



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA EM GEOPROCESSAMENTO

**ANTONIO NONATO CORREA DOS REIS  
RILDO LUIS JARDIM SANTOS JUNIOR**

**MODELAGEM ESPACIAL APLICADA NA SELEÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS  
PARA IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE  
BUJARU-PA.**

ANANINDEUA, PA

2019

**ANTONIO NONATO CORREA DOS REIS  
RILDO LUIS JARDIM SANTOS JUNIOR**

**MODELAGEM ESPACIAL APLICADA NA SELEÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS  
PARA IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE  
BUJARU-PA.**

Trabalho de conclusão de curso (TCC) apresentado à Faculdade de Tecnologia em Geoprocessamento (FTG) como requisito obrigatório para a obtenção do título de Tecnólogo em Geoprocessamento.

Orientador: Prof. Dr. Alan Nunes Araújo

ANANINDEUA – PA

2019

ANTONIO NONATO CORREA DOS REIS

RILDO LUIS JARDIM SANTOS JUNIOR

**MODELAGEM ESPACIAL APLICADA NA SELEÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS  
PARA IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE  
BUJARU-PA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito para a obtenção do título de  
Tecnólogo em Geoprocessamento pela  
Universidade Federal do Pará (UFPA) –  
Campus Ananindeua.

Data da Aprovação: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Conceito:

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Alan Nunes Araújo.  
Orientador - UFPA

---

Prof. Dr. Estêvão José da Silva Barbosa  
Examinador interno - UFPA

---

Prof. Dr. Paulo Alves de Melo  
Examinador interno - UFPA

---

Prof. Dr. Amintas Nazareth Rossete  
Examinador externo – UNEMAT

Dedico esse trabalho aos meus pais,  
Antonio Maria Lima dos Reis, e Iza do  
Carmo Correa, e também ao meu  
irmão Jorge Augusto Correa dos Reis.

**Antonio Nonato Correa dos Reis**

Dedico esse trabalho aos meus pais, 3° SGT/PM-PA. Rildo Luis Jardim Santos (falecido) e a Prof.<sup>a</sup>. Socorro das Graças Barros Mascote.

**Rildo Luis Jardim Santos Junior**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus que nos momentos de fraqueza nos deu forças para continuarmos.

À universidade federal do Pará Campus Ananindeua, seu corpo docente de Geoprocessamento e técnico administrativo, pela atenção, infraestrutura disponibilizada e qualidade de ensino.

Aos colegas de sala que nos acompanharam até o fim dessa árdua caminhada.

Em especial ao Prof. Dr. Alan Nunes Araújo, pela atenção e repasse de conhecimentos acerca da temática abordada neste trabalho final.

Aos nossos familiares e amigos mais próximos.

## RESUMO

Um dos grandes problemas que a sociedade atual enfrenta é a produção de rejeitos que são subprodutos dos Resíduos Sólidos Urbanos – RSU e que de alguma forma, não podem ou não são reaproveitados. É nesse contexto que técnicas de modelagem espacial foram aplicadas como estudo de caso para seleção de áreas favoráveis a instalação de um aterro sanitário no município de Bujaru - PA. Para tanto, foram levantados dados geoespaciais afim de criar um banco de dados geográficos, bem como a definição de uma metodologia com base em análises multicritérios, técnica de sobreposição ponderada de fatores e levantamento bibliográfico relativos ao tema. Diante disso, verificou-se que existem cerca de 1.895 hectares favoráveis para construção de um lixão em Bujaru, diante disso foram selecionadas 3 áreas consideradas as melhores para validar a metodologia elaborada. A aplicação da modelagem espacial utilizando técnicas de geoprocessamento se mostrou adequada ao possibilitar através da realidade local a determinação de áreas propícias à instalação de aterro sanitário, evitando assim custos e mitigando impactos ambientais negativos.

**Palavras chaves:** Aterro Sanitário. Resíduos Sólidos Urbanos. Modelagem Espacial.

## **ABSTRACT**

One of the major problems facing today's society is the production of tailings that are byproducts of Urban Solid Waste - MSW, which somehow cannot or cannot be reused. It is in this context that spatial modeling techniques were applied as a case study to select favorable areas for the installation of a landfill in the city of Bujaru - PA. To this end, geospatial data were raised in order to create a geographic database, as well as the definition of a methodology based on multicriteria analysis, weighted factor overlapping technique and bibliographic survey related to the theme. Given this, it was found that there are about 1,895 favorable hectares for the construction of a dump in Bujaru, before this were selected 3 areas considered the best to validate the elaborated methodology. The application of spatial modeling using geoprocessing techniques proved to be adequate to enable, through local reality, the determination of areas suitable for the landfill installation, thus avoiding costs and mitigating negative environmental impacts.

**Keywords:** Sanitary Landfill, Urban Solid Waste, Spatial Modeling.

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>1.1 Justificativa e Problemática.....</b>                           | <b>11</b> |
| <b>1.2 Área de estudo.....</b>   | <b>12</b> |
| <b>1.3 Área do lixão .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>2. OBJETIVOS .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>2.1 Geral.....</b>  | <b>16</b> |
| <b>2.2 Específico.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                    | <b>17</b> |
| <b>3.1 Geoprocessamento .....</b>                                      | <b>17</b> |
| <b>3.2 Sistemas de Informação Geográfica – SIG.....</b>                | <b>17</b> |
| <b>3.3 Análise Espacial .....</b>                                      | <b>18</b> |
| <b>3.4 Analise Multicritério.....</b>                                  | <b>20</b> |
| <b>3.5 Modelagem Espacial.....</b>                                     | <b>21</b> |
| <b>3.6 Trabalhos e autores correlatados. ....</b>                      | <b>25</b> |
| <b>4. METODOLOGIA DE PESQUISA .....</b>                                | <b>26</b> |
| <b>4.1 Materiais .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>4.2 Métodos .....</b>   | <b>27</b> |
| <b>4.5 Analise de fatores e restrições .....</b>                       | <b>29</b> |
| <b>5. RESULTADOS .....</b>   | <b>36</b> |
| <b>5.1 Aspectos socioeconômicos.....</b>                               | <b>36</b> |
| <b>5.2 Aspectos Ambientais.....</b>                                    | <b>42</b> |
| <b>5.3 Áreas favoráveis a implantação de um aterro sanitário .....</b> | <b>50</b> |
| <b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                   | <b>57</b> |
| <b>REFERENCIAS.....</b>  | <b>58</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de Resíduos Sólidos Urbanos – RSU, têm se mostrado um problema crescente nos Municípios brasileiros devido às dificuldades de sua gestão como também na escolha de espaços para a destinação final de seus rejeitos, ou seja, é preciso buscar um modelo de Gestão desses Resíduos Sólidos - GRS que seja eficiente e vantajosa para todos (VASCONCELOS JR e CORRÊA, 2017).

É nesse contexto que a qualidade da GRS no Brasil vem ganhando importância em discursões acadêmicas ou no setor público e privado devido a uma forte tendência da administração pública em criar modelos de GRS com base na metodologia dos países desenvolvidos, pois estes são os que mais produzem “lixo” já sabendo o que fazer com eles. (SPINOLA, 2017 apud ANDRADE e FERREIRA 2011).

Apesar dos avanços legais nos últimos 20 anos, o Brasil não tem conseguido obter retorno e melhorias sobre a Gestão do “lixo” muito em razão das disparidades socioeconômicas, regionais e das suas dimensões continentais.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2017) foram produzidos 78 milhões de toneladas de RSU no país, demonstrando um aumento nessa produção de 1% com relação a 2016. Quanto aos meios de reaproveitamento dos RSU, o Sistema de Informações sobre Saneamento básico – SINS (2017) aponta que apenas 23% dos municípios brasileiros têm possuem programas de reciclagem sendo a grande maioria da Região Sul (91%) e Sudeste (88%).

Sobre a disposição final, no ano de 2017, das 42 milhões de toneladas de RSU coletadas, 59% foram dispostas em aterros sanitários, e 41% tiveram um destino final de forma inadequada, ou seja, 60% dos municípios brasileiros despejaram mais de 29 milhões de toneladas de RSU em lixões ou aterros controlados (ABRELPE, 2017).

Dentre as formas de disposição final de RSU conhecidas, a mais praticada no Brasil se dá de forma inadequada, seja através de um aterro controlado ou lixão, e não levam em consideração as restrições legais vigentes e as peculiaridades regionais dos municípios, ocasionando danos ao meio ambiente e a saúde pública local (FELICOLI *et al*, 2016).

A prática dos lixões a céu aberto foi proibida desde 1954 pela Lei 2.312 de 3 de setembro - Código Nacional da Saúde e foi reforçada pela Política Nacional de Meio Ambiente Lei 6.938/81 e recentemente pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos e através da lei nº 12.305/10. É importante ressaltar que os aterros controlados nada mais são que “lixões camuflados”, pois este ainda polui o solo através do contato direto com chorume produzido (SPINDOLA, 2017).

Contudo, a PL 2289/2015 prorrogou o prazo de extinção dos lixões para 2021 por que o Congresso percebeu que a grande maioria dos municípios de pequeno porte foram incapazes de tratar os seus RSU de forma adequada dentro do prazo anterior aprovado, que era até 2020 (SIMÕES, 2017).

Segundo Elk (2007), optar pela construção de um aterro sanitário é a solução mais adequada, pois esse tipo de obra é a mais eficiente e segura de destinação de resíduos sólidos, permite um controle do processo, podendo receber e acomodar vários tipos de resíduos, em diferentes quantidades.

Os aterros sanitários seguem as especificações vigentes nas NBR 10157-1987; NBR 13896-1997; NBR 8419/1992; e também na Resolução CONAMA 01-1986 e Res. CONAMA 308-2002, minimizando em grande parte os impactos ambientais adversos relacionados à sua existência.

Segundo a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2012) a maior parte dos municípios brasileiros, com lixões ativos estão situados na região Norte e Nordeste. Estes municípios geralmente apresentam embargos na obtenção dos recursos federais e não participam dos consórcios regionais, sem levar em conta a ausência de consciência ambiental da população sobre o assunto (SILVA FILHO, 2017).

Neste contexto, Segundo o Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Pará PGIRS – PA (2014), este se encontra ainda em fase de transição, com a meta de atender aos objetivos e diretrizes da PNRS, seus dados sobre coleta e tratamento de resíduos sólidos ainda possuem déficit com relação à destinação final, pois a última atualização ocorreu em 2012.

## 1.1 Justificativa e Problemática

A discussão sobre algumas obras de infraestrutura centra-se em questões sobre onde e quando começar a implantá-las e quais os custos e retornos envolvidos para a sociedade e o meio ambiente levando em consideração os impactos socioambientais positivos e negativos.

É nesse contexto que as técnicas de geoprocessamento têm sido importantes aliadas para realização de estudos ambientais, garantindo maior segurança na tomada de decisões que envolvam a medição e estimativa dos resultados dentro de contextos espaciais (CORDOVEZ, 2002).

Então, o presente trabalho buscou realizar uma modelagem espacial visando identificar áreas favoráveis para a implantação de um aterro sanitário que atenda às necessidades do município de Bujaru – PA, com base nas seguintes hipóteses:

Será que existem áreas para implantação de um aterro sanitário no município? Quais seriam as melhores áreas pensando no custo benéfico, aspectos naturais, socioeconômicos e legislações vigentes? Pois despejar seus RSU em um lixão tem sido a única solução encontrada pelos prefeitos nos últimos 20 anos.

A pesquisa busca auxiliar o gestor municipal que vier a elaborar o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS ou Gestão de Resíduos Sólidos Local na identificação de áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, observado o plano diretor de que trata o § 1º do art. 182 da Constituição Federal e o zoneamento ambiental, se houver.

E no processo de confecção do Termo de Referência para elaboração do Relatório de Controle Ambiental – RCA, para implantação de projeto de aterro sanitário de lixo doméstico e/ou hospitalar em atendimento ao parágrafo único do artigo 3º da resolução CONAMA nº237/97, 19/12/97, bem como nas diretrizes para a elaboração do Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD do antigo “Lixão”, se for o caso.

## 1.2 Área de estudo

Bujaru está localizado aproximadamente 83 km distante da capital Paraense, situado a 10 metros acima do nível do mar, com uma extensão territorial de aproximadamente 1.005 km<sup>2</sup>, atualmente é composto pelos distritos de Bujaru (sede) e Guajará-Açu (IBGE, 2010) conforme o mapa 1.

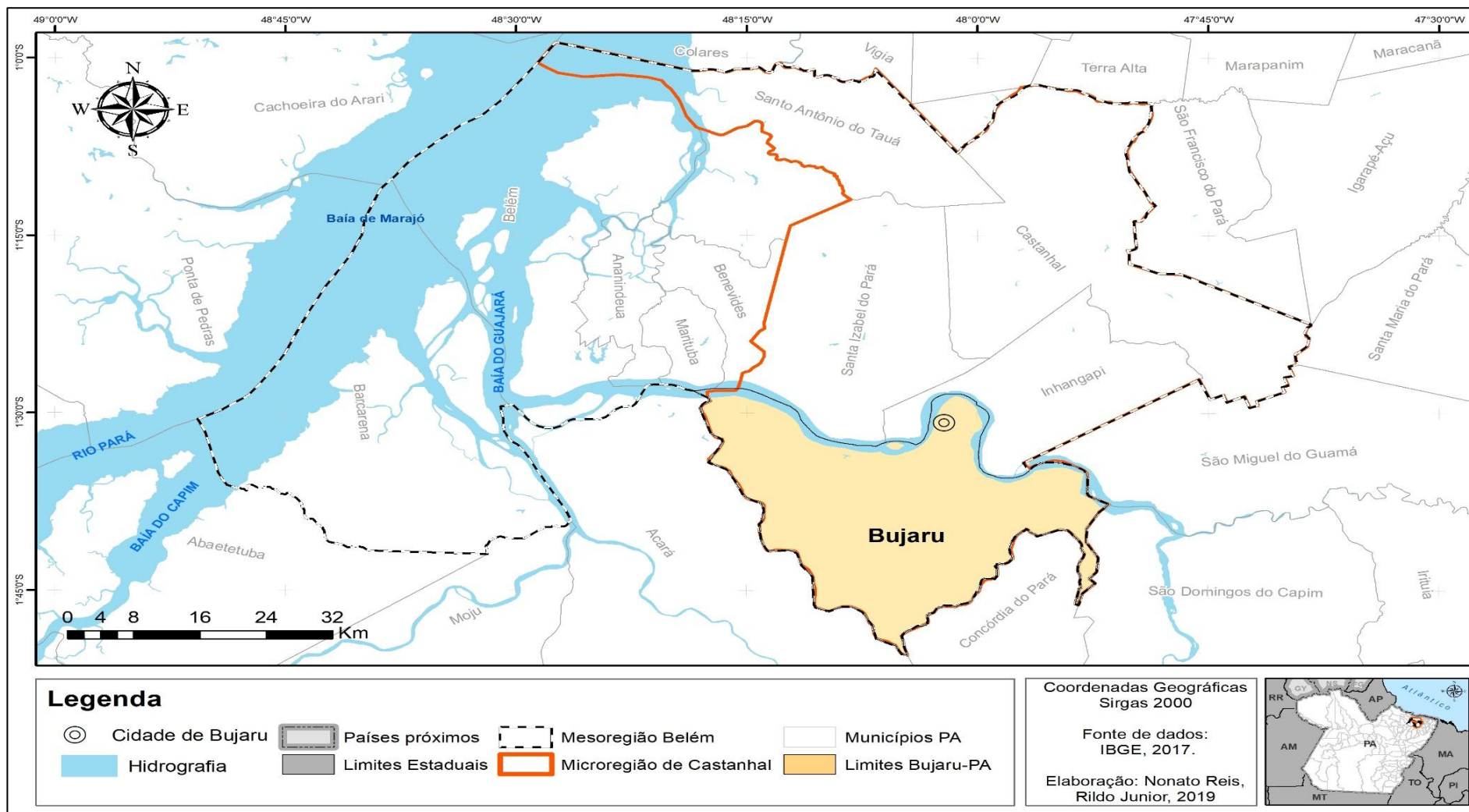
O centro urbano localiza-se entre as coordenadas geográficas: 1° 30' 54" de latitude sul e 48° 02' 42" de longitude a oeste. Este município é atravessado no sentido norte-sul pela Rodovia PA-140, tendo à sede administrativa situada a margem esquerda do Rio Guamá (EMBRAPA, 2014).

O processo de ocupação humana na região se deu através da chegada de famílias nordestinas que ali chegaram atraídas pela fertilidade das terras, e o desenvolvimento focado nas atividades para fins agrícolas (IBGE, 2019).

Historicamente, Bujaru constituía-se como distrito do município de São Domingos da Boa Vista em 1758, contudo após o decreto-lei estadual nº 4.505, de 30/12/1943, tornou-se município autônomo, tendo sido desmembrado de São Domingos do Capim (FAPESPA, 2016). Segundo Silva et al (2013), a origem do nome Bujaru advém da língua indígena Tupi e significa "Boca da Cobra grande".

Bujaru pertence à Mesorregião Metropolitana de Belém e à Microrregião de Castanhal e limita-se ao Norte com os municípios de Marituba, Santa Isabel do Pará, Inhangapi, São Miguel do Guamá e Benevides; ao Sul: Concórdia do Pará e Acará; a Leste: São Domingos do Capim e São Miguel do Guamá e a Oeste com o município de Acará (FAPESPA, 2016).

Mapa 1 – Contextualização da área de estudo



Fonte: Autores.



Coordenadas geográficas SIRGAS 2000 da área central do lixão: 1°31'53.77"S e 48° 2'52.56"W. Na figura 3 é mostrada a estrutura mais comum das habitações no entorno do lixão, infelizmente não foi possível obter dados socioeconômicos dos moradores e nem das condições sanitárias e ambientais, porém foi informado por um pedestre que essas habitações já existiam antes da chegada do lixão e no passado já foi caracterizada como uma área de conflitos sociais diversos.

**Figura 3** – Condições estruturais das moradias no entorno



Fonte: Autores.

Coordenadas geográficas SIRGAS 2000 da habitação fotografada: 1°31'52.51"S e 48° 2'53.82"W. Na figura 4 evidencia a pratica de queima dos restos mortais de produtos de frigoríficos, uma catadora que estava presente no lixão informou que eles queimam ossos para revenda e fabricação de adubo e ração. Coordenadas SIRGAS 2000: 1°31'58.16"S e 48° 2'54.72"W.

**Figura 4** – Queima de ossos bovinos como fonte de renda dos catadores.



Fonte: Autores.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

- Identificar as áreas favoráveis para implantação de um aterro sanitário no município de Bujaru - PA.

### **2.2 Específico**

- Criar um banco de dados geográfico para o município de Bujaru;
- Verificar quais os pesos e critérios deve ser adotado na análise com base em trabalhos relativos;
- Gerar mapas das melhores áreas encontradas para a instalação do aterro sanitário;

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Geoprocessamento**

O termo Geoprocessamento pode ser separado em Geo (terra) e Processamento (de informações) (MODA, 2017 apud PIROLI, 2010). Contudo, esse conceito evoluiu com o crescimento da utilização de seus métodos e técnicas. Ainda existem tentativas de definição, alguns consideram como Geoprocessamento todo o conjunto das Geotecnologias, ou seja, o Sensoriamento Remoto, a Cartografia, os Sistemas de Posicionamento Global (GPS), entre outros ramos (XAVIER, 2009).

Para Fitz, (2002) observando às definições semelhantes que a literatura indica sobre o termo, pode-se considerar o Geoprocessamento como uma tecnologia, ou mesmo conjunto delas, que possibilite a manipulação, análise, simulação de modelagens e visualização de dados georreferenciados, ou seja, as técnicas utilizadas dentro de um Sistema de Informação Geográfica – SIG.

Segundo Câmara e Davis, (2001), sempre que o onde aparece, dentre as questões e problemas que precisam ser resolvidos por um sistema informatizado, haverá uma oportunidade para considerar a adoção de um SIG.

O Brasil ainda apresenta uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre seus problemas sociais e ambientais, e o Geoprocessamento oferece a possibilidade de solucionar muitos problemas em escalas locais, através de tecnologias de custo relativamente baixo, seja através dos Softwares Livres, ou ferramentas que podem ser alugadas.

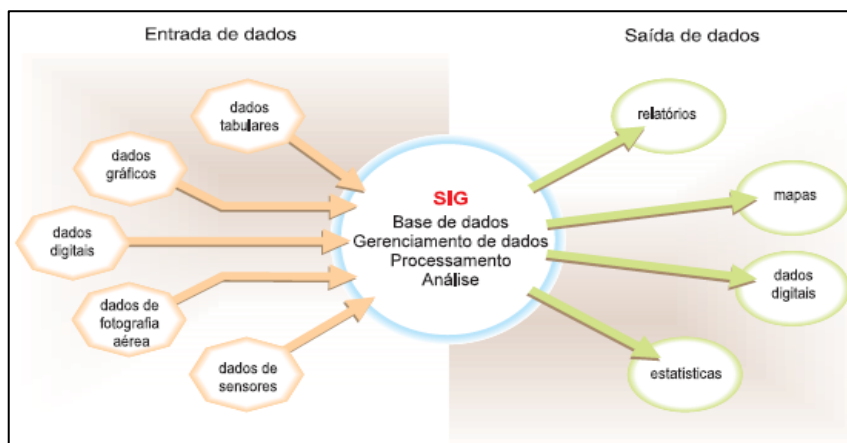
Segundo Câmara e Monteiro (2003), o Geoprocessamento enfatizou por muitos anos a representação de fenômenos espaciais no computador de forma estática através de mapas, atualmente suas representações se tornaram mais dinâmicas e diversificadas, sobre tudo no contexto urbano, variando com base nos objetivos dos seus usuários (SENE, 2013).

#### **3.2 Sistemas de Informação Geográfica – SIG**

O termo *Sistemas de Informação Geográfica* (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos, armazenando a geometria e os atributos destes que devem estar representados numa projeção cartográfica, tendo como premissa a sobreposição dessas informações (FITZ, 2002).

Todo SIG é composto de um conjunto de equipamentos e programas com o objetivo maior de atender as mais diversas necessidades dos usuários (SENE, 2013). A figura 5 indica o relacionamento entre estes componentes.

**Figura 5** - Estrutura básica de um SIG



Fonte:LABGIS, 2016.

Os dados de um SIG são geralmente organizados sob a forma de um sistema de banco de dados geográficos - SGBD. Estes componentes se relacionam de forma hierárquica (CÂMARA, MEDEIROS, CASA NOVA e HEMERLY, 1996).

No nível mais próximo ao usuário, à interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída) (CÂMARA, MEDEIROS, CASA NOVA e HEMERLY, 1996).

### 3.3 Análise Espacial

O conceito de análise espacial está intimamente ligado ao SIG e ao Geoprocessamento, por que sem eles, não é possível construir em ambiente digital os mapas temáticos de interesse e assim gerar Planos de Informação (CÂMARA E DAVIS, 2001).

Fitz (2002) ressalta que as análises devem seguir pressupostos metodológicos da ciência da geográfica (Cartografia, Geopolítica Biogeografia, Estudos Ecológico etc.). A ênfase da análise espacial é mensurar propriedades e relacionamentos, levando em conta a localização espacial do

fenômeno em estudo de forma que a ideia central seja incorporar o espaço a análise que se deseja fazer (CÂMARA e MONTEIRO, 2003).

Dentro dos SIGs, tem esse a possibilidade de realizar simultaneamente análise de dados geograficos, tornando essas aplicações diferenciadas. Essa função é a mais importante para trabalhos onde os fenomenos estudados apresentam padroes de comportamento ou atraves de técnicas como reclassificação, sobreposição, análises estatísticas de vizinhança e contextualização de imagens, seja possível atingir os objetivos propostos (FTIZ, 2002). Alguns exemplos dos processos de análise espacial típicos de um SIG (adaptada de Maguire, 1991).

**Figura 6 - Exemplos de análises espaciais**

| Análise     | Pergunta Geral          | Exemplo   |
|-------------|-------------------------|---|
| Condição    | “O que está...”         | “Qual a população desta cidade ?”                     |
| Localização | “Onde está...?”         | “Quais as áreas com declividade acima de 20% ? “      |
| Tendência   | “O que mudou...?”       | “Esta terra era produtiva há 5 anos atrás ? “         |
| Roteamento  | “Por onde ir.. ?”       | “Qual o melhor caminho para o metrô ?”                |
| Padrões     | “Qual o padrão....?”    | “Qual a distribuição da dengue em Fortaleza?”         |
| Modelos     | “O que acontece se...?” | “Qual o impacto no clima se desmatarmos a Amazônia ?” |

**Fonte:** CÂMARA E DAVIS, 2001.

É fundamental no geoprocessamento a noção de informação espacial, pois está relacionada à existência de objetos com propriedades, que incluem sua localização no espaço e sua relação com outros objetos. Estas relações incluem conceitos topológicos (vizinhança, pertinência), métricos (distância) e direcionais (“ao norte de”, “acima de”), ou seja, quem sobrepõe quem e qual é o mais importante na análise (CÂMARA E DAVIS, 2001).

Deste modo, os conceitos de *espaço geográfico* (um *locus* absoluto, existente em si mesmo) e *informação espacial* (um *locus* relativo, dependente das relações entre objetos) são duas formas complementares de conceituar o objeto de estudo do Geoprocessamento. (CÂMARA, MONTEIRO E DAVIS, 2001 apud WORBOYS, 1995).

### 3.4 Análise Multicritério

É um método muito utilizado na análise espacial, seja para gerar índices ou modelos que sirvam de suporte à tomada de decisões (BEIROZ, 2015). Ela é empregada como instrumento de estudo desde 1960, baseada em distintos critérios selecionados que podem ser analisados em diferentes cenários e apresentar potenciais resultados, definindo assim as decisões a serem tomadas dentro de um dado objetivo (PAMPOLINI e LANA, 2017).

Para Santos (2018) apud Felicore et al. (2016) para se estabelecer multicritérios é fundamental levar em consideração os diversos atributos do problema que serão abordados, seja condições de risco de uma área, seleção de áreas favoráveis para uma determinada obra, análises socioeconômicas e etc. Eles ressaltam que esses multicritérios irão ser classificados como restrições e/ou fatores.

A elaboração de um SIG direcionado para estudos ambientais teria um grande impacto positivo em diagnósticos, monitoramento e avaliação do território em questão, o objetivo destes projetos está na visão integrada da questão ambiental (Santos 2018 apud Moraes, 1997).

Para a escolha dos fatores utilizou-se como referência as restrições presentes nas NBRs 10.157 (ABNT, 1987); NBR (8.419/1992); 13.896 (ABNT, 1997); RESOLUÇÃO CONAMA (01/1986) e RESOLUÇÃO CONAMA (308/2002); LEI 5887/1995, constantes da tabela 1, que descrevem as condições mínimas exigíveis para implantação e operação de aterro de resíduos sanitários no Brasil (AQUINO, NERO & COSTA, 2019).

Quanto a legislação sobre a temática ao nível do estado, no Pará ainda é preciso tomar em grande parte como referências as resoluções CONAMAS e também as NBRS, adequá-las a realidade local para a identificação de áreas favoráveis voltadas a instalação de aterros sanitários.

O que se encontra sobre o assunto é um termo de referência para elaboração do Relatório de Controle Ambiental- RCA para implantação de projeto de aterro sanitário de lixo doméstico e/ou hospitalar que visando a tender ao parágrafo único do artigo 3º da resolução CONAMA nº237/97, 19/12/97 (SEMAS, 2014).

Tabela 1 - Normas e Leis como restrição de fatores

| LEGISLAÇÃO E NORMAS              | OBJETIVO  |
|----------------------------------|---|
| <b>NBR 10.157/1987</b>           | Fixa condições mínimas exigíveis, para projetos e operação de aterros de resíduos perigosos.  |
| <b>NBR 8.419/1992</b>            | Fixa as condições mínimas exigíveis para a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.  |
| <b>NBR 13896/1997</b>            | Impõem as condições mínimas exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos.  |
| <b>RESOLUÇÃO CONAMA 01/1986</b>  | Estabelece definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. |
| <b>RESOLUÇÃO CONAMA 308/2002</b> | Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.  |
| <b>LEI 5887/1995</b>             | Estabelece nos Art. 2º, 3º e 7º medidas adequadas para coibir a poluição do meio ambiente provenientes de resíduos sólidos.   |

**Fonte:** Adaptado de Santos, 2018.

O presente trabalho partiu da observação dessas normas que também foram objeto de estudo dos autores Santos (2018) e Moda (2017) em outros estudos de caso. Para tanto foram levados em consideração os seguintes critérios técnicos: grau de declividade, tipos de solos, distância mínima de recursos hídricos, maior proximidade com rodovias, distância mínima dos núcleos populacionais e projetos de assentamentos e colônias.

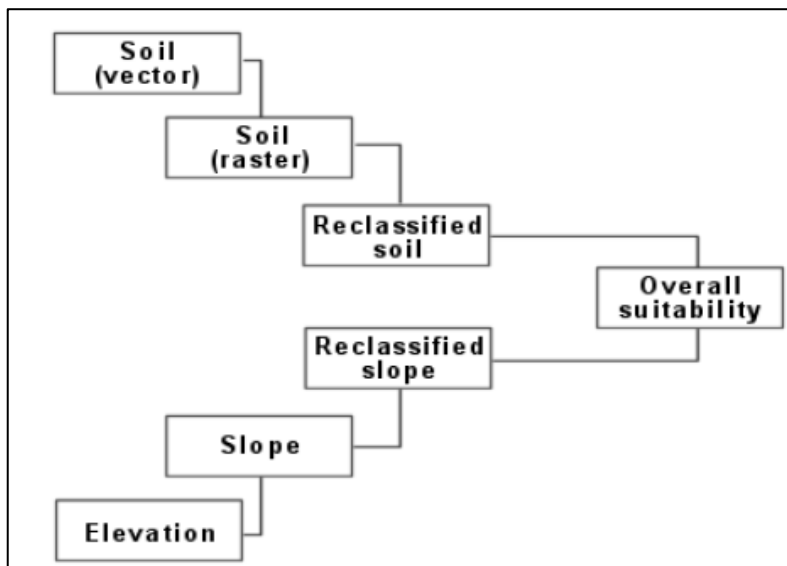
### 3.5 Modelagem Espacial

Para Soares (2001), a arte de modelar tem como objetivo maior decompor o mundo real em algo mais simples, escolhendo uma determinada linguagem, seja matemática, lógica, gráfica ou física, visando demonstrar características essenciais de um certo domínio em um modelo mais reduzido.

É preciso passar por vários níveis de abstração até que a solução do modelo possa ser utilizada dentro de um SIG. Um modelo serve para testar cenários alternativos, alterando variáveis e por vezes até serve para fazer previsões. (CÂMARA E DAVIS, 2003).

A figura 7 é um exemplo da modelagem de um raster de solo, onde é feita a reclassificação do novo raster para obtenção do percentual de declividade de uma determinada região fictícia.

**Figura 7** - modelagem de um arquivo matricial de solos



Fonte: Câmara e Monteiro, 2003.

É preciso verificar se os dados que serão levados em consideração na modelagem estão na mesma escala de projeção e referência geográfica onde serão usados para posicionar e medir suas feições (PAIVA, 2018).

A modelagem espacial ajuda a entender e resolver problemas complexos de forma simples, combinando camadas que responderão as perguntas norteadoras do objeto de estudo, tentando chegar o mais perto possível da realidade (CÂMARA E MONETIRO, 2003).

De acordo com Soares (2001) apud Goodchild (1993), uma proposta de linguagem para modelagem ambiental em SIG deve possibilitar que o operador consiga realizar diversas representações da variação geográfica, ou seja, combina-las com forme seu interesse.

Ainda segundo Soares (2001), existem uma variedade de modelos que podem ser desenvolvidos dentro de um SIG para representar fatos e simular processos, fornecendo assim uma descrição efetiva de um fenômeno geográfico: “o que” ou “o que poderia ser”, no caso, construção de um aterro sanitário, para a partir dos resultados dessa modelagem indicar, como deveria ser a escolha da melhor área para essa obra, dentro das especificações legais.

Câmara e Monteiro (2003) destacam as seguintes operações realizadas dentro da modelagem espaciais aplicadas sobre Geo-Objetos, com base na tabela 2 abaixo:

**Tabela 2 - Tipos de operações em Geo-objetos**

| <b>Restrições sobre atributos</b> | <b>Análise de dados estatísticos contidas na tabela de atributos de um vetor poligonal</b>                      |
|-----------------------------------|---|
| Restrições espaciais              | Envolve relacionamentos topológicos de distância e orientação do(s) fenômeno(s) em questão;                     |
| Propriedades de Geo-objetos       | Através de análises espaciais quantitativas de dados socioeconômicos ou tomadas de decisão envolvendo o espaço; |

Fonte: CAMARA e DAVIS (2001).

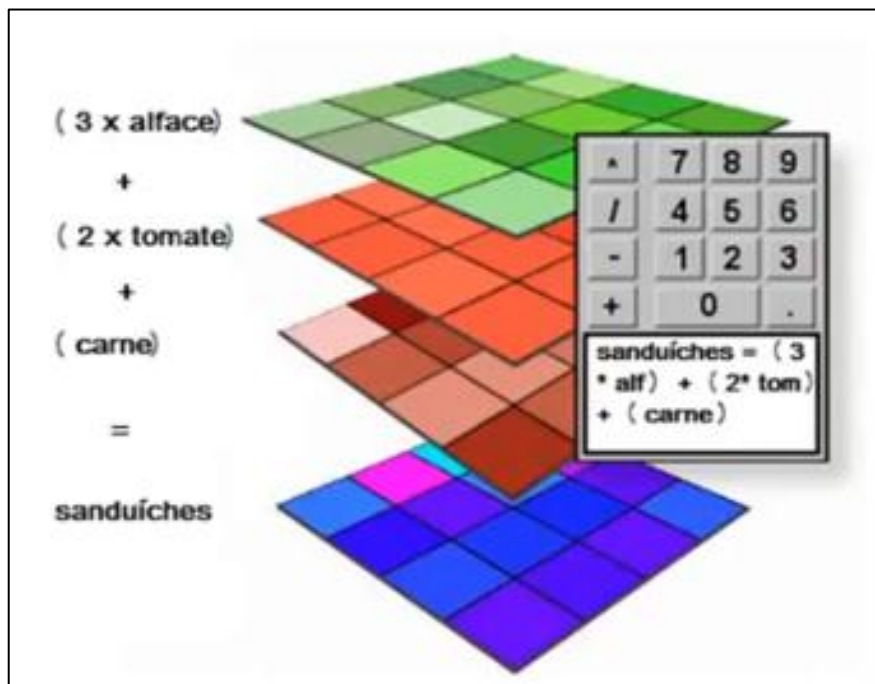
Em geral, o processo de modelagem é precedido de uma fase de análise exploratória, associada à apresentação visual dos dados sob forma de gráficos e mapas e a identificação de padrões de dependência espacial no fenômeno em estudo (AQUINO, NERO e COSTA, 2019).

Em posse dos dados é possível realizar uma técnica de análise espacial conhecida como sobreposição de camadas, estas podem ser combinadas entre o tipo lógico, onde se faz uso de operadores lógicos (Sim ou não; 0 e 1) e tipo aritmético, usando operações matemáticas e estatísticas (CÂMARA e MONETIRO, 2003).

Essas técnicas de análise espacial nada mais são do que as funções mais utilizadas em um SIG, no caso as Funções de Sobreposição (Overlay), que podem ocorrer tanto em arquivos vetoriais (lógica – operação booleana) como matriciais (aritmética – lógica fuzzy), dependendo do software e dos objetivos a serem alcançados (FITZ, 2002).

Para o presente trabalho utilizou-se o conceito de álgebra de mapas que consiste na aplicação de operações algébricas sobre os valores dos pixels, de uma ou mais camadas de dados matriciais (BEIROZ, 2015). A figura 8 demonstra esse tipo de operação.

**Figura 8** - Esquema básico de álgebra de mapas



Fonte: BORTOLOTTI, 2014.

De acordo com Gonçalves (2007), é possível fazer uso da álgebra de mapas por meio da Lógica Fuzzy que é a combinação de critérios contínuos, através da normalização para uma escala contínua (por exemplo de 0 a 1) e da aplicação de pesos de importância para se obter uma média ponderada. Este método diminui a subjetividade na tomada de decisão e é muito comum à sua utilização para padronizar os fatores presentes em um modelo multicritério.

É importante ressaltar que a aplicação dos pesos deve ser com base em uma análise mais criteriosa, se possível por especialistas em determinados temas: Biólogos, Geógrafos, Engenheiros, técnicos e analistas de áreas multidisciplinares (FITZ, 2002).

Com base nesses conceitos e combinação de sobreposições, a abordagem teórica para gerar os mapas condicionantes levou em consideração que os softwares SIG, são muito importantes na tomada de decisão devido à quantidade de variáveis que é capaz de analisar sobre a questão da localização de áreas propícias para construção de aterros sanitários.

### 3.6 Trabalhos e autores correlatados.

GROSS & ROSSETE (2011), avaliaram áreas para instalação de um aterro sanitário no município de Nova Xavantina, MT, utilizando seleção por critérios ambientais, legais e econômicos através de técnicas de geoprocessamento em ambiente SPRING e ArcGIS 9,2. As variáveis que eles analisaram foram: hidrografia, zona urbana, aeroporto, terra indígena, zona de conservação, pedologia e geologia. Com isso, elegeram 57.556,70 hectares, cerca de 10% da área do Município de Nova Xavantina, consideradas aptas para instalação de aterro sanitário.

O embasamento teórico partiu de obras/autores como: o e-book digital - introdução à ciência da geoinformação (Câmara E Davis, Monteiro 2001), com foco nos capítulos 1 - introdução, 2 – conceitos, 8 - álgebra de mapas e 9 – inferência geográfica, suporte a decisão e os demais temas relativos do livro - geoprocessamento sem complicação de Paulo Roberto Fitz (2002). Quanto aos métodos e conceitos sobre a problemática abordada na presente pesquisa baseou-se nos estudos de SPINOLA (2017), PAMPOLINI e LANA (2017); ambos voltados na indicação de áreas favoráveis para a construção de aterros sanitários municipais, suas características e dimensionamentos.

A interligação que existe entre estudos ambientais e a resolução de problemas envolvendo fenômenos no espaço foi embasada por VASCONCELOS e SILVA CORRÊA (2017) que abordaram os Impactos Socioambientais Causados pelo Aterro Sanitário no Município de Marituba - PA, algo mais dentro da realidade do trabalho em questão, onde foi possível buscar argumentos positivos sobre o geoprocessamento como ferramenta de gestão urbana (CORDOVEZ, 2002).

Bem como a monografia de Santos (2018), de tema geoprocessamento aplicado à análise de adequabilidade para aterros sanitários na região imediata de Belém – PA, onde ela utiliza multicritérios com base em normas e feições geográficas, logo após aplica o plug-in Easy AHP para essa seleção. Moda (2017) faz a identificação de áreas potenciais para implantação de aterro sanitário na região metropolitana de Londrina/PR, de modo semelhante ao de Santos (2018), porém com foco na modelagem fuzzy, estabelecendo também uma projeção populacional da geração de resíduos sólidos na área de estudo.

## 4. METODOLOGIA DE PESQUISA

O presente trabalho pode ser subdividido da seguinte forma:

### 4.1 Materiais

**BASES DOCUMENTAIS:** Monografias, Dissertações, Livros e artigos acerca dos seguintes temas:

- Leis e Decretos nas diferentes escalas de Governo, bem como as Normas e Resoluções aplicáveis a projetos de aterros sanitários;
- Dados estatísticos e relatórios sobre disposição final e Gestão de Resíduos Sólidos no Brasil e no Estado do Pará; Aterros Sanitários; questão do “lixo” como problema ambiental e urbano;
- Conceitos básicos de Geoprocessamento; Sistemas de informações Geográficas e os tipos de análises e modelagem espacial;

### **BASES CARTOGRÁFICAS EM FORMATO DIGITAL:**

- Arquivos Rasters com valores de altitude corrigidos do Projeto DEM TOPODATA disponibilizados na plataforma web do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE;
- Arquivos no formato padrão Esri Shapefile: Referentes a localidades e povoados; estradas; hidrografia, limites municipais, todos na escala 1:250.000, Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000, disponíveis no site do IBGE, Projetos de assentamentos e áreas quilombolas do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, dados sobre áreas de preservação e imóveis rurais do Sistema de Cadastro Ambiental Rural do Estado do Pará - SICAR-PA;
- Mapas vetorizados do ano de 1995 em formato original PDF sobre susceptibilidade a erosão e tipos de solos do município de Bujaru, todos na escala de 1:100.000, Projeção Geográfica: UTM/SAD69, disponibilizados no site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA;

**SOFTWARE:** Windows 10 Home (64bits); Suítes Libre Office 2019, Microsoft Office 2016, Quantum GIS 2.18.28 e ArcGIS 10.5.1 cedido pela UFPA campus Ananindeua;

### **GEOTECNOLOGIAS EMPREGADAS**

- Verificação das coordenadas de apoio durante visita de campo com aparelho receptor GPS;

### **OUTROS EQUIPAMENTOS**

- Registro de imagens do lixão e das melhores áreas identificadas através de Smart phones;

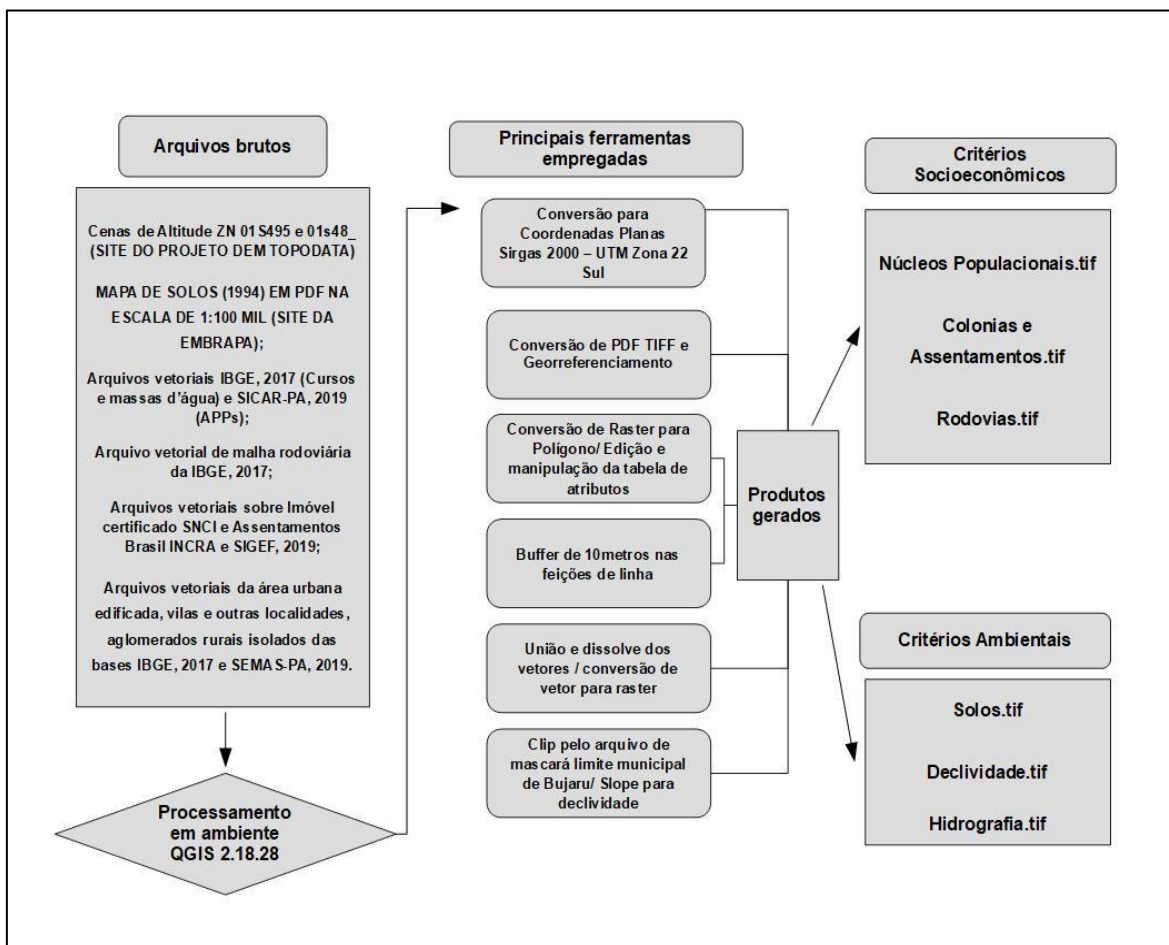
## **4.2 Métodos**

### **TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

- Análise e manipulação dos dados (vetoriais e rasters) em ambiente SIG; para posterior verificação dos Multicritérios restritivos e favoráveis, tendo em vista a sobreposição ponderada de camadas rasters.
- Confecção do Layout de impressão no ArcGIS versão 10.5.1 no Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO - UFPA);
- Delimitação do contexto espacial do município de Bujaru em uma escala; fixa de 1:175.000;
- Criação de uma camada vetorial com extensões de 50km nos eixos X e Y em uma área de 2.540km<sup>2</sup>, utilizando a ferramenta de generalização “Create Cartographic Partitions (Cartography)” no ArcGIS;
- Estruturação de um SIG;
- Construção de fluxogramas para a modelagem espacial: um para a seleção de critérios e outro para seleção das áreas favoráveis;
- Aplicação de álgebra de mapas sobre os critérios, através dos pesos de importância pesquisados;

Para a presente pesquisa foi realizada uma adaptação dos quadros normativos e legislação vigentes sobre a identificação de áreas para projetos de aterros sanitários. Abaixo (figura 9) a descrição de como se deu o processamento dos arquivos vetoriais e rasters usados como produtos cartográficos para a posterior análise das restrições e fatores:

**Figura 9 - Fluxograma para seleção de critérios**



Fonte: Autores, 2019.

O estabelecimento dos aspectos socioeconômicos e ambientais teve início em levantamentos e sistematização de bases cartográficas, processamento e cruzamento das informações geoespaciais que abrangem o município de Bujaru, estas são disponibilizadas e atualizadas de forma gratuita na web através dos órgãos oficiais como: IBGE, SEMAS, INCRA, SICAR E INPE.

#### 4.5 Análise de fatores e restrições

A modelagem espacial pode ser aplicada em projetos ambientais como a implantação de um aterro sanitário, através de um conjunto de procedimentos encadeados cuja finalidade é a escolha de um modelo inferencial que considere explicitamente os relacionamentos espaciais presentes no fenômeno (CÂMARA e MONTEIRO, 2003).

Segundo Calijuri, Melo & Lorentz (2002) os aspectos socioeconômicos e ambientais devem ser representados por linhas e polígonos convertidos para o formato matricial, devido ao fato de os métodos booleanos apresentarem falha em 35% na seleção de áreas favoráveis para um aterro sanitário.

Quanto aos seus pesos e percentual de importâncias, estes foram levantados das metodologias empregadas por: Crespo (2006); Santos (2018); Moda (2017); Pfeiffer (2001); Samizava *et al* (2008), Costa et al (2018).

Porém, ao perceber que existe certa subjetividade na determinação desses pesos ou percentuais de importância para as análises multicritérios, buscou-se simplificar um quadro que mais se adeque a realidade de Bujaru, com base nos autores da tabela 3:

**Tabela 3 – Classificação para seleção de áreas**

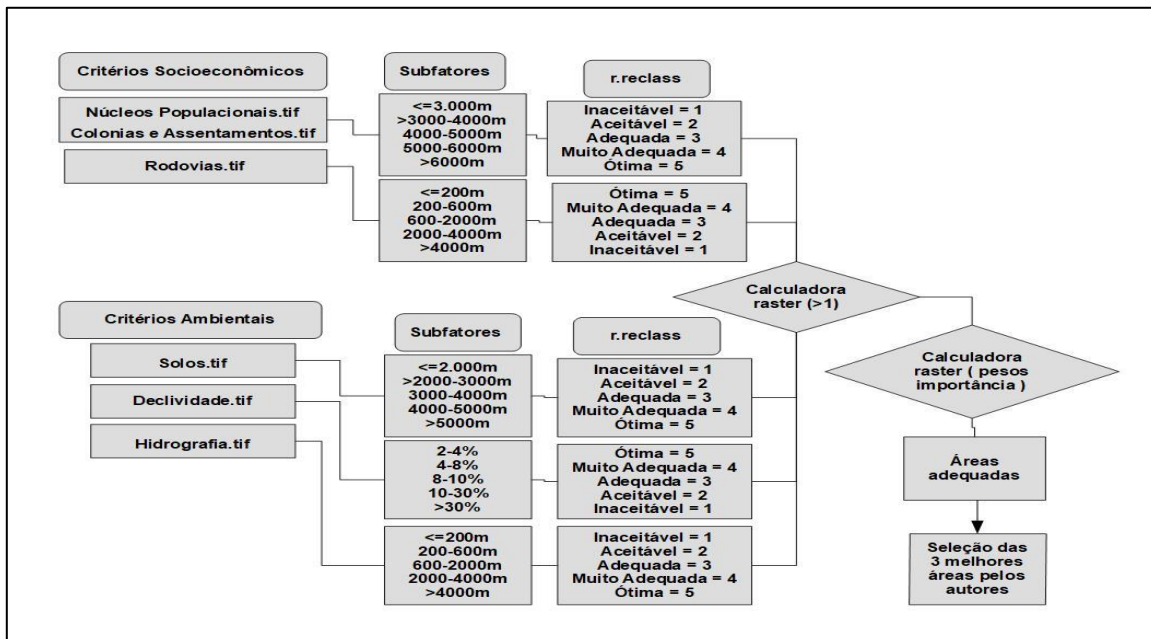
| <b>(Classificação das áreas Benayas (2018))</b> | <b>(Pesos de importância Pfeiffer (2001))</b> |
|---|---|
| Inaceitável = 1                                 | Solos=0.9                                     |
| Aceitável = 2                                   | Declividade=0.8                               |
| Adequada = 3                                    | Hidrografia=0.7                               |
| Muito Adequada = 4                              | Assentamento/Núcleo pop=0.6                   |
| Ótima = 5                                       | Rodovias=0.5                                  |

Fonte: adaptado.

O objetivo principal dos estudos de Pfeiffer (2001) foi propor subsídios para ponderação de fatores ambientais na localização de aterros sanitários baseado em SIG em sua tese (doutorado) na área de hidráulica.

A figura 10 demonstra o fluxograma metodológico para análise dos critérios e fatores como modelagem ambiental para este trabalho.

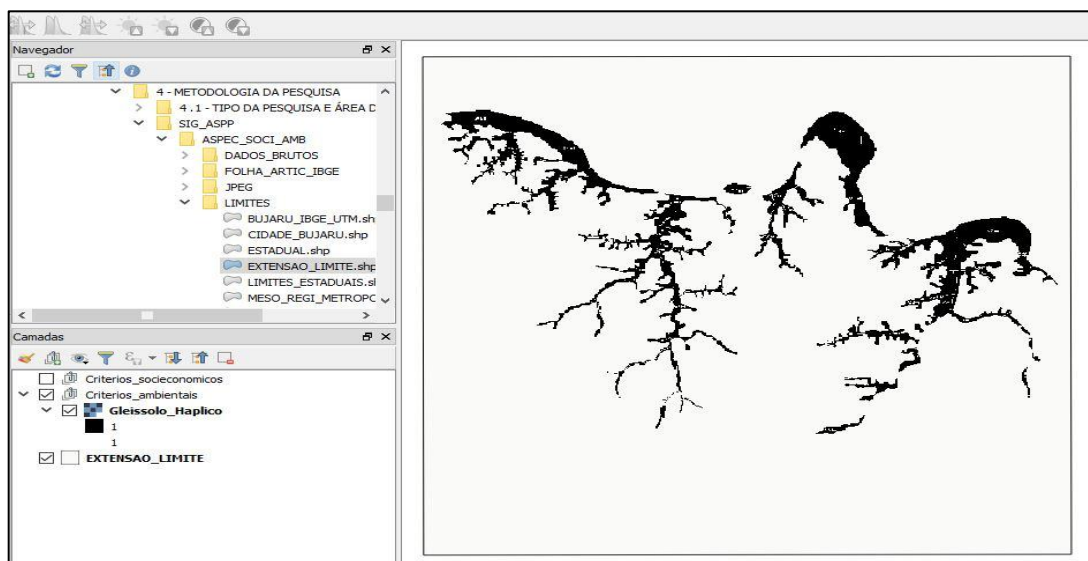
Figura 10 - Fluxograma para seleção das áreas favoráveis



Fonte: Adaptado Pfeiffer (2001).

A seguir foram demonstrados os processos para obtenção das melhores áreas, usando como exemplo o critério de solos = Gleissolo Háplico (figura 11), a obtenção dos arquivos raster se deu pela ferramenta “Rasterize”, onde foi apresentada a coloração branca para áreas que não foram vetorizadas e pretas para as vetorizadas. É importante ressaltar que a ferramenta “Rasterize” precisa de uma área de extensão em formato vetorial para processar todos os novos dados em uma mesma escala.

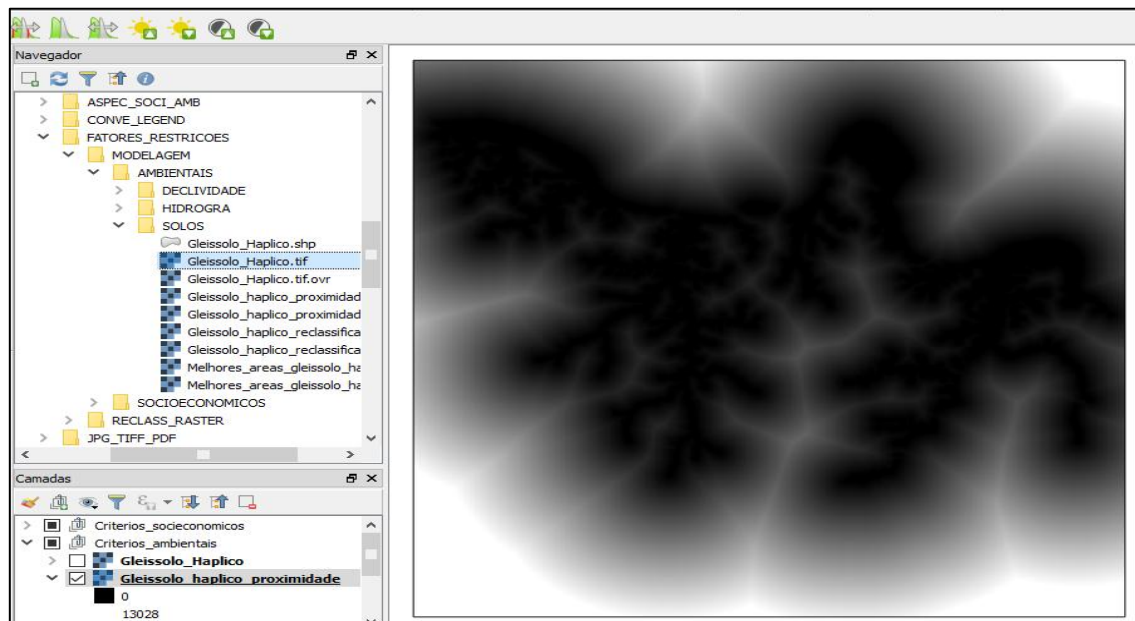
Figura 11 - Fatores de restrição para solos em Bujaru-PA



Fonte: Autores.

Após esse processo inicial, buscou-se obter distâncias entre os pixels através da ferramenta “Raster Proximity” e aplicar assim uma reclassificação nos mesmos, como mostra a figura 12.

**Figura 12 - Análise de proximidade**



Fonte: Autores.

Esse novo raster será usado em uma combinação da ferramenta “r.reclass” com base em um algoritmo contendo a classificação dos critérios de restrição sobre Gleissolo Háplico. Essa escolha se deu pela sua classificação de susceptibilidade à erosão, considerada como forte, devido à textura desses solos possuírem características argilo-siltosa, que no seu estado natural possuem uma dinâmica, geralmente vigorosa, constantemente em processo de erosão (EMBRAPA, 1994) (figura 13).

A baixa permeabilidade do solo torna-se um fator ideal para um aterro, funcionando como filtro, pois retém as substâncias à medida que o chorume se movimenta através deles, reduzindo seu poder de contaminação (SANTOS, 2018 apud SILVA E ZAIDAN, 2004).

Para a avaliação da adequabilidade de áreas para um aterro sanitário levando em consideração o critério de solos, a NBR 10157/1987 faz indicações sobre a importância na determinação da capacidade de depuração do solo e da velocidade de infiltração, tendo em vista que o aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações, em períodos de recorrência de 100 anos.

Demais especificações também podem ser encontradas na NBR 13896/1997, que trata da geologia e tipos de solos existentes e considera 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.

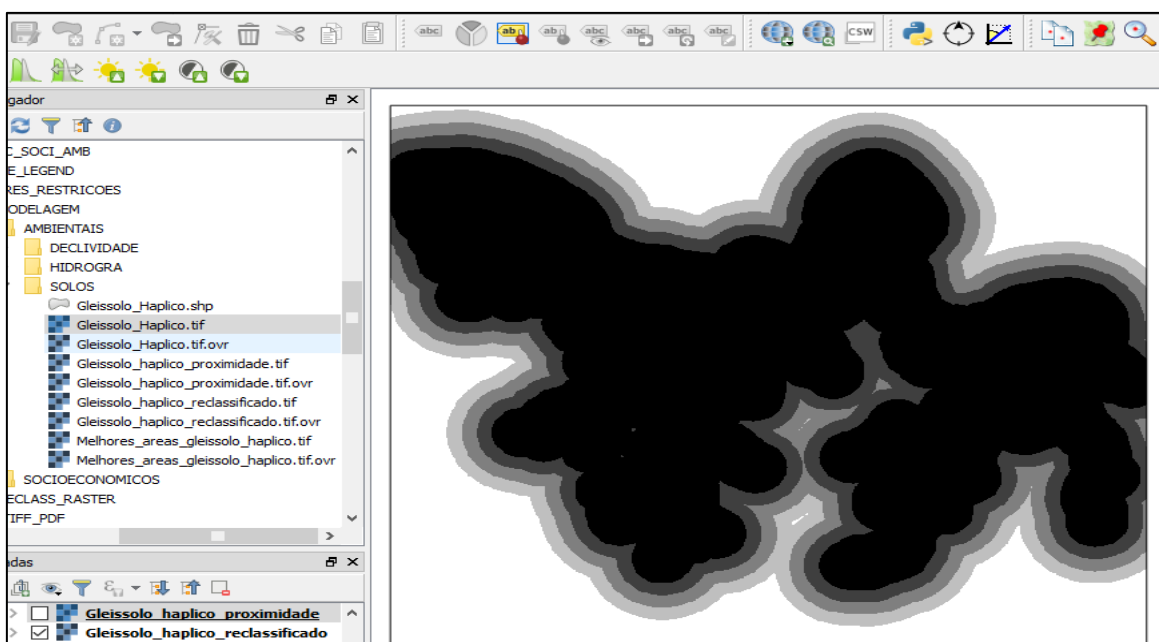
**Figura 13** - Algoritmo baseada na NBR 13896/1997

```
*RECLASS_ABNT_SOLOS_METROS - Bloco de Notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
0.0000 thru 2000.0000 = 1 Inaceitável
2000.0001 thru 3000.0000 = 2 Aceitável
3000.0001 thru 4000.0000 = 3 Adequada
4000.0001 thru 5000.0000 = 4 Muito adequada
5000.0001 thru 13028.0000 = 5 Ótimas
end
```

Fonte: Autores.

Ao verificar a metodologia de Santos (2018) foi estipulada uma distancia mínima de restrição de 2000m de todo solo classificado como Gleissolo Háplico devido a suas características. Ao analisar os mapas da EMBRAPA de 1995, são mais adequados: Argissolo Amarelo Plíntico, Latosso Amarelo e em especial os Argissolo Amarelo Concrecionário (SANTOS, 2018) (Figura 14).

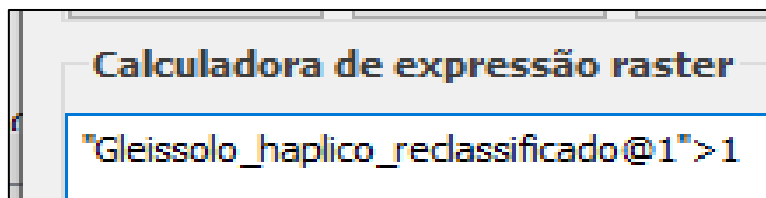
**Figura 14** – Resultado da reclassificação



Fonte: Autores.

Após essa operação, aplica-se a seguinte expressão abaixo na calculadora raster para todas as variáveis, porém ainda utilizando o critério de solos, com o objetivo de reclassificar o valor 1 considerando-o como restritivo entre os 5 valores estipulados pela classificação de Benayas (2018).

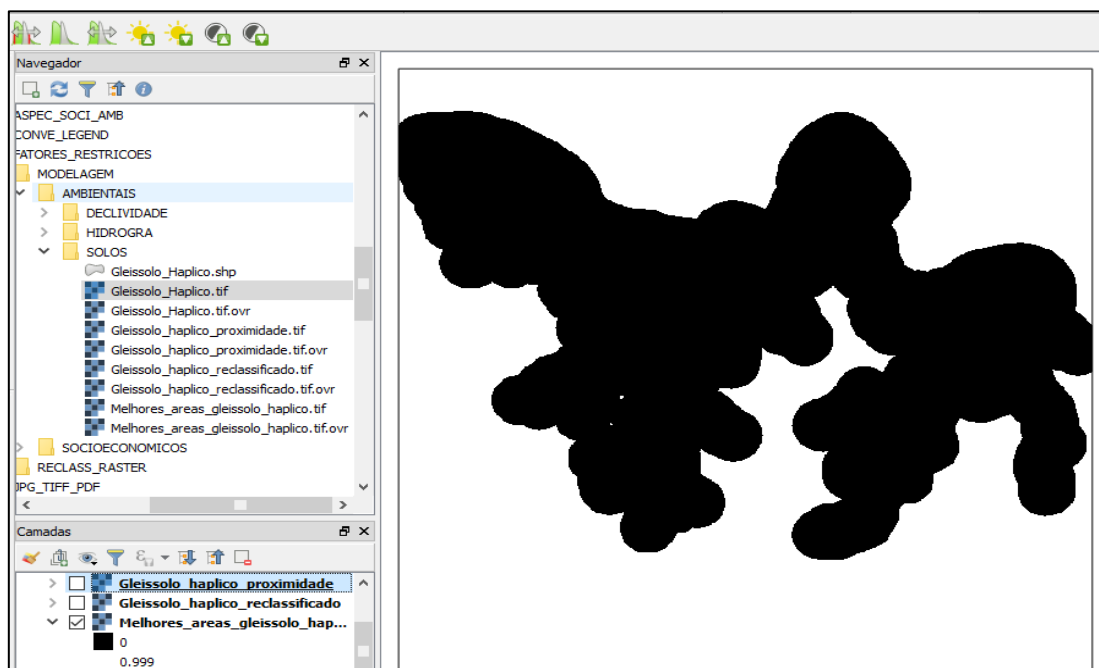
**Figura 15** - Eliminando áreas inaceitáveis



Fonte: Autores.

Para os raster que serão utilizados na seleção das melhores áreas como no exemplo da figura 16, aplica-se a expressão conforme a figura 15, este raster agora apresenta valores de pixel entre 0 e 0,999, contudo o valor 0 não entrará na sobreposição ponderada.

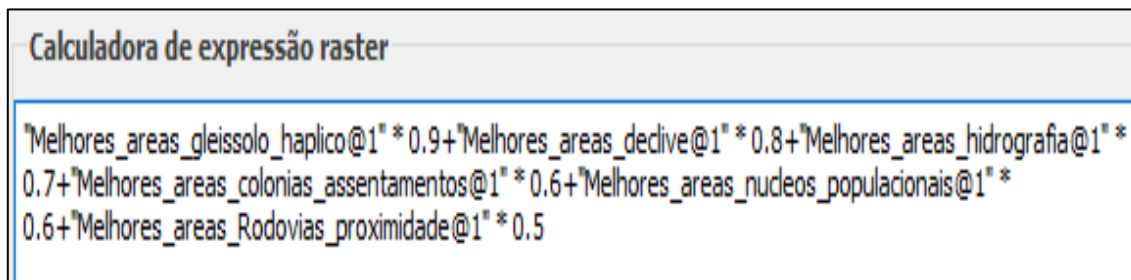
**Figura 16** - Exemplo de Raster para sobreposição ponderada



Fonte: Autores.

Agora partindo para as sobreposições ponderadas utilizando novamente a calculadora raster com base nos pesos de importância estipulados por Pfeiffer (2001), dessa forma buscou-se criar uma expressão válida (figura 17) para obtenção do mapa de adequabilidade para um aterro sanitário.

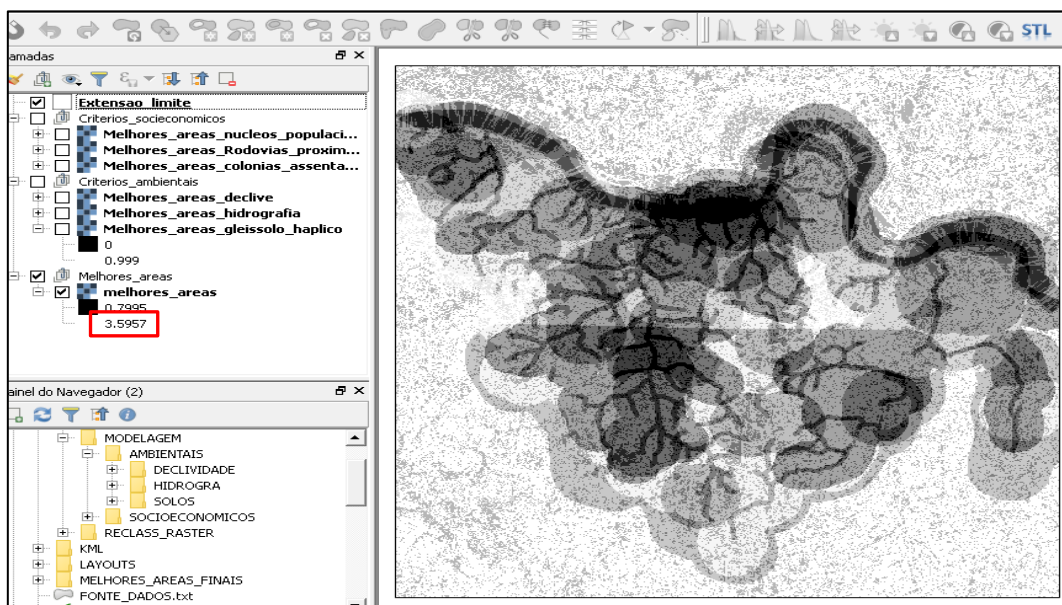
**Figura 17** - Expressão para sobreposição ponderada de fatores



Fonte: Autores.

Os processamentos seguintes assemelham-se aos já demonstrados, a figura 18 indica que o valor 0 deve ser excluído seguindo a lógica contida na figura 15, pois este valor 0 representa os rejeitos da sobreposição ponderada.

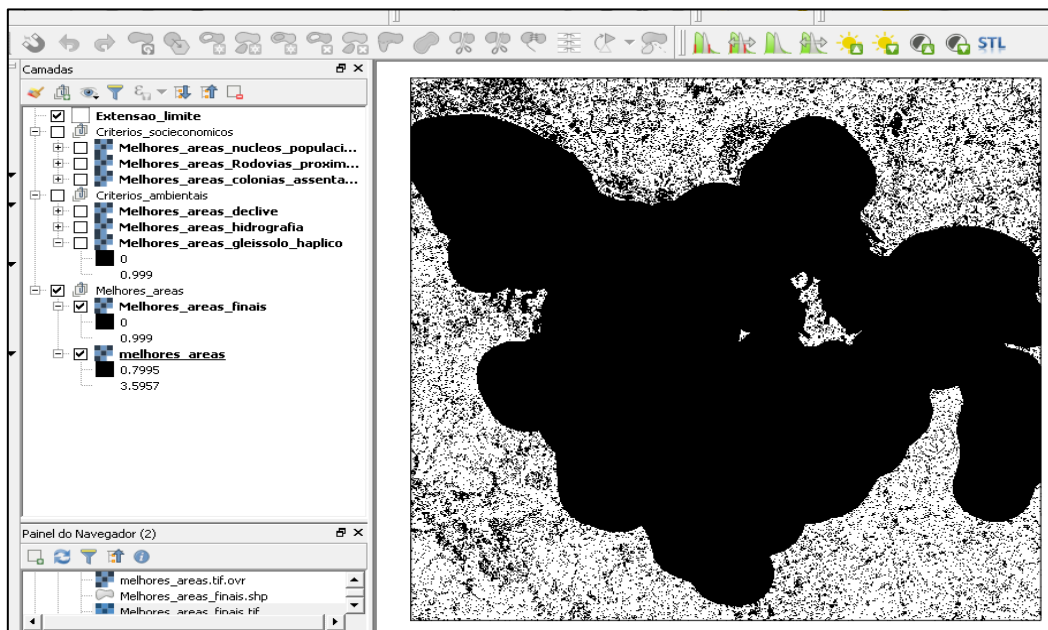
**Figura 18** - Resultado da sobreposição ponderada



Fonte: Autores.

Observando o valor destacado no retângulo vermelho aplica-se novamente na calculadora raster a fórmula: “melhores\_areas>=35957”. Figura 19.

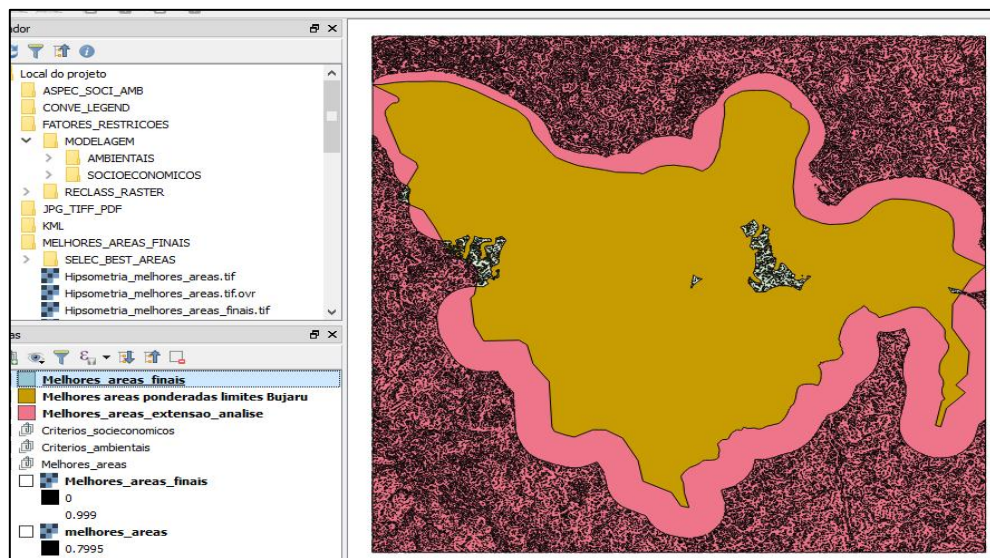
**Figura 19 - Raster das melhores áreas**



Fonte: Autores.

Convertendo o Raster com as melhores áreas para o formato de arquivo vetorial é possível realizar a operação clip utilizando a camada de extensão limites do município de Bujaru (figura 20).

**Figura 20 - Edição vetorial**



Fonte: Autores.

As melhores áreas finais são obtidas através do processo de edição feitas na tabela de atributos, coluna "gridcode", onde o valor 1 corresponde as áreas mais favoráveis e o valor 0, aquelas que não são.

## **5. RESULTADOS**

### **5.1 Aspectos socioeconômicos**

#### **Núcleos populacionais**

É importante destacar que cerca de 65% da população total de Bujaru reside nas áreas rurais, fator esse fundamentando pelo processo histórico de formação do município (FRANCO, 2017 apud IBGE, 2011).

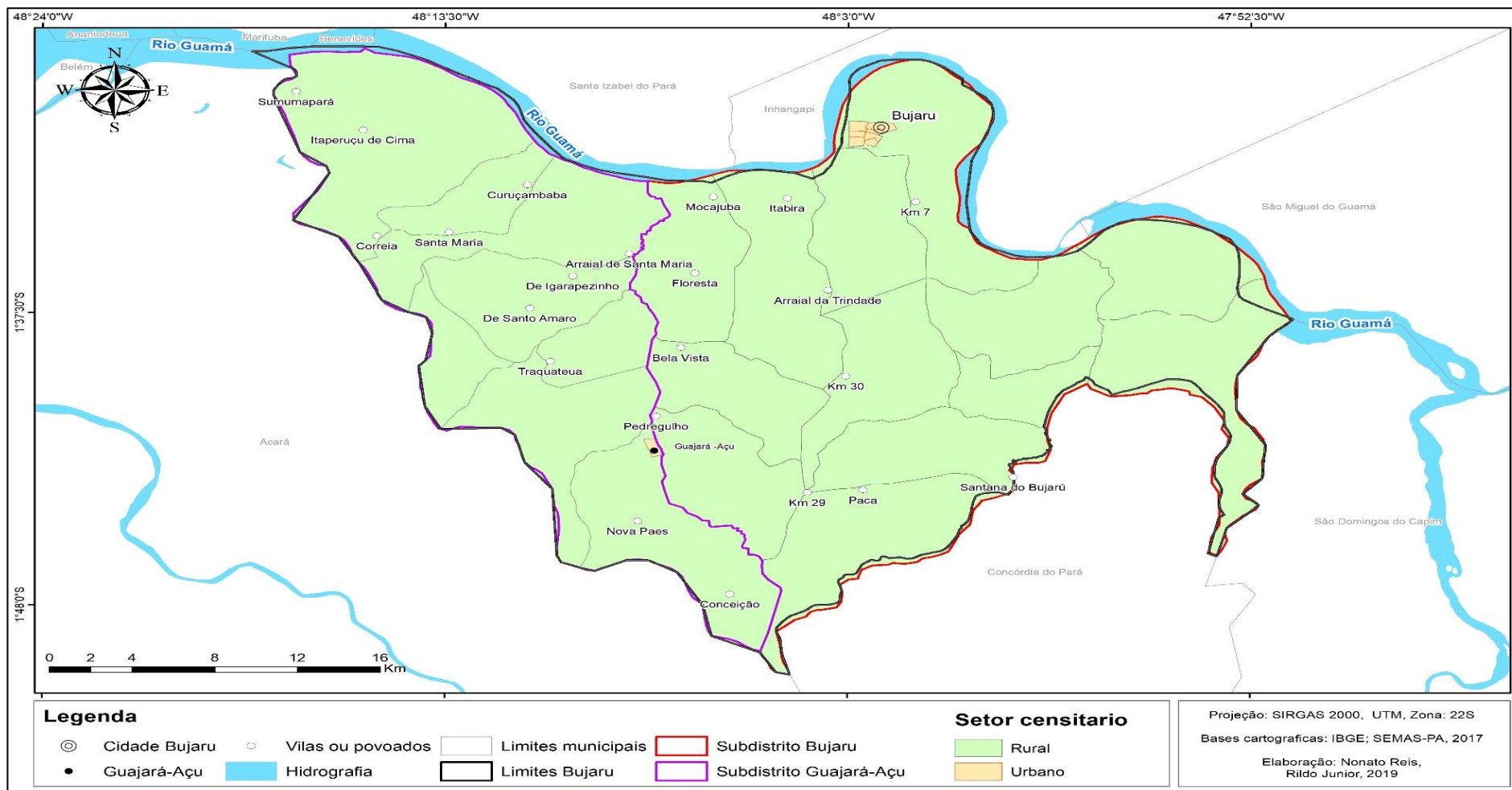
No contexto da modelagem espacial proposta neste trabalho, foram levantados 24 Núcleos populacionais após análises de base de dados vetoriais onde foi feita a distinção de áreas como a cidade de Bujaru, subdistrito de Guajará-açu e as demais localidades, como vilas ou povoados.

Segundo a NBR 13896/1997, entende-se por núcleos populacionais todas aquelas sem a categoria de sede administrativa, mas com moradias, geralmente em torno de igreja ou capela, com pequeno comércio.

Quanto à distância mínima para a construção de um aterro sanitário com relação a núcleos populacionais, deve ser avaliada a distância do limite da área útil do aterro a núcleos populacionais, recomenda-se que esta distância seja superior a 500 m.

No mapa 2 abaixo, é possível perceber que o município apresenta uma configuração espacial com poucas áreas edificadas, e as vilas e povoados encontram-se mais distribuídos na porção centro oeste.

Mapa 2 - Núcleos populacionais



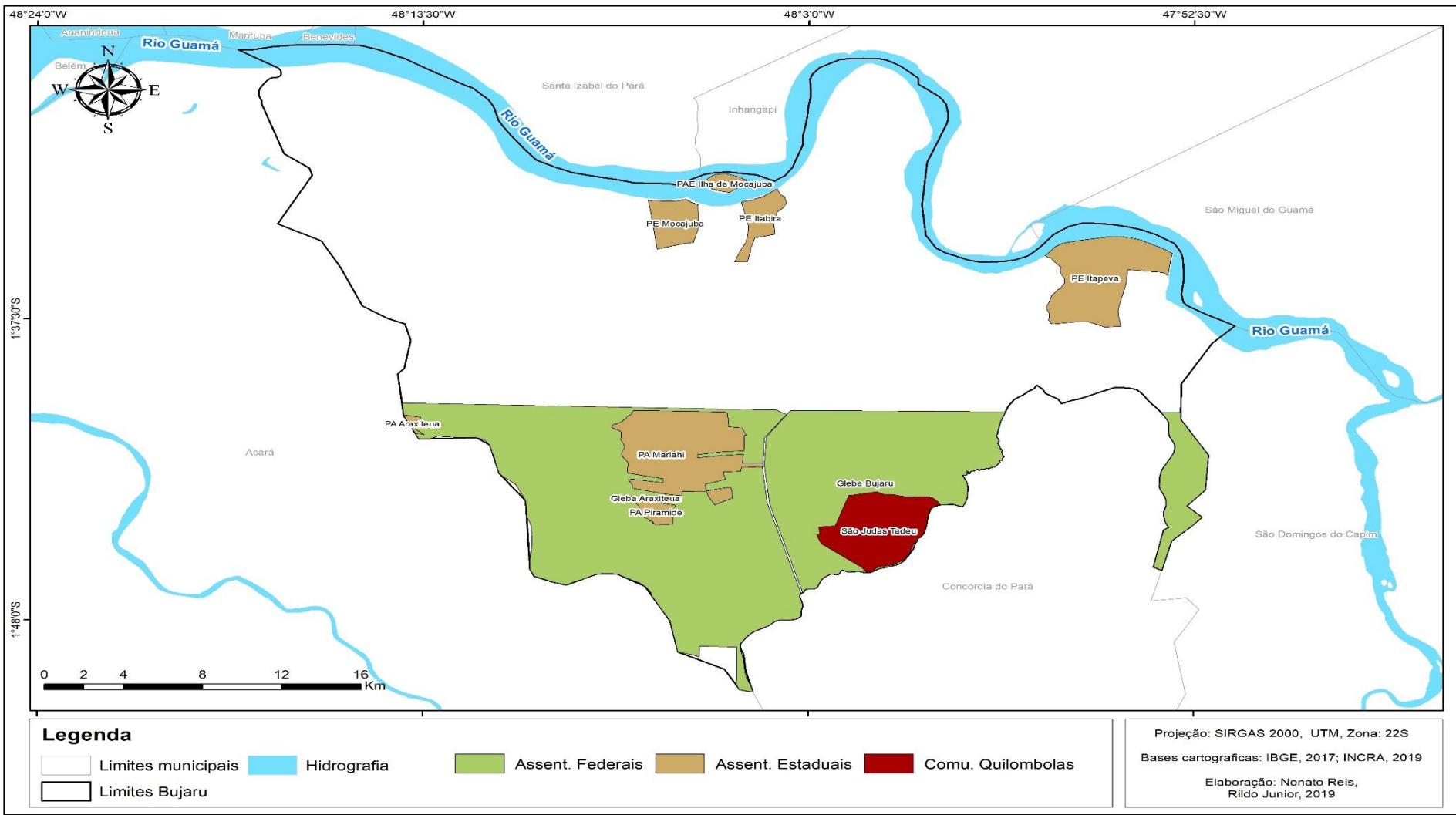
Fonte: Autores.

## **Colônias e Assentamentos**

Com relação às áreas de colônias e assentamentos delimitadas pelo INCRA (mapa 3), Bujaru apresenta atualmente duas glebas federais de nomes “Araxiteua” e “Bujaru”, uma comunidade quilombola denominada São Judas Tadeu e mais 7 projetos de assentamentos, sob coordenação da Superintendência Regional SR-01 - PA, totalizando 37,58% de seu território destinados ao gerenciamento e promoção do ordenamento da estrutura fundiária local.

A existência de projetos de assentamento se deu principalmente pela implementação de políticas públicas voltadas ao fortalecimento do principal fator de sua economia que se baseia no setor primário (81%), bastante caracterizado pelas atividades de agropecuária e extrativismo do açaí, o sistema de agricultura que domina é o de derruba e queima, para produção de culturas de subsistência, principalmente de mandioca e feijão Caupi (RODGRIGUES et al, 2001).

Mapa 3 - Glebas e Assentamentos



Fonte: Autores.

## **Infraestruturas – Rodovias**

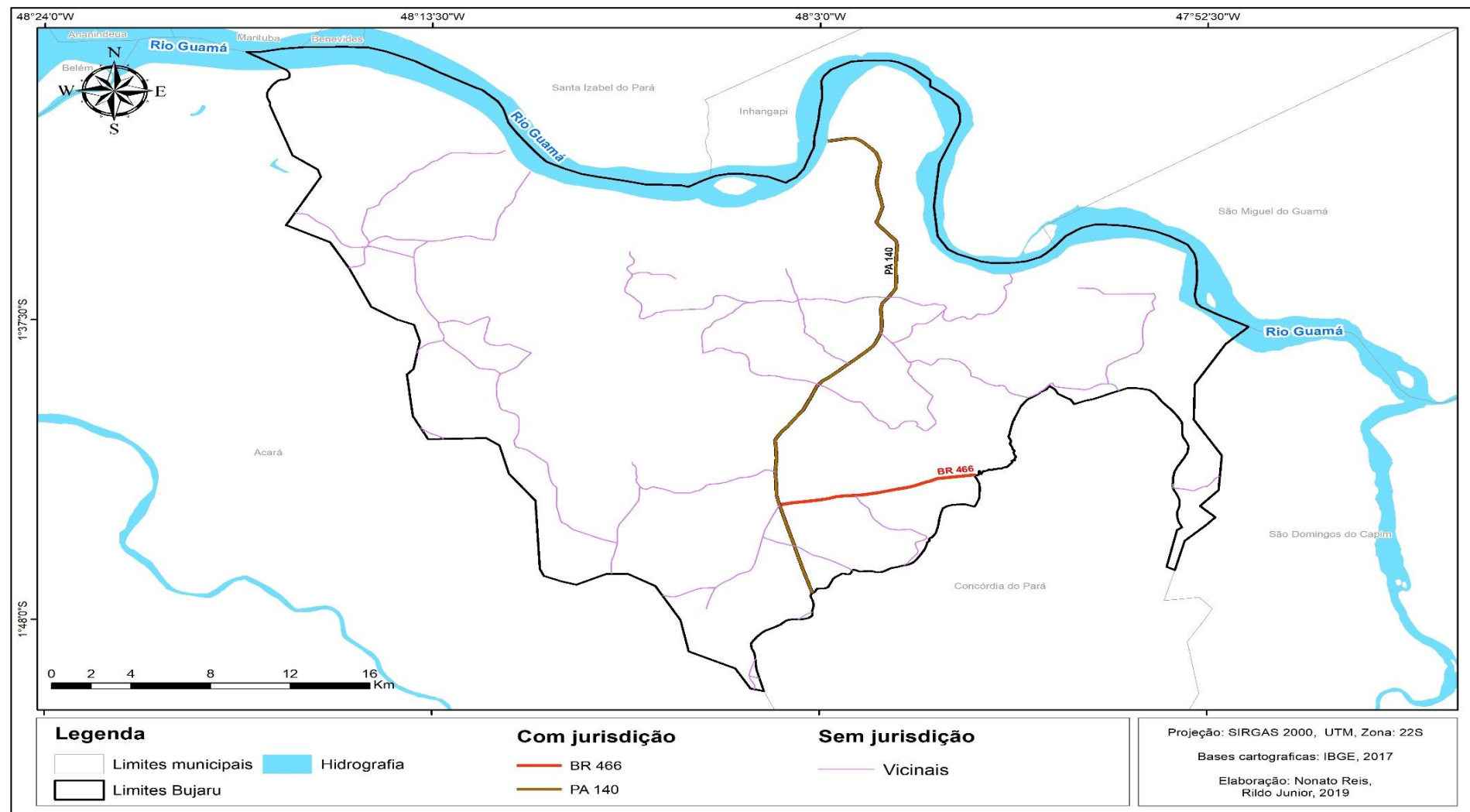
Bujaru apresenta um sistema rodoviário, com aproximadamente 249 km dividido em três esferas de jurisdição: federal, estadual e segundo o IBGE 80% apresenta-se sob domínio municipal.

Desta forma observou-se que as vicinais em Bujaru são utilizadas para o deslocamento, tendo tráfego permanente, devido a maior parte da população está situada na zona rural, ressalta-se que as vias não apresentam boas condições de trafegabilidade, pois não possuem cobertura asfáltica.

Com base nas considerações de Franco (2017), Bujaru assemelha-se ao restante do País cuja rede viária em grande parte é composta por estradas não pavimentadas, com exceção daquelas mais concentradas na cidade e da PA-140 que atravessa o município de norte a sul, estas estradas são fundamentais para a economia, devido ao escoamento de produtos diversos.

Para a implantação de um aterro sanitário segundo Santos (2018) apud Crespo (2006), é preciso estabelecer uma distância segura das vias de acesso, e para o presente trabalho foi utilizado como condição favorável 200 m por devido à proximidade das vias com o projeto, em especial aquelas com melhores condições trafegabilidade evitando assim maiores custos com a logística.

Mapa 4 - Sistema rodoviário



Fonte: Autores.

## 5.2 Aspectos Ambientais

### Clima

As condições de clima da região de Bujaru são semelhantes às da região de Belém, e correspondem às do tipo AI, da classificação de Kppen (Sudam, 1984), trata-se de um clima tropical chuvoso sem estação fria e com temperatura média dos meses menos quentes superior a 18°C, precipitação elevada, caracterizada por apresentar duas estações: uma chuvosa, que vai de dezembro a maio, com excedente hídrico de 1.543 mm, e outra menos chuvosa, que vai de junho a novembro, onde ocorre um déficit hídrico de 11 mm (EMBRAPA, 2003).

### Solos

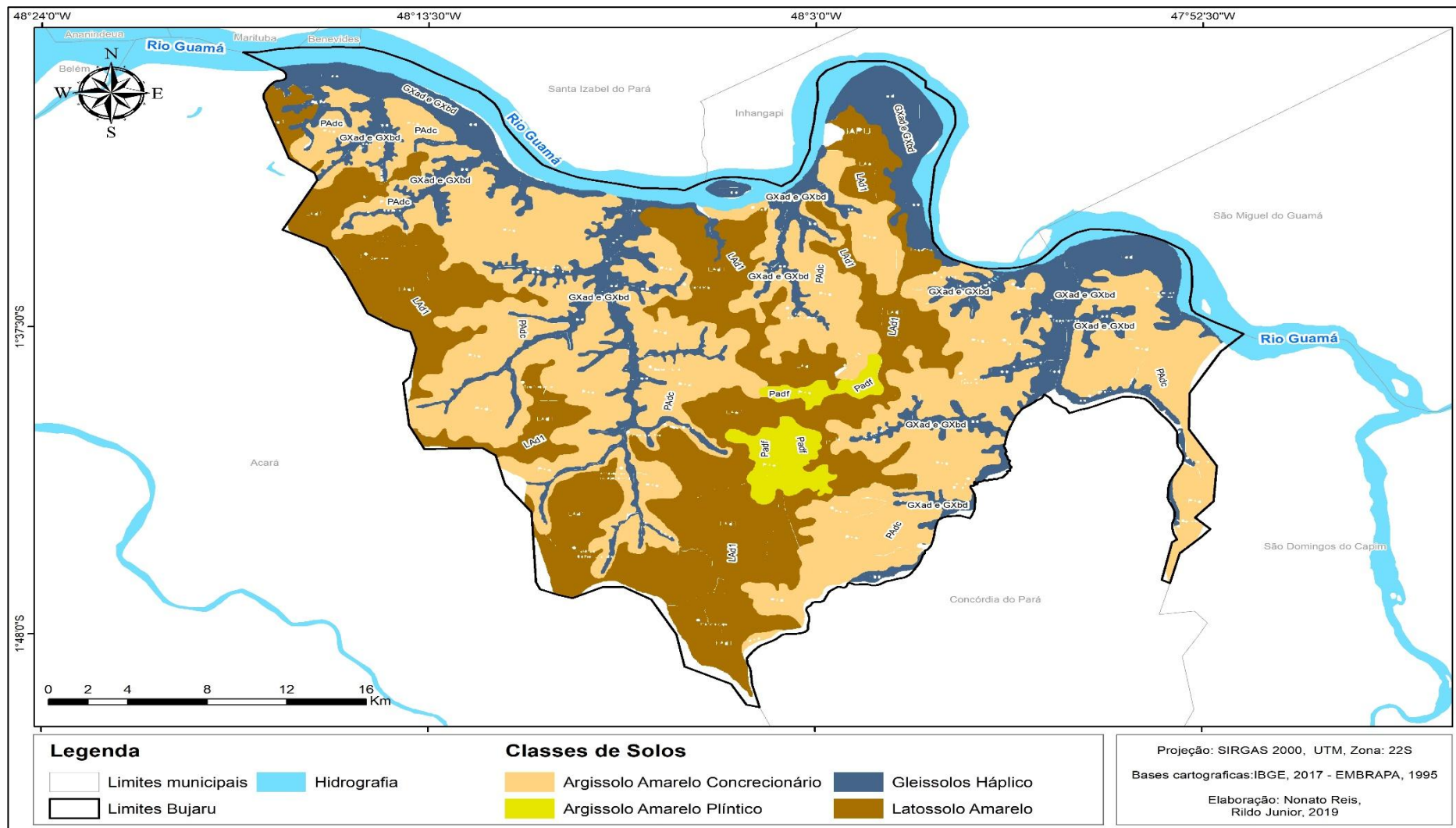
Os solos mapeados na área do Município de Bujaru foram Latossolo Amarelo (31,58%), Argissolo Amarelo Plíntico (2,32%), Argissolo Amarelo concrecionário (42,74%), e Gleissolos Háplico que se subdivide em: Gleissolos Háplico Distrófico Alumínico amoderado de textura argilo-siltosa (11,08%), Gleissolos Háplico Distrófico típico amoderado de textura argilo-siltosa (7,68%), todos pobres em nutrientes; bem como águas internas (4,60%). (RODRIGUES et al, 2001).

Segundo a NBR 13896/1997 não se deve ser desprezada a geologia e tipos de solos existentes por que 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<sup>-6</sup> cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m.

Reforçando que deve ser realizada uma análise dos solos quanto ao tipo e sua permeabilidade e textura (SANTOS, 2018).

Mapa 5 - Caracterização dos Solos



Fonte: Autores.

### Hipsometria:

Considerando a análise de arquivos originários da missão SRTM constantes do projeto Topodata que oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, percebe-se que a topografia de Bujaru se apresenta predominantemente plana, com pequenas variações altimétricas com relação ao nível do mar variando entre 0 e 67 m, conforme a tabela 4.

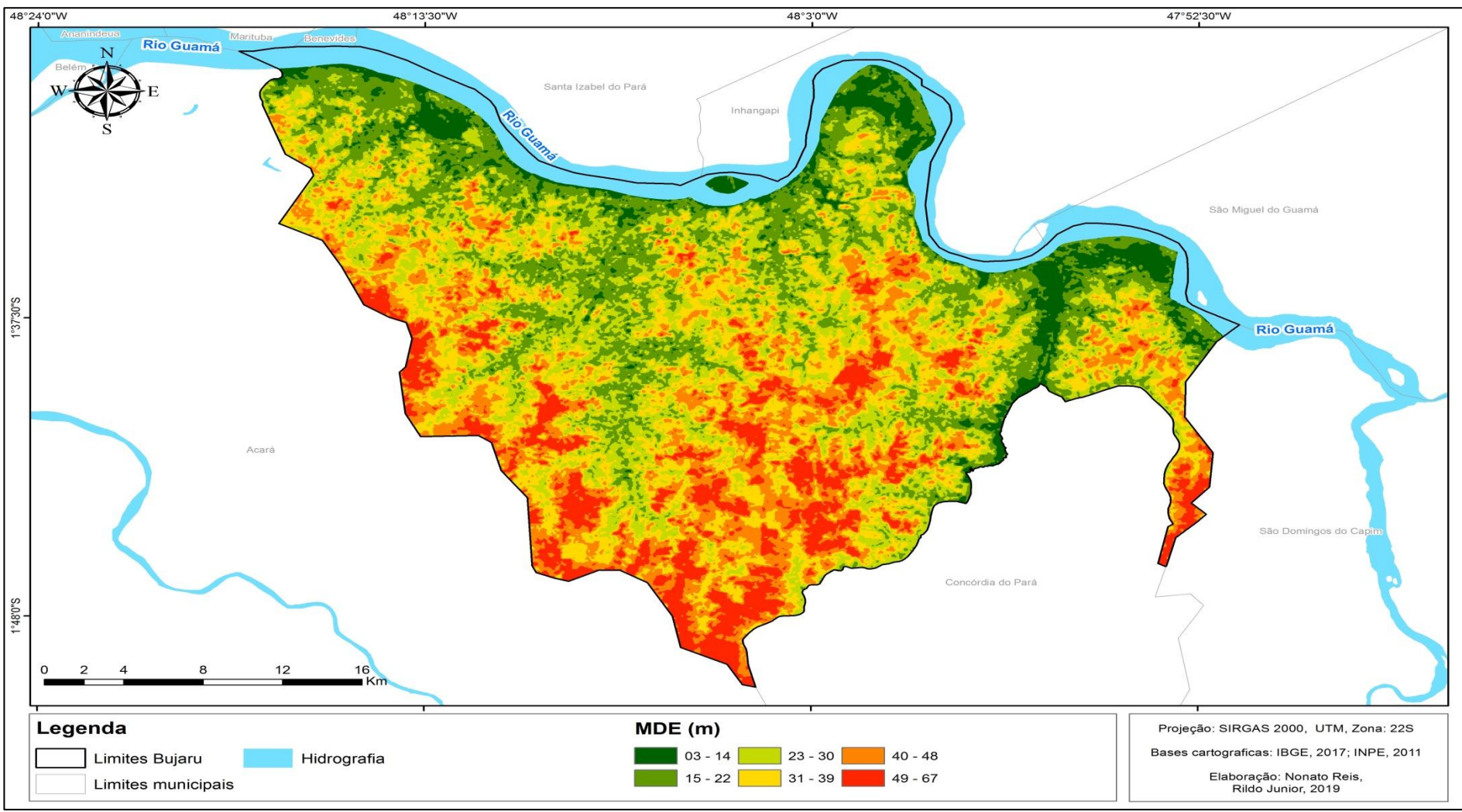
**Tabela 4 – VALORES DEM TOPO DATA Bujaru-Pa (2011)**

| <b>SRTM CLASSES</b> | <b>HECTARES</b> |
|---------------------|-----------------|
| 03 - 14 m           | 1.1870,90       |
| 15 - 22 m           | 18.492,35       |
| 23 - 30 m           | 20.841,06       |
| 31 - 39 m           | 21.060,84       |
| 40 - 48 m           | 17.283,94       |
| 49 - 67 m           | 10.596,48       |

Elaborado por: Autores, 2019.

Fonte: INPE, 2011.

Mapa 6 - Hipsometria



Fonte: Autores.

## Declividade

Com relação à obtenção do percentual de declividade de Bujaru foi utilizada a ferramenta “r.reclass” em ambiente QGIS para processar o arquivo raster com valores hipsômetros baseado nos padrões da EMBRAPA (1979).

A partir dessa nova reclassificação foi possível perceber que o município apresenta percentuais de declividade variando entre 0 até 46% (mapa 7), com predomínio das classes de relevo: plano, suave ondulado e ondulado (tabela 5).

**Tabela 5 - Relevos**

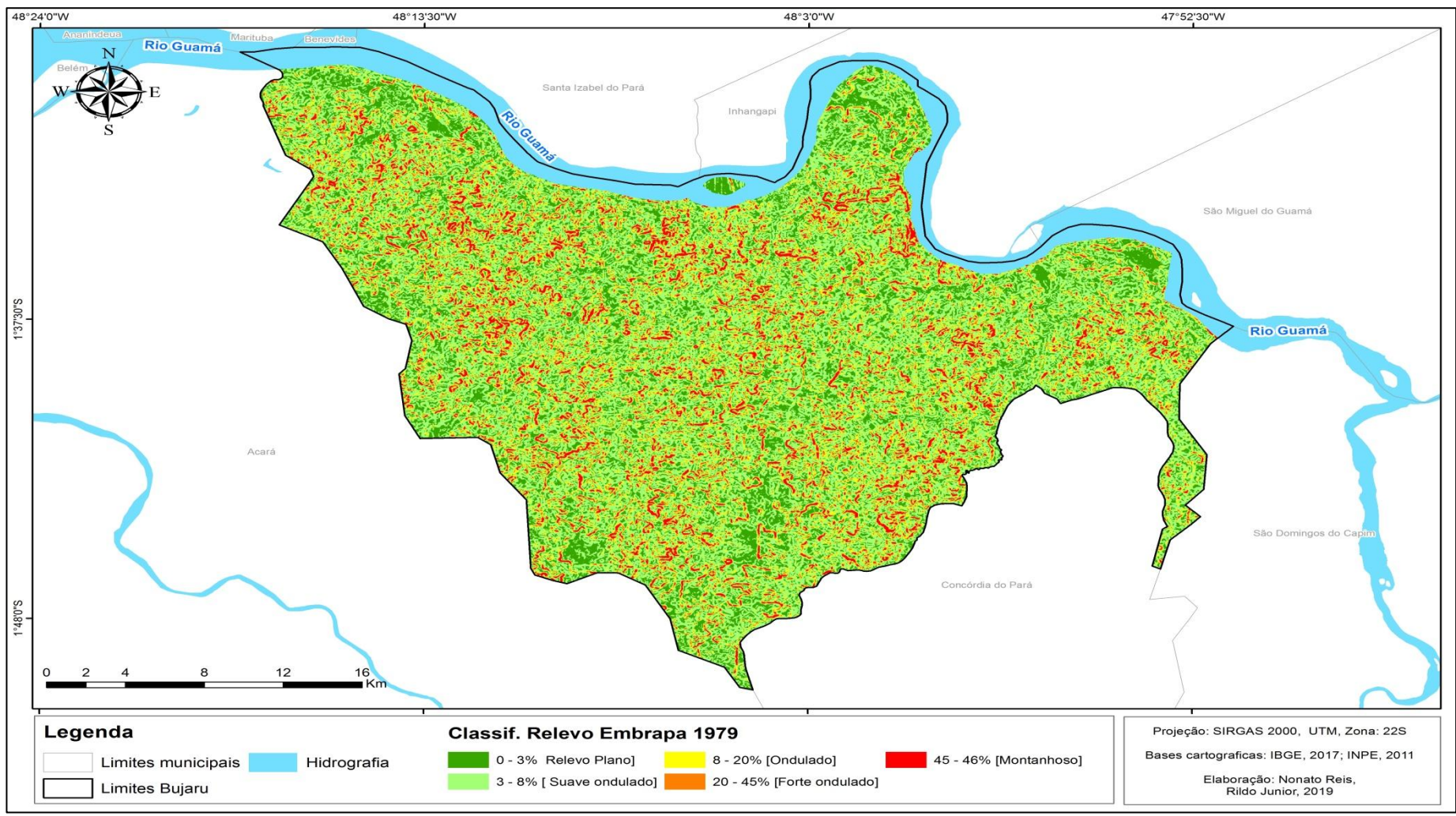
| <b>Hectares</b> | <b>Tipos de relevo</b>    | <b>% de hectares</b> |
|-----------------|---------------------------|----------------------|
| 25.110          | 0 - 3% Relevo Plano]      | 25                   |
| 49.220          | 3 - 8% [ Suave ondulado]  | 49                   |
| 12.638          | 8 - 20% [Ondulado]        | 13                   |
| 6.940           | 20 - 45% [Forte ondulado] | 7                    |
| 6.238           | 45 - 46% [Montanhoso]     | 6                    |
| <b>Total</b>    |                           | <b>Total</b>         |
| 100.146         |                           | 100,00               |

Elaborado por: Autores, 2019.

Fonte: INPE, 2011.

A NBR 13896 de 97 também ressalta que a topografia é tida como fator determinante na escolha do método construtivo e nas obras de terraplenagem para a construção da instalação. Recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%.

Mapa 7 - Declividade



Fonte: Autores.

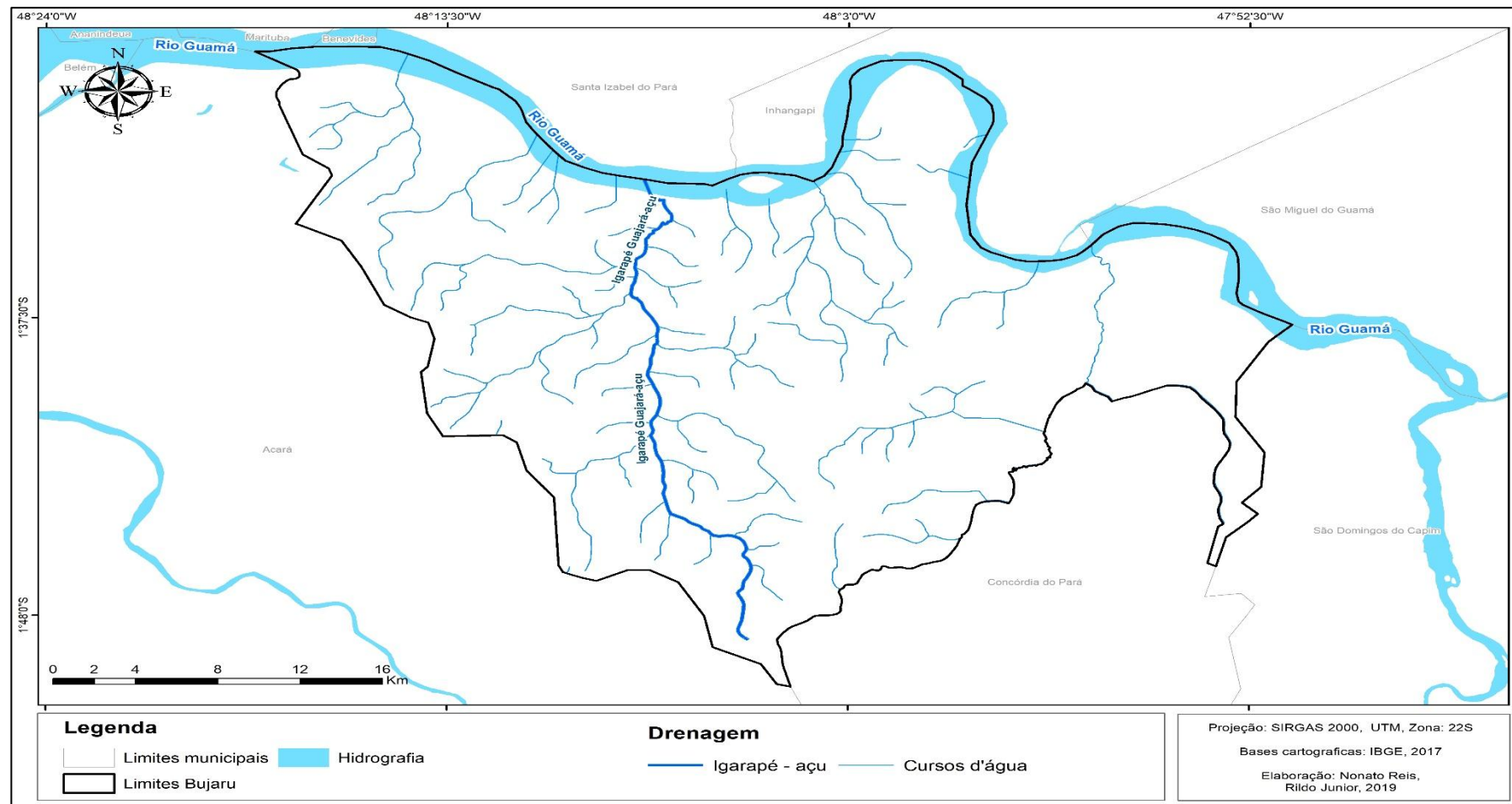
**Hidrografia:**

No contexto hidrográfico, Bujaru é bastante dinâmico, pois seus rios e igarapés contornam o município e desaguam no rio Guamá, um desses rios eu origem ao nome da cidade (FRANCO, 2017 apud RODRIGUES *et al*, 2003).

O igarapé Guajará-Açu, pode ser considerado o principal corpo hídrico dentro do município, com uma extensão total aproximada de 35 km, sua drenagem é formada por áreas de igapó, várzea e terra firme; bem como os subafluentes: Itateua, Mariahí, Tracuateua, Braço do Tracuateua, Itapecuru e o Guajará-miri. (FAPESPA, 2016).

Os recursos hídricos quanto a sua proximidade devem 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 (NBR 13896, 1997).

Mapa 8 - Hidrografia



Fonte: Autores.

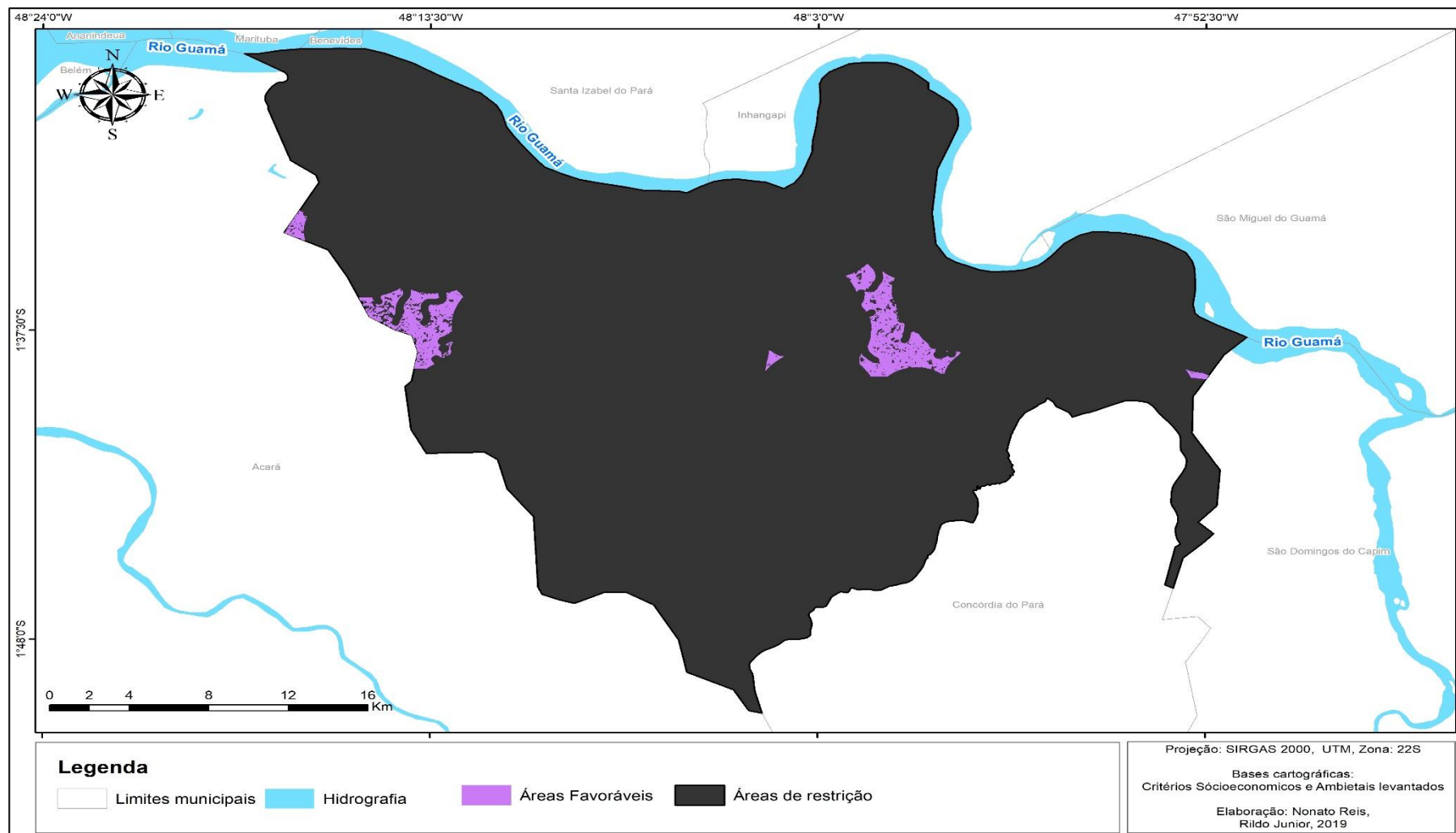
### **5.3 Áreas favoráveis a implantação de um aterro sanitário**

A análise multicritério sobre aspectos socioeconômicos e ambientais combinadas a técnicas de análise espacial e modelagem ambiental., permitiram encontrar 1.895 hectares que podem ser destinados para a implantação de aterros sanitários conforme o mapa 9.

É importante destacar com base no relatório síntese do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Pará (PGIRS – PA. VOL 1, 2014), que a melhor área para receber esse tipo de obra no município de Bujaru seria aquela com uma área acima de 3 hectares, capaz de suportar uma produção diária de 8t de RSU, e dure cerca de 12 a 15 anos em relação ao total de 10.000 habitantes da zona urbana.

Os demais dados relativos sobre o tipo de construção, a categoria de aterro sanitário, a ser instalado, capacidade de gerenciamento de RSU, condições de acesso e os custos operacionais envolvidos irão depender de estudos ambientais mais específicos.

Mapa 9 – Resultados da sobreposição ponderada



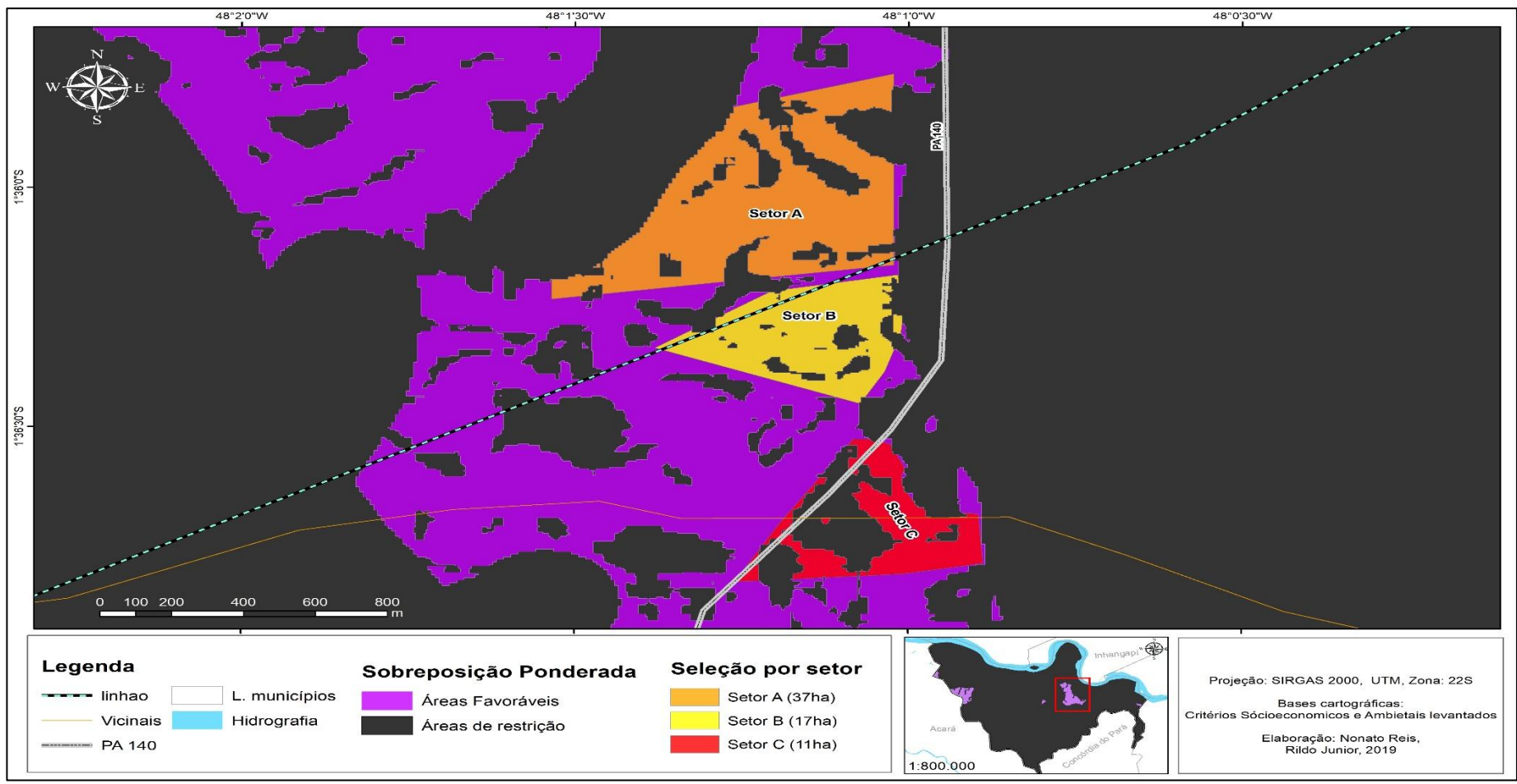
Fonte: Autores.

Para verificação dos resultados obtidos através da metodologia aplicada, realizou-se uma visita de campo em 3 áreas selecionadas seguindo critérios estipulados pelos autores do presente trabalho. Pode-se destacar que a proximidade dessas áreas com relação a cidade foi primordial para tal seleção, tendo em vista a produção de resíduos.

Quanto a estimativa e o tempo de vida de um aterro sanitário, o total de hectares foi considerado como o segundo fator de maior importância. Dentre outros critérios, as implicações advindas da instalação desse tipo de obra buscou verificar mesmo que de forma qualitativa a existência de imóveis rurais e suas áreas de reserva legal, através de shapefiles disponibilizados pelo SICAR-PA.

Sabe-se que tais empreendimentos causam impacto visual e desconforto de forma geral e a escolha de áreas mais isoladas também deve ser pensada. O mapa 10, faz uma distinção dessas áreas em três setores: setor A, setor B e setor C.

Mapa 10 – Seleção das melhores áreas por setor



Fonte: Autores.

Após visita de campo realizada no dia 02 de novembro de 2019, os setores A e B em questão não são recomendados para receber tal empreendimento quando comparados com o setor C, devido a sua proximidade com uma linha de transmissão de energia - “Linhão”, que divide as duas áreas conforme as figuras 21 e 22 abaixo.

**Figura 21** - Vista do setor A



Fonte: Autores.

Foto registrada no km 10 da PA 140 sentido cidade de Bujaru – Concórdia nas coordenadas Geográficas SIRGAS 2000: 1°35'46.42"S e 48° 1'1.08"W.

**Figura 22** – Vista inicial do setor B



Fonte: Autores.

Foto também registrada na PA 140, km 10,7 no sentido noroeste nas coordenadas Geográficas SIRGAS 2000: 1°36'12.02"S e 48° 1'0.01"W.

Esses setores apresentam uma topografia predominantemente plana, com leves variações no terreno (3 a 16%), confirmando em parte os resultados esperados da modelagem empregada no presente trabalho.

Com relação ao setor C, este foi considerado o melhor para a instalação de um aterro sanitário devido ser de fácil acesso, cerca de 500m da PA 140, não existir construções próximas, o terreno desse setor se apresenta em grande parte plano, com declividades variando entre 3 a 4%. Figuras 23 abaixo.

**Figura 23 - Setor C**

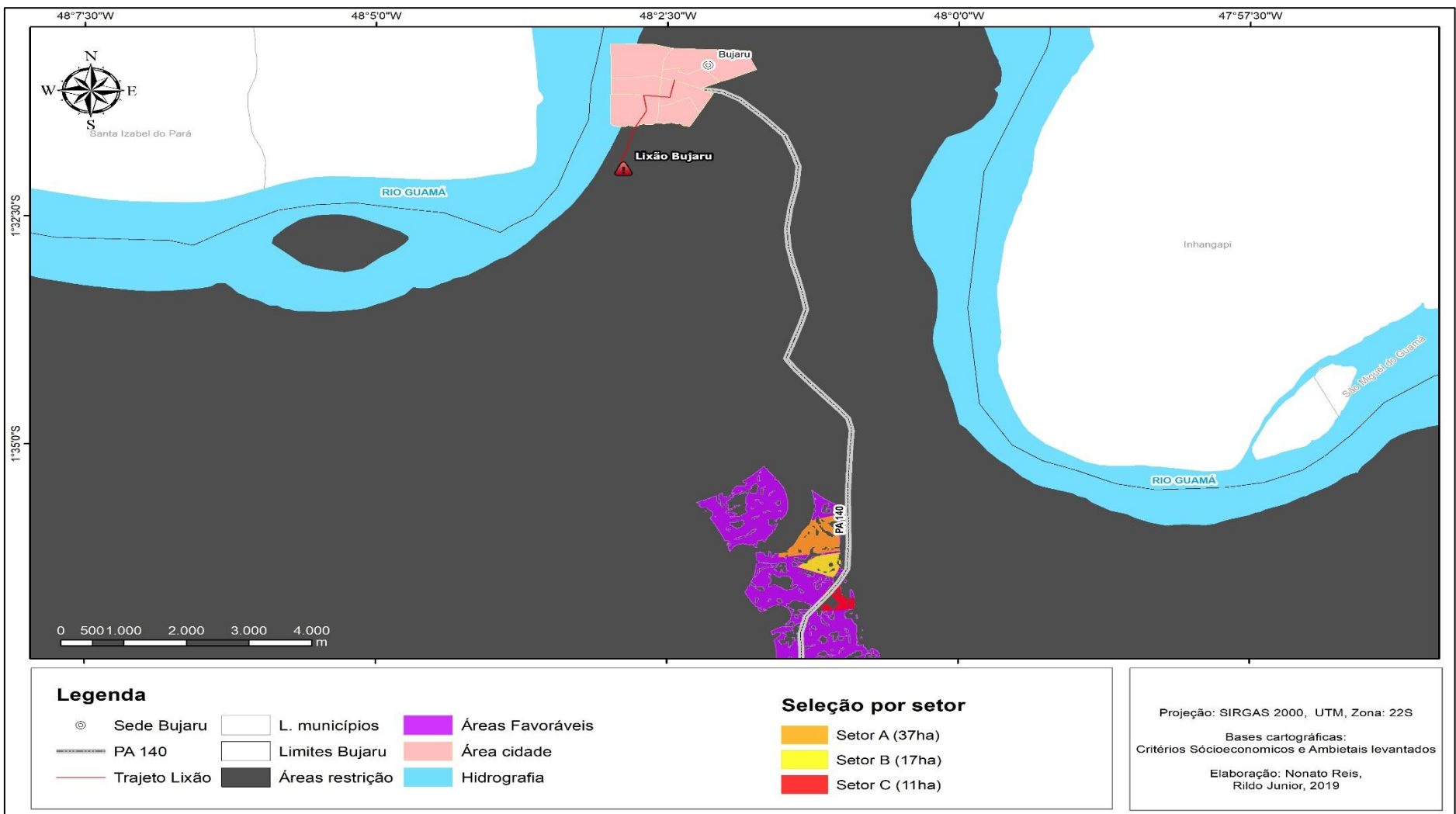


Fonte: Autores.

Foto também registrada em um ramal que tem seu acesso pelo PA 140, 11,7 km, no sentido concórdia – Bujaru nas coordenadas Geográficas SIRGAS 2000: 1°36'41.04"S e 48° 0'53.94"W.

É importante destacar que a localização desses setores atende em grande parte as especificações constantes nas NBR e Resolução Conama usadas na análises multicritérios quando comparadas com a área do lixão, que está localizado em muito próximo do rio Guamá, cerca de 360m e distante aproximadamente 2,4km da cidade de Bujaru. com presença de moradias no seu entorno, bem como atividades de catadores e queima de resíduos de forma irregular. Figuras 20, 21, 22 e 23.

Mapa 11 - Localização das melhores áreas selecionadas com relação ao lixão.



Fonte: Autores.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através das análises espaciais utilizando as metodologias pesquisadas nesse trabalho foi possível identificar 1.895 hectares de áreas favoráveis para implantação de um aterro sanitário obedecendo às normas e leis pertinentes, porém ao dividir elas em setores apenas uma foi a que mais se adequou para receber tal empreendimento.

Os produtos cartográficos juntamente com as demais informações obtidas com este trabalho configuram uma base segura na tomada de decisão na escolha do local adequado para a implantação do aterro sanitário no município de Bujaru, pois foram construídos revisando a metodologia de trabalhos anteriores, readequando-os para a realidade amazônica, entretanto é de suma importância trabalhar com equipes multidisciplinares em projetos ambientais mais complexos.

Vale ressaltar que toda modelagem está sujeita a erros devido ao seu grau de assertividade limitada e o processo de validação de métodos não pode ser ignorado. Para o presente trabalho os erros podem ser constatados após visita de campo e estudos técnicos mais detalhados e nem todas as feições vetoriais se aproximam como deveriam da realidade. De um modo geral, o fato de conhecermos onde os problemas ocorrem e poder visualizá-los espacialmente facilita sobremaneira seu entendimento e nos mostra as possíveis soluções, senão a única.

Com isso, é possível desenvolver um plano de ação a ser implantado para mitigar os impactos socioambientais causados pelo lixo visando urgentemente à mudança de local da disposição final desses RSU, eliminando ambientes insalubres, elaborando um programas voltados a recuperar a área degradada do lixo e desta forma oferecer mais qualidade de vida a população local, evitando aumentar os futuros gastos com saúde pública.

## REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8849** - Apresentação de projetos de aterro controlado - procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.

\_\_\_\_\_**NBR 10157** - Aterros de resíduos perigosos. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

\_\_\_\_\_**NBR 8419** - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

\_\_\_\_\_**NBR 8419** - Aterros de resíduos não perigosos. Rio de Janeiro: ABNT, 1997<sup>a</sup>.

\_\_\_\_\_**NBR 10.004** – Resíduos Sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

CÂMARA, G; MONETEIRO, A. M; DAVIS, C. **INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DA GEOINFORMAÇÃO. Geoinformática: Teoria e Aplicações.** INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos 2001. 346 fls.

CÂMARA, G; MONETEIRO et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** Escola de Computação, SBC, 1996. 205 p.

CÂMARA, G. e MONETEIRO, A. M. **Introdução à Modelagem Dinâmica Espacial.** Tutorial apresentado no Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto –Belo Horizonte – MG. 2003. DISPONIVEL EM <http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/>

CARVALHO, G. A e LEITE, D. V. **Geoprocessamento na gestão urbana – a experiência dos municípios mineiros Sabará e Nova Lima.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto –INPE. UFMG/IGC e Faculdade de Arquitetura. Pampulha – BH-MG. 2009. Disponível em <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.14.21.52/doc/3643-3650.pdf> acesso em 25 de out. 2019.

CORDOVEZ, J. C. G. **GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA DE GESTÃO URBANA.** Anais - I Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aracaju/SE, 17 e 18 de outubro de 2002. disponível em

[http://www.cpatc.embrapa.br/labgeo/srgsr1/pdfs/pa\\_pu\\_01.PDF](http://www.cpatc.embrapa.br/labgeo/srgsr1/pdfs/pa_pu_01.PDF) acesso em 20 de out. 2019.

DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (eds) "**Análise Espacial de Dados Geográficos**". Brasília, EMBRAPA, 2004 (ISBN: 85-7383-260-6).

FTIZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação 1ªEd.** Oficina de Textos. 2008. 160pg.

GOVERNO DO PARÁ. **Estatísticas Municipais Paraenses: Bujaru 2016.** Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) - Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação. – Belém, 2016. 56fls. Disponível em: <  
<http://www.fapespa.pa.gov.br/upload/Arquivo/anexo/1179.pdf?id=1565291117>>  
 Acesso em 06 de out. 2019.

GROSS, M, S e ROSSETE, A, N. **Seleção de áreas favoráveis para instalação de um aterro sanitário, utilizando-se do geoprocessamento, no município de Nova Xavantina – MT.** GEOGRAFIA, Rio Claro, v. 36, n. 3, p. 623-639, set./dez. 2011. Disponível em:<  
<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/8463/5956>> Acesso em: 23 de outubro de 2019.

MODA, R, F. **Identificação de áreas potenciais para implantação de aterro sanitário na região metropolitana de Londrina/PR. 2017.** Faculdade de Engenharia Ambiental. Londrina-PR. 2017. Disponível em:<  
[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9551/1/LD\\_COEAM\\_2017\\_2\\_21.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9551/1/LD_COEAM_2017_2_21.pdf)> Acesso em 9 de set. 2019.

PAMPOLINI, D. G. A. e L, C. E. **Uso de geoprocessamento para indicação de áreas favoráveis à construção de aterro sanitário no município de Ouro Preto (MG).** Caderno de Geografia, v.27, n.51. UFOP. Ouro Preto - MG, 2017.

PFEIFFER, S, C. **Subsidiados para a ponderação de fatores ambientais na localização de aterros de resíduos sólidos, utilizando Sistemas de Informações Geográficas.** Tese (doutorado) EESC/USP. São Carlos – SP. 2001. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde->

31012017-103900/publico/Tese\_Pfeiffer\_SimoneC\_corrigido.pdf> Acesso em 27 de out. 2019.

RODRIGUES, A. M. **Produção e consumo do e no espaço – Problemática ambiental urbana**. Versão digital – 2,5. Portal CREATIVE COMMOS. 193pg.

SANTOS, G. G. D. dos; **Análise e Perspectivas de Alternativas de Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos: O Caso da Incineração e da Disposição em Aterros**. Dissertação – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em:<  
<http://br.monografias.com/trabalhos/projeto-residuos/projeto-residuos.shtml>>  
Acesso em 06 de agosto de 2019.

SANTOS, Priscila Costa dos. **Geoprocessamento aplicado à análise de adequabilidade para aterros sanitários na região imediata de Belém – PA**. FTG/UFPA. Ananindeua-PA. 2018.

SILVA FILHO, S. R. **Proposta de modelo de aterro sanitário simplificado para municípios de pequeno porte**. Monografia Graduação em Eng.Civil. UFPB João Pessoa – PB. 2018. 92fl. II.

SOARES, B, S, F. **Modelagem de dados espaciais**. 2000. 17 p. Monografia. DCCSR. UFMG. Belo Horizonte.

VASCONCELOS Jr, M. R; SILVA CORRÊA, R. S. **Impactos Socioambientais Causados pelo Aterro Sanitário no Município de Marituba-Pa**. II Seminário Nacional de Serviço Social, Trabalho e Políticas Sociais. UFSC, 2017.