 2012**. Dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos. Brasília, DF, 2012.

BRASIL. BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO (BNDES). **Estimativa de investimentos em aterros sanitários para atendimento de metas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos entre 2015 e 2019**. 2014.

BRASIL. Senado Federal. **Fim dos Lixões ganha mais prazo**. Agência Senado. Revista Em Discussão. 2015. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/pacto-federativo/propostas-1/aprovado-mais-prazo-para-fim-dos-lixoes#>. Acesso em 28 jul. 2019.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/panorama>. Acesso em 01 jan. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Cresce em 264% o número de casos de dengue no país**. 2019. Disponível em: <https://www.saude.gov.br/noticias/agencia-saude/45314-cresce-em-264-o-numero-de-casos-de-dengue-no-pais>. Acesso em 02 jan. 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.651, 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Poder Executivo, C 2012.

BRASIL. **Resolução Conama nº 004, de 11 de dezembro de 1995**. Estabelece as Áreas de Segurança Portuária – ASAs. Ministério do Meio Ambiente. Poder Executivo, Brasília, DF. 1995.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº

13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. 2020.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de conservação rodoviária**. 2 ed. – Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 428, de 17 de dezembro de 2010**. Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC), de que trata o § 3º do artigo 36 da Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, bem como sobre a ciência do órgão responsável pela administração da UC no caso de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos a EIA-RIMA e dá outras providências.

BRASIL. 2019. **Projeto de Lei PL 4162/2019**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento.

BRITO, A. A. DE.; *et al.* **Avaliação do cumprimento dos critérios técnicos, contidos na NBR-10157/87, no aterro da cidade de Anápolis/GO com a utilização de geotecnologias**. Rev. BVRU, Goiânia, v. 2, n. 1, jan./jun, 2016. p. 169-186.

CALDAS, E. L. **Formação de agendas governamentais locais: o caso dos consórcios intermunicipais**. Tese (doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (FFLCH-USP). São Paulo, 2007.

CARISSIMI, E.; WOLF, D. B. & TAVARES, C. M. **Seleção de áreas para a construção de um aterro sanitário em Porto Velho/RO**. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales; Vol. 8, n. 2, p. 237-247, 2015.

CARRILHO, A.N.; CANDIDO, H.G.; SOUZA, A.D. **Geoprocessamento aplicado na seleção de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Conceição das Alagoas (MG)**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.23, n.1, p. 201-206, 2018.

CARVALHO, C. E. A. et al. **Caracterização das colisões entre aves e aeronaves nos aeródromos brasileiros**. Revista Conexão SIPAER, 7(1):89-96, 2016.

COLMAN, C.B.; et al. **Análise Regional para Implantação de Aterro Sanitário Utilizando Software Livre**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, v. 39 - 3 / 2016, p. 98-104.

COLVERO, D.A. et al. **Aterro sanitário de Goiânia: uma identidade territorial e a vulnerabilidade e exclusão social da população do seu entorno**. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 14, n. 2, p. 03-20, 2017.

CORNÉLIO, I. **Resíduos Sólidos Domésticos na Terra Indígena Rio das Cobras** **Dissertação de Mestrado apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS**. Orientadora: Profª. Drª. Betina Muelbert Co-Orientadora: Profª. Drª. Janete Stoffel Laranjeiras

do Sul. Informações sobre Saneamento. 2017. Disponível em:  
<<http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em 02 jan. 2019.

COSTA, B. S. & RIBEIRO, J. C. J. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos: direitos e deveres**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2013.

DOMINGOS, L. G; BRITO, L. P. **Utilização de SIG e AJP na seleção de área para aterro sanitário em alguns municípios do oeste do estado do Rio Grande do Norte**. Anais. Porto Alegre. Rio Grande do Sul. VII Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2010.

DUTRA, D. J.; et al. G. A. **Seleção de área para construção de aterro sanitário no município de esmeraldas, mg, a partir da utilização de ferramentas de geoprocessamento**. Rev. Geogr. Acadêmica v.13, n.2, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. rev. atual. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FELICORI, T.C.; et al. Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21 n.3, p. 547-560, 2016.

FILHO, M. A. A. **Avaliação prévia de áreas para implantação de um aterro sanitário para o município de Palmares- PE**. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário Tabosa De Almeida-Asces/Unita. Caruaru, Pernambuco, 2017.

FONSECA, D. R. M. **O consorcio público intermunicipal como instrumento de gestão dos resíduos sólidos urbanos: um estudo de caso nos municípios de Tucuruí e Breu Branco (Estado do Pará)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

GUEVARA, M.D.F.; et al. Escolha de áreas potenciais para localização de um aterro sanitário no município de Pelotas/RS utilizando sistema de informações geográficas. **TECNO-LÓGICA**, v. 21, n. 2, 2017. p. 80-90

GOEPEL, K. D. **Sistema de Calculadora Prioritária Online – AHP-OS**. 2017. Disponível em: [https://bpmsg.com/academic/ahp\\_calc.php](https://bpmsg.com/academic/ahp_calc.php). Acesso em: 20 jan. 2021.  
IDEFLOR-Bio Área de proteção ambiental do lago de Tucuruí. Disponível em: <https://ideflorbio.pa.gov.br/unidades-de-conservacao/regiao-administrativa-tucuruui/apa-do-lago-de-tucuruui/>. Acesso em 20 jun. 2019.

INSTITUO AUTOGLASS. (2017) **Panorama de adequação das regiões metropolitanas à Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: [https://www.institutoautoglass.org.br/files/diagramacao\\_residuos\\_solidos.pdf](https://www.institutoautoglass.org.br/files/diagramacao_residuos_solidos.pdf). Acesso em 05 out. 2019.

KUERTEN, I. S. **Seleção de áreas para instalação de aterro de resíduos sólidos urbanos (classe II A) no litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto alegre, 2018.

- LIMA, J. C. P. & OLIVEIRA, R. C. **Políticas públicas, exclusão social e a questão ambiental: o fechamento do “lixão de Gramacho”**. Rev. ComPolis, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 147-163, 2020.
- LOURENÇO, R. W.; et al. **Utilização de Sistema de Informação Geográfica para identificação de áreas potenciais à implantação de aterro sanitário consorciado**. *Ambiência*, v. 13, n. 2, p. 452-469, 2017.
- MARQUES, M.D. **Seleção de área para implantação de aterro sanitário simplificado: estudo de caso para município de Guapó – GO**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.
- MATOS, F. & DIAS, R. **A gestão de resíduos sólidos e a formação de consórcios intermunicipais**. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v.4, p. 501-5019, set/dez, 2011, ISSN 1981-9951.
- MODA, R.F. **Identificação de áreas potenciais para implantação de aterro sanitário na região metropolitana de Londrina/PR**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.
- MOREIRA, Dimaghi SCHWAMBACK, Nathalia Ribeiro CORRÊA, André Luiz Nascentes COELHO. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 35, n. 4, p.531-541, 2016.
- MOREITA, P.A.G.; BARBERI, M. OLIVEIRA, A.L.G. **Delimitação de áreas para implantação de aterro sanitário utilizando metodologia multicritérios no município de Goiás, Goiás**. *Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos*, v. 4, n. 2, p. 223-235, 2018.
- MOURA, A.C.M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 2º Ed. Belo Horizonte: Ed. da autora, 2005.
- MUNIZ, C. A. L. **Análise comparativa dos métodos de fatores ponderados na seleção de áreas para aterros sanitários**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.
- NASCIMENTO, V.F & SILVA, A. M. **Geoprocessamento Aplicado na Escolha de Áreas para a Construção de um Aterro Sanitário no Município de Bauru-SP**. Anais, 2011.
- NOVAES, W. G.; ALVAREZ, M. R. D. V. **Perigo aviário em aeroportos do nordeste do Brasil: análise das colisões entre aves e aviões entre os anos de 1985 e 2009**. *Revista Conexão SIPAER*, 1(3):47-68, 2010.
- NOVAES, W. G.; ALVAREZ, M. R. D. V. **Relação entre resíduo sólido urbano e urubus-de-cabeça-preta (Coragyps atratus): um perigo para as aeronaves no Aeroporto de Ilhéus (SBIL)**. *Revista Conexão SIPAER*, 5(1):22-29, 2014.
- NUNES, R. R. & SILVA, E. **Transbordo de resíduos sólidos**. *Revista Pensar Engenharia*, v. 3, n. 1, 2015.

ON-HABITAT – ONU. **World Habitat Day. Municipal Solid Waste Management.** 2018. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/humanidade-produz-mais-de-2-bilhoes-de-toneladas-de-lixo-por-ano-diz-onu-em-dia-mundial/> Acesso em 21 dez. 2019.

OTERO, R. A. P. **Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG.** Ciência e Natura. Santa Maria - RS. V. 37 n. 4, 2015.

PARÁ. **Decreto nº 7.747, de 5 de junho de 2012.** Institui a Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas – PNGATI, e dá outras providências, 2012.

PEGIRS. Ministério Público Do Pará. **Relatório de Síntese: Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Pará** Belém, v. 1 e 2, 2014.

PINHEIRO, J. C. Z.; HABER, E. P. Z.; ZANDONADI, J. E.; BAIA, D. DOS S. & PETRILLI, L. **Implantação de aterro sanitário, com utilização e recuperação de área degradada para disposição final de resíduos sólidos na cidade de Tucuruí – Pará.** Anais. Ponta Grossa –PR, 2019.

PMBB (Prefeitura municipal de Breu Branco). **Plano Diretor de Breu Branco.** Documento Técnico. Breu Branco, 2006.

PORTELLA, M. O. & RIBEIRO, J. C. J. **Aterros Sanitários: Aspectos gerais e destino final dos resíduos.** Revista Direito Ambiental e Sociedade, v. 4, n. 1, p. 115-134, 2014.

RABELO, M. F. & SANTOS, V. C. P. **A Gestão Dos Resíduos Sólidos No Município De Tucuruí-Pa.** Anais. Foz do Iguaçu –PR 2019.

REDE DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL – RECESA. **Resíduos sólidos - Projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários - Nível 2.** Guia do profissional em treinamento. 2008.

REIS, D.; FRIEDE, R. & PASCARELLI, F. H. **Política nacional de resíduos sólidos (Lei nº 12.305/2010) e educação ambiental.** Revista Interdisciplinar de Direito. 3 v. 14, n. 1, pp.99-111 jan./jun, 2017.

ROCHA, L. D.; et al. **Uso dos sistemas de informação geográfica na seleção de áreas para implantação de aterro sanitário na microrregião do Arari, Ilha do Marajó-PA.** Anais. Natal-RN, 2019.

ROCHA, P. G. O.; XIMENES, T. C. F. & GUERRA, S. M. S. **Geoprocessamento aplicado a seleção de áreas para implantação de aterro sanitário: estudo de caso, consórcio Brejo Madre de Deus e Juatuba-PE.** Revista GEAMA. Recife-PE. Vol.1, n.2, mês – setembro, 2015.

RODRIGUES, F. L. & CAVINATTO, V. M. **Lixo: de onde vem? para onde vai?** 2 ed. Reform. São Paulo: Moderna, 2003.

SANTOS, G. G. D. **Análise e Perspectivas de Alternativas de Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos: O Caso da Incineração e da Disposição em Aterros.** Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, Rio de Janeiro, 2011.

SANTOS, I, N, M.; FELIPE, L, B. **Análise baseada em SIG usada para selecionar áreas favoráveis da construção de aterros sanitários na cidade de Jacundá-PA.** Revista Sumaúma, v. 11, p. 99-108, 2019.

SANTOS, M, N, S. et al. **Análise espacial (lógica Booleana) aplicada na identificação de áreas aptas a implementação de um aterro sanitário simplificado, Nova Ipixuna – PA.** Revista Sumaúma, v. 10, p. 11-21, 2018.

SILVA, A.N.R. **SIG: Uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes.** São Carlos, SP: Ed. dos Autores, 2004.

SILVA, L, B; MENESES, V, D; DEMARCHI, A, L, C. **Resíduos sólidos e povos indígenas: enquadramentos da mídia no Brasil.** Revista Humanidades e Inovação v.7, n.16 – 2020.

SILVA, M. V. S. 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.** Monografia. Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 2019.

SILVA, S. A. F. et al. **Caracterização de impactos ambientais causados por um vazadouro na Cidade de Mogeiro-PB.** Anais. In: 1º Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia. Campina Grande.2012. Disponível em: <[http://www.editorarealize.com.br/revistas/enect/trabalhos/Poster\\_301.pdf](http://www.editorarealize.com.br/revistas/enect/trabalhos/Poster_301.pdf)>. Acesso em 29 mar. 2020.

SILVEIRA, R. **Gestão Consorciada de Resíduos Sólidos Urbanos em Municípios de Pequeno Porte: Uma contribuição para a sustentabilidade nas relações sociais ambientais.** Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2008.

SPIGOLON, L, M, G. et al. **Seleção de áreas adequadas para a instalação de aterro sanitário utilizando SIG e análise multicritério - estudo de caso: UGRHI 5 (Piracicaba/Capivari/Jundiaí)** Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul.** 1. ed. Porto Alegre: EMATER/RS – ASCAR, 2008. 222p.

TAVARES, F. G. R. & TAVARES, H. S. P. **Resíduos sólidos domiciliares e seus impactos socioambientais na área urbana de Macapá-AP.** 62 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Naturais, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2014.

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. Cap. 21, p. 343-360, 1998.

TSUTIYA, M, T. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

VASCONCELOS JUNIOR, M. R. & CORRÊA, R. do S. da S. **Impactos socioambientais causados pelo aterro sanitário no município de Marituba-PA**. Anais. Florianópolis- SC, 2017.

WEBER, E. & HASENACK, H. **Avaliação de Áreas para Instalação de Aterro**. 2000.

WIKIMEDIA COMMONS. **Diagrama de resíduos sólidos**. 2014. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagrama\\_Res%C3%ADduos\\_S%C3%B3lidos.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagrama_Res%C3%ADduos_S%C3%B3lidos.png). Acesso em 20 jul. 2019.

## APÊNDICE

### Áreas selecionadas para AS nos municípios de Tucuuruí e Breu Branco

APÊNDICE A – Área 01 selecionada do município Tucuuruí



APÊNDICE B – Área 01 selecionada do município Breu Branco



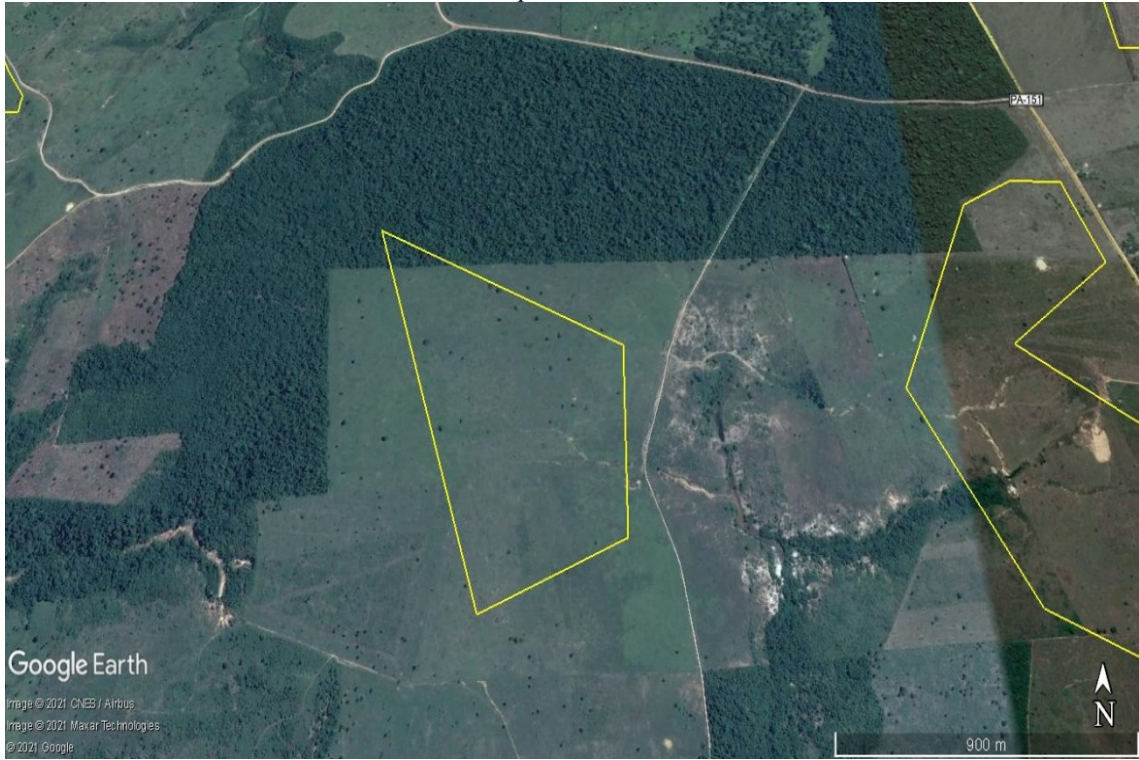
APÊNDICE C – Área 02 selecionada do município Breu Branco



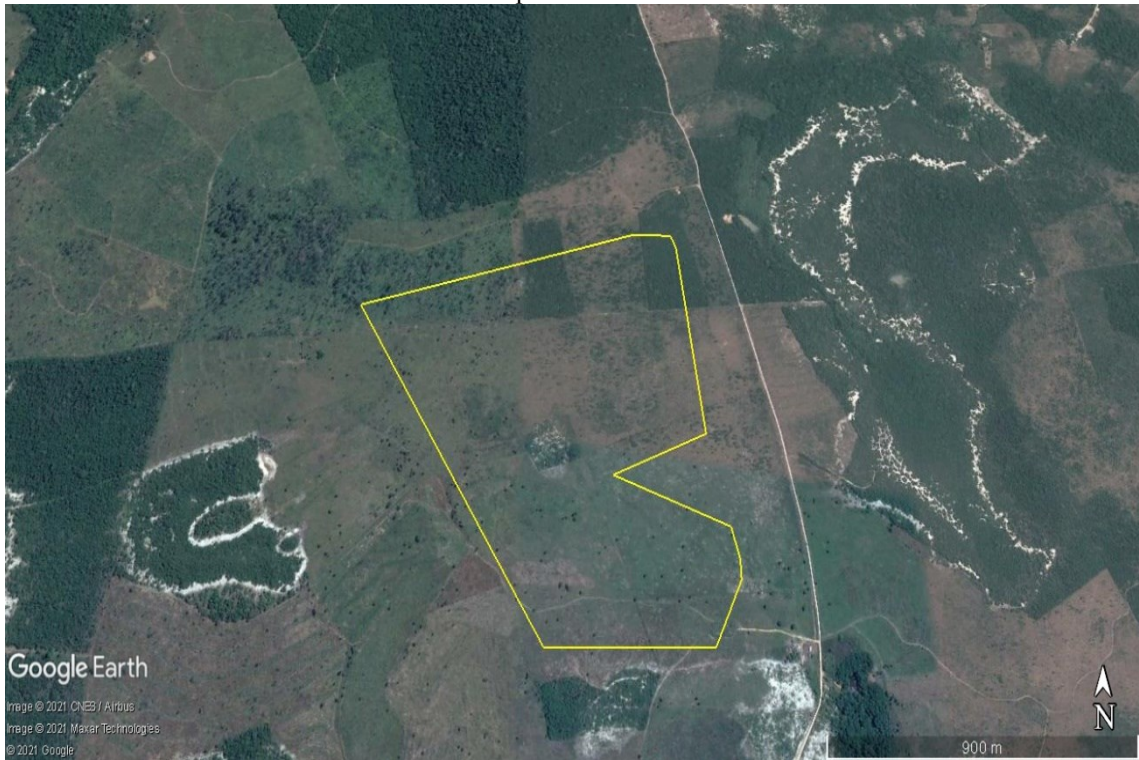
APÊNDICE D – Área 03 selecionada do município Breu Branco



APÊNDICE E – Área 04 selecionada do município Breu Branco



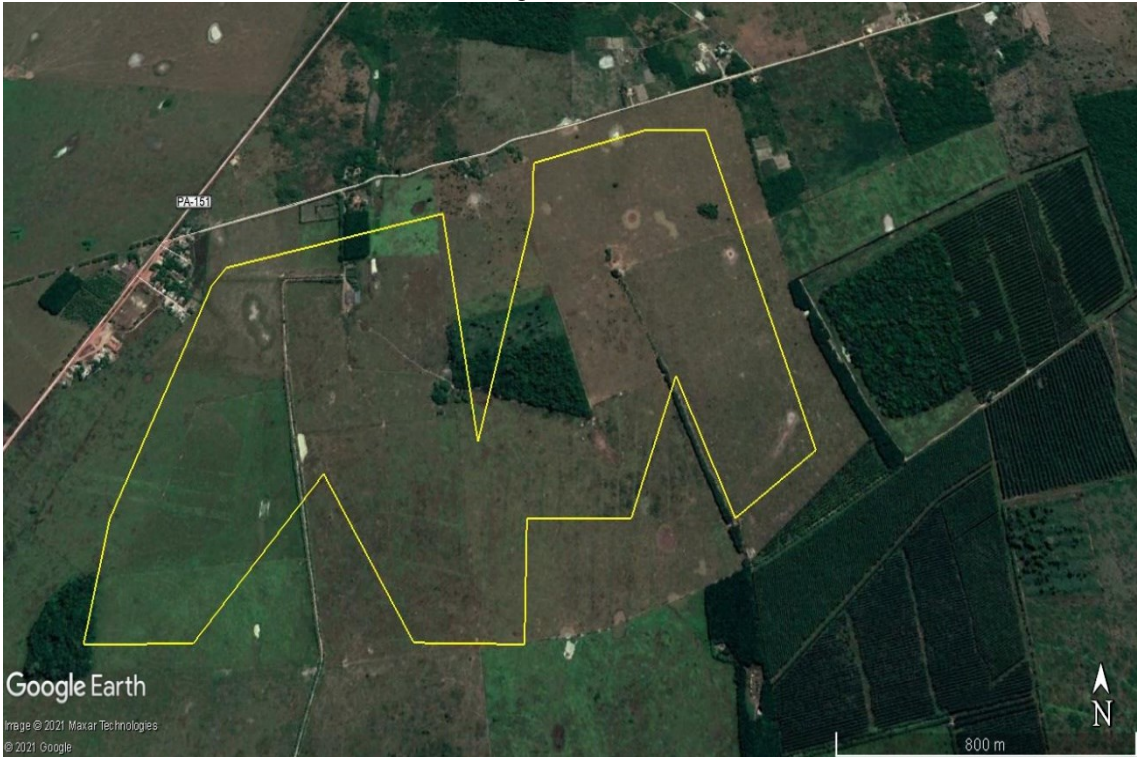
APÊNDICE F – Área 05 selecionada do município Breu Branco



APÊNDICE G – Área 06 selecionada do município Breu Branco



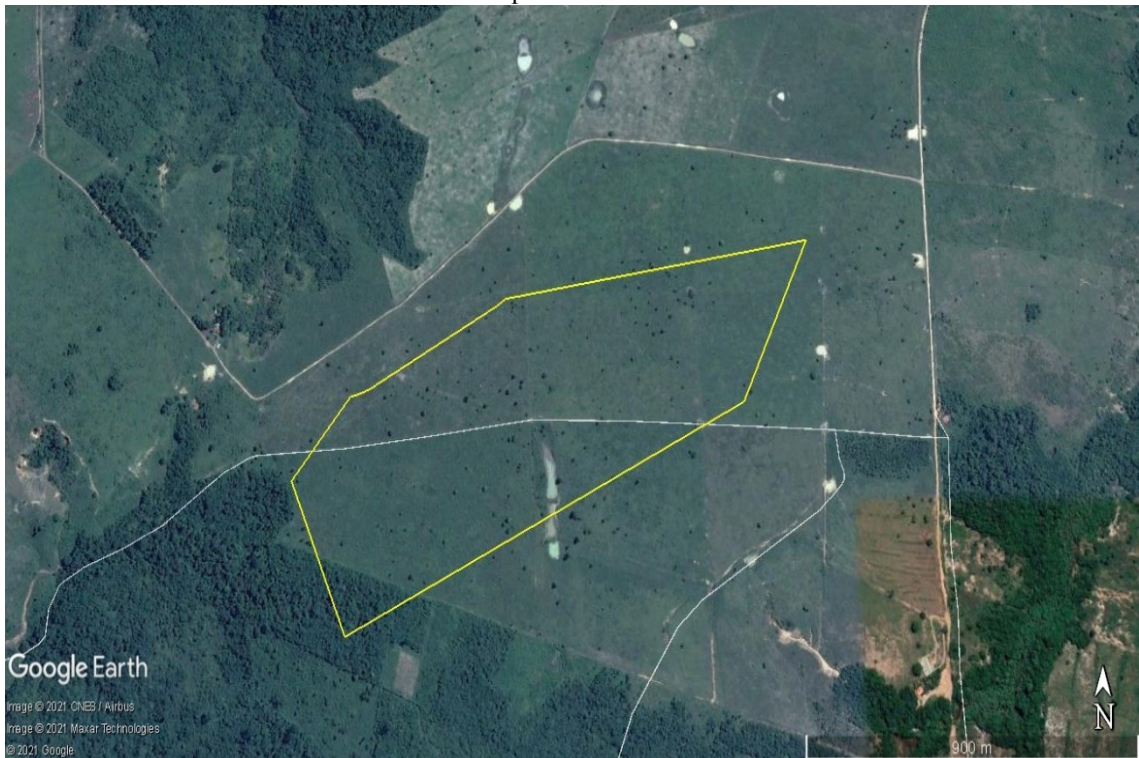
APÊNDICE H – Área 07 selecionada do município Breu Branco



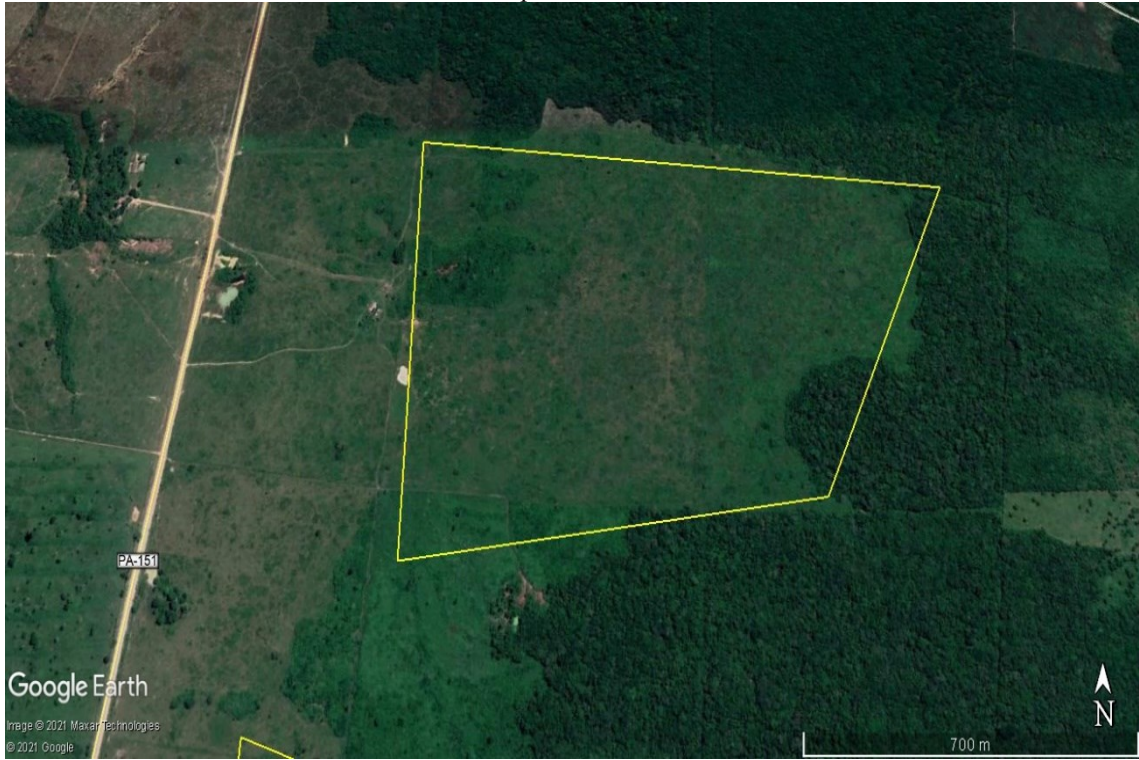
APÊNDICE I – Área 08 selecionada do município Breu Branco



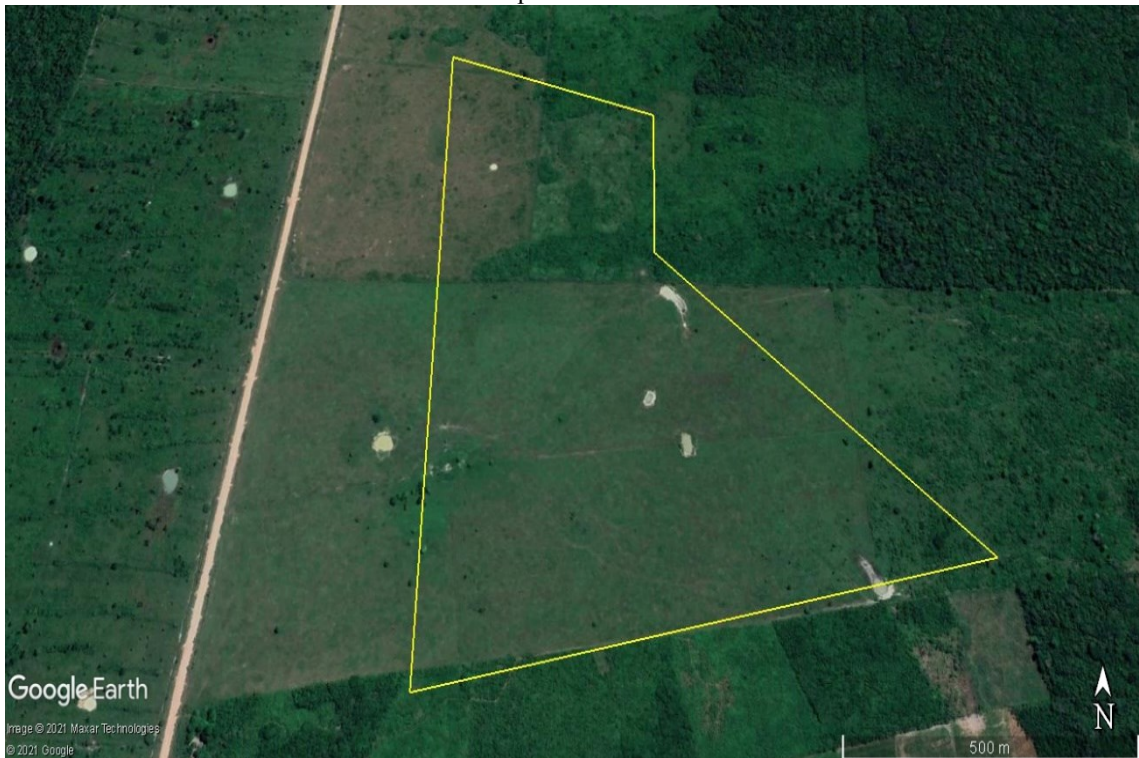
APÊNDICE J – Área 09 selecionada do município Breu Branco



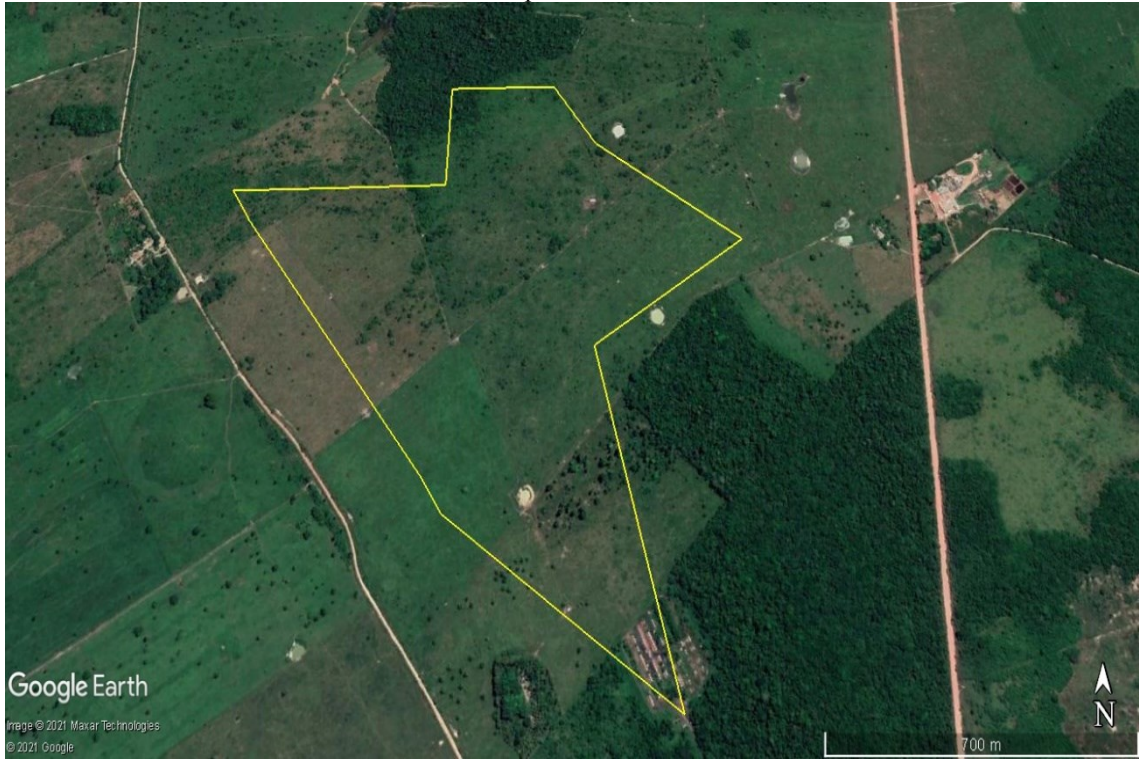
APÊNDICE K – Área 10 selecionada do município Breu Branco



