



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ANTÔNIO VERÍSSIMO BISNETO

MODELO DE DECISÃO ESPACIAL PARA SELEÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

**ANGICOS/RN
2018**

ANTÔNIO VERÍSSIMO BISNETO

MODELO DE DECISÃO ESPACIAL PARA SELEÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito parcial obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Ciro José Jardim de Figueiredo – UFERSA.

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

VVERI VERISSIMO BISNETO, ANTONIO.
SSIMO MODELO DE DECISÃO ESPACIAL PARA SELEÇÃO DE
m ATERROS SANITÁRIOS / ANTONIO VERISSIMO BISNETO. -
ANGICOS, 2018.
74 f. : il.

Orientador: Prof.º Dr. CIRO JOSE JARDIM DE FIGUEIREDO.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia de
Produção, 2018.

1. Resíduos. 2. Aterro Sanitário. 3. SIG-AMD.
4. AHP. 5. WLC. I. FIGUEIREDO, CIRO JOSE JARDIM
DE , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANTÔNIO VERÍSSIMO BISNETO

MODELO DE DECISÃO ESPACIAL PARA SELEÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito parcial obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

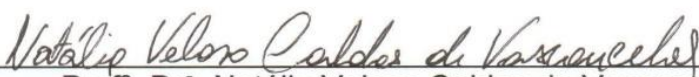
Orientador: Prof. Dr. Ciro José Jardim de Figueiredo – UFERSA.

Aprovado em: 12 / 09 / 2018

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ciro José Jardim de Figueiredo – UFERSA
Presidente



Prof.ª Dr.ª Natália Veloso Caldas de Vasconcelos – UFERSA
Primeiro Membro



Prof.ª M.sc. Tuíra Moraes Avelino Pinheiro – UFERSA
Segundo Membro

Dedico primeiramente a **Deus** que está sempre acima de tudo e todos na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Rei dos reis e Senhor dos senhores Jesus Cristo, por ter me concedido vida e por nos momentos mais turbulentos da vida sempre ter colocado sua mão sobre mim para me amparar e de alguma forma me dar forças para continuar na jornada acadêmica.

Aos meus pais, Francisco Benedito da Trindade e Elza Veríssimo de Souza Trindade, que fizeram e fazem até hoje grandes esforços para me educar sempre visando o melhor para mim, em especial na minha vida acadêmica, apesar de todas as dificuldades. Sem dúvida minhas conquistas são sempre pensando em retribuir o que vocês fizeram por mim, apesar de saber que o que fizeram não tem preço.

A minha família, em especial meus irmãos Maria Camilla Souza Trindade, Jorge Pollaco Souza Trindade, João Vitor Bezerra de Souza por sempre estarem ao meu lado em todas as horas.

Ao meu sobrinho Jorge Matheus Souza Trindade que é mais uma razão do meu viver.

A minha vó Dona Raimunda Veríssimo, por todo o seu amor incondicional que tem comigo e por sempre acreditar no melhor para seus netos.

A toda minha família, que de alguma forma ajudou bastante nessa jornada e que com certeza é meu maior bem.

A minha esposa Amanda Clementino de Melo, pois suas contribuições foram de extrema importância.

A todos meus amigos e colegas que conheci durante essa vida, que eles me trazem grandes momentos de felicidade e estímulo. “Eu quero ter um milhão de amigos” (Roberto Carlos).

Ao Prof^o. Dr. Ciro José Jardim de Figueiredo, por me dar essa oportunidade de estar realizando meu TCC e me orientar contribuindo para que o trabalho fosse de grande excelência, pois os conhecimentos adquiridos neste servirão de grande importância para o futuro.

A Prof^a. Dr^a. Natália Veloso Caldas de Vasconcelos e a Prof. M.sc. Tuíra Morais Avelino Pinheiro por me darem a honra de apresentar minha pesquisa para as mesmas e ter o julgamento de ambas, pois sei que suas considerações serão de grande valia para o meu futuro acadêmico.

E por último agradecer a todas as contribuições das pessoas envolvidas, mesmo que mínimas, com certeza serão lembradas.

“No fim tudo dá certo, se não deu certo é
porque ainda não chegou ao fim”