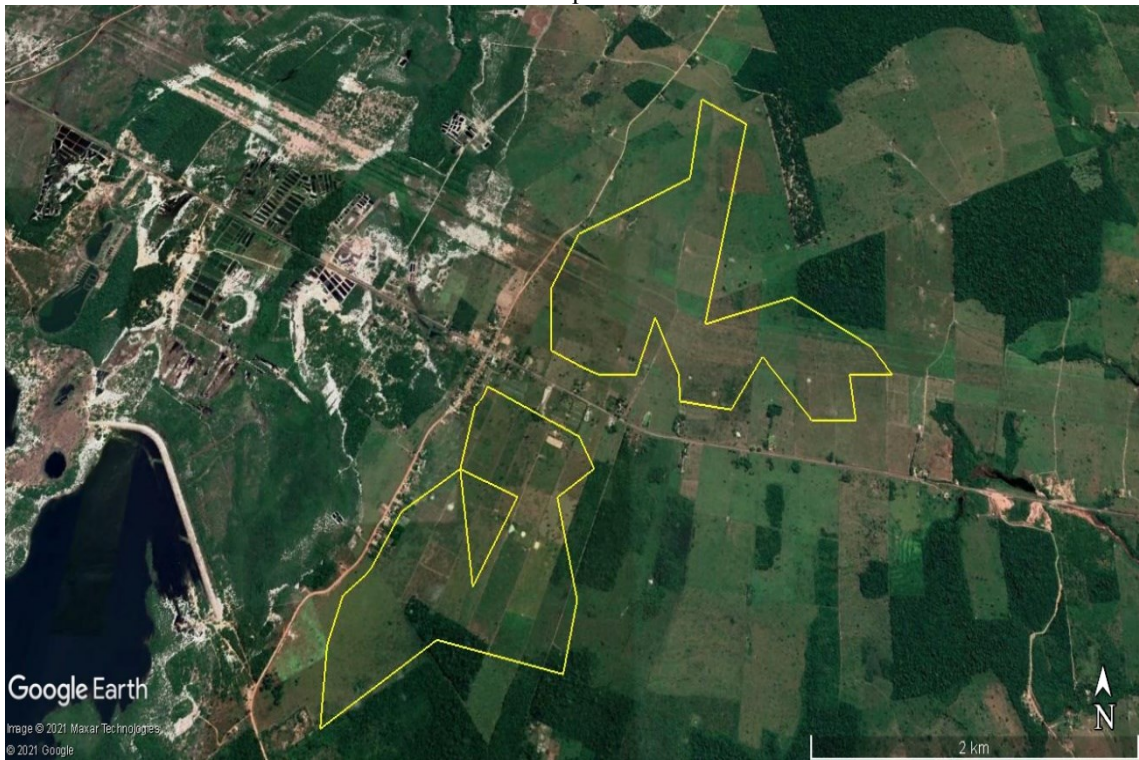
APÊNDICE L – Área 11 selecionada do município Breu Branco



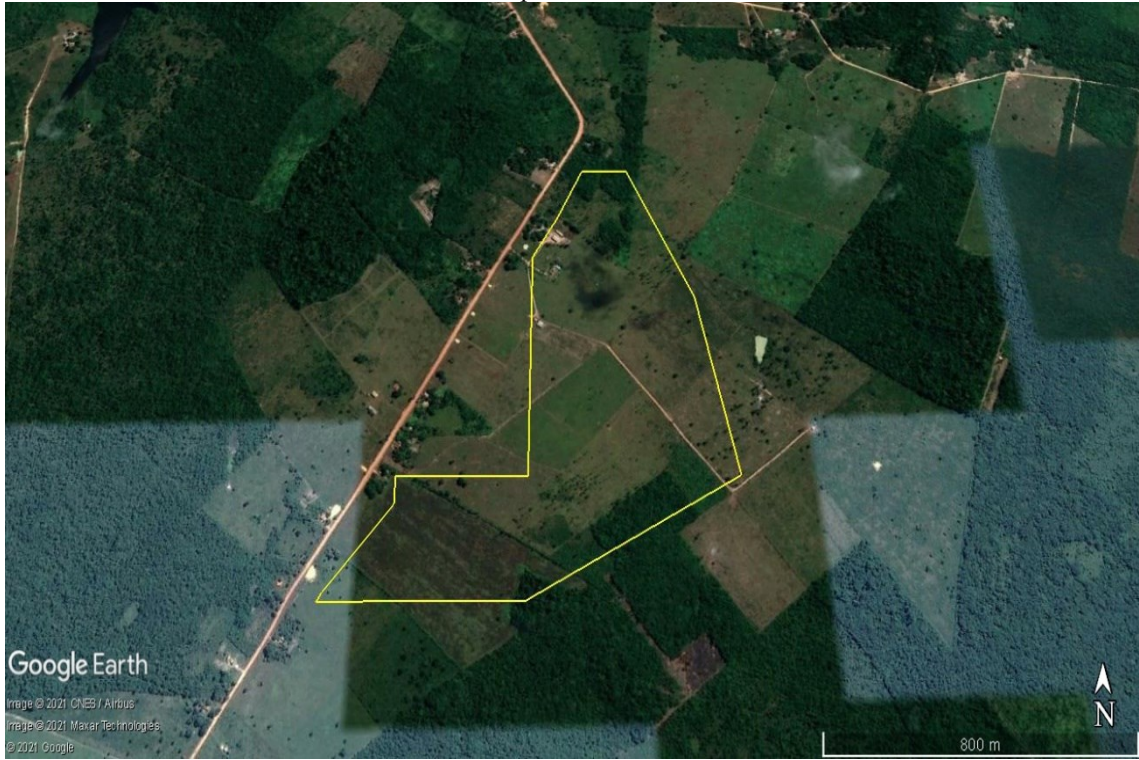
APÊNDICE M – Área 12 selecionada do município Breu Branco



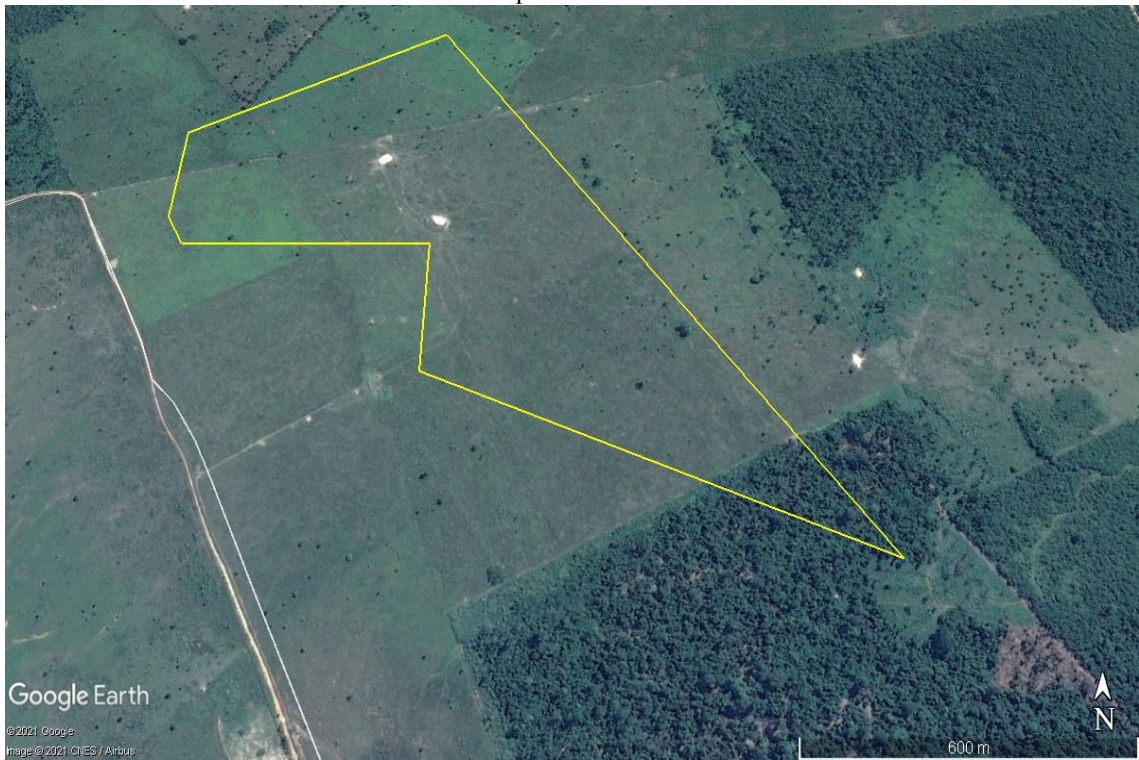
APÊNDICE N – Área 13 e 14 selecionada do município Breu Branco



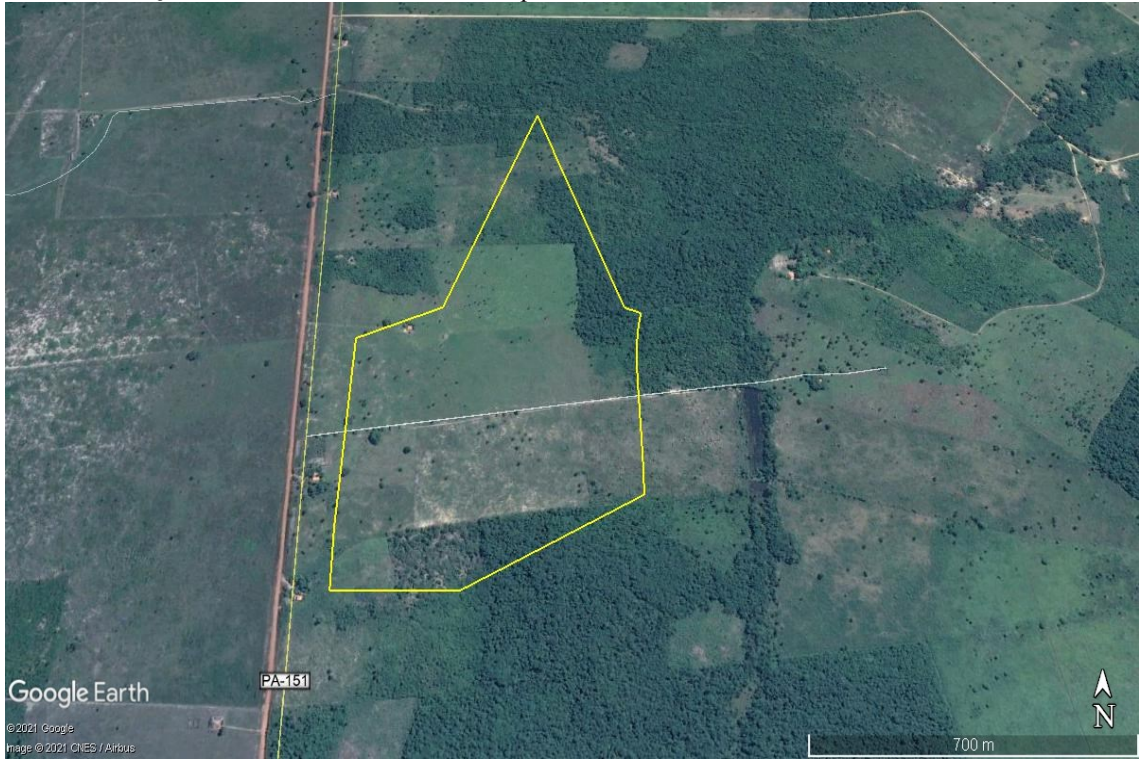
APÊNDICE O – Área 15 selecionada do município Breu Branco



APÊNDICE P – Área 16 selecionada do município Breu Branco



APÊNDICE Q – Área 17 selecionada do município Breu Branco



APÊNDICE R – Área 18 selecionada do município Breu Branco