Fernando Sabino

RESUMO

A crescente preocupação com a disposição final de resíduos sólidos, impõe a necessidade de governos adotarem medidas que visem aprimorar o gerenciamento destes resíduos. Alternativas para solução do problema podem ser encontradas para a escolha de um local para implantação de um aterro sanitário, de acordo com a legislação vigente e os critérios mais relevantes. Esta pesquisa visa elaborar um modelo de decisão espacial que selecione áreas adequadas para implantação de aterros sanitários, onde teve por estudo de caso a microrregião de Angicos, inserida no estado Rio Grande do Norte. Para criação deste modelo foi necessário selecionar critérios relevantes para a região em questão e que atendesse as legislações brasileiras. Esta pesquisa utilizou uma metodologia baseada na integração do Sistema de Informação Geográfica e Análise de Multicritérios a Decisão. Utilizou dois bancos de dados, nos quais foi possível encontrar dados remotos da microrregião de Angicos, permitindo criar mapas temáticos representando os critérios selecionados. Procederam sobreposições booleanas com pesos adquiridos pela avaliação entre os critérios baseado na metodologia *Analytic Hierarchy Process*, e por fim foi gerado um mapa final de adequação utilizando a abordagem *Weight Linear Combination*. Ao fim do estudo foram encontradas 27 áreas com condições adequadas para criação de um aterro sanitário, destas dez obtiveram maior nível de adequabilidade para uso, dispondo principalmente na região noroeste da microrregião estudada. Se faz necessário uma análise de sensibilidade posterior para selecionar a melhor área entre as demais, e consequentemente recomendação a implantação de um aterro sanitário na área.

Palavras-chave: Resíduos; Aterro Sanitário; SIG-AMD; AHP; WLC.

ABSTRACT

The growing concern about the final disposition of solid waste, due to the harm caused by the inappropriate waste disposal, imposes the need for governments to adopt measures to improve the management of this waste. In this sense, alternatives to solve the problem can be found in the proper choice and implementation of a sanitary landfill, according to the current legislation and the most relevant criteria. The present research aims to elaborate a spatial decision model that selects suitable areas for the implantation of sanitary landfills, where it had by case study the microregion of Angicos, inserted in the state Rio Grande do Norte. To create this model, it was necessary to select criteria relevant to the region in question and to comply with Brazilian legislation. This research used a methodology based on the integration of the Geographic Information System and Multicriteria Decision Analysis. Through two databases it was possible to find remote data from Angicos micro-region, allowing the creation of thematic maps representing the selected criteria. We performed Boolean overlaps with weights acquired by the evaluation between the criteria based on the Analytic Hierarchy Process methodology, and finally a final fitness map was generated using the Weight Linear Combination approach. At the end of the study were found 27 areas with adequate conditions to create a sanitary landfill, of these ten obtained a higher level of suitability for use, being available mainly in the northwest region of the studied microregion. It is necessary a posterior sensitivity analysis to select the best area among the others, and consequently recommend the implantation of a sanitary landfill in the area.

Keywords: Waste; Sanitary landfill; GIS-MCDA; AHP; WLC.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos critérios para criação de um aterro sanitário.....	31
Tabela 2 - Dados dos municípios que compõe a microrregião de Angicos.....	36
Tabela 3 - Critérios de exclusão para seleção do aterro.....	40
Tabela 4 - Classificação dos critérios analisados.....	45
Tabela 5 - Precipitação anual dos municípios que compõe a microrregião de Angicos	48
Tabela 6 - Classificação de permeabilidade dos solos da microrregião de Angicos	55
Tabela 7 - Escala de Saaty.....	57
Tabela 8 - Matriz de comparações.....	58
Tabela 9 - Tabela de consistência aleatória.....	59

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Taxa de consistência.....	58
Equação 2 – Quociente de consistência.....	59
Equação 3 - Cálculo do WLC.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de funcionamento do Sistema de Informação Geográfica.....	22
Figura 2 - Análise de sobreposições de mapas utilizando SIG.....	23
Figura 3 - Representação e diferença entre os formatos <i>Raster</i> e <i>Vetorial</i>	23
Figura 4 - Exemplos de formas vetoriais.....	25
Figura 5 - Exemplo da representação de um <i>Raster</i>	26
Figura 6 - Fluxograma dos critérios de adequação de aterros sanitários.....	30
Figura 7 - Ilustração de um Aterro Sanitário.....	32
Figura 8 - Microrregião de Angicos/RN.....	35
Figura 9 - Esquema do cruzamento de mapas temáticos.....	37
Figura 10 - Processo de tomada de decisão.....	38
Figura 11 - Áreas ambientalmente sensíveis da microrregião de Angicos.....	41
Figura 12 - Corpos hídricos da microrregião de Angicos.....	42
Figura 13 - Redes rodoviárias da microrregião de Angicos.....	43
Figura 14 - Áreas residenciais da microrregião de Angicos.....	44
Figura 15 - NDVI da microrregião de Angicos.....	47
Figura 16 - Mapa pluviométrico da microrregião de Angicos.....	49
Figura 17 - Declividade da microrregião de Angicos.....	51
Figura 18 - Elevação da microrregião de Angicos.....	53
Figura 19 - Vias de acesso da microrregião de Angicos.....	54
Figura 20 - Escala de permeabilidade.....	56
Figura 21 - Tipos de solos da microrregião de Angicos.....	56
Figura 22 - Esquema dos procedimentos realizados.....	61
Figura 23 - Mapa de critérios exclusionários da microrregião de Angicos.....	62
Figura 24 - Mapa de adequabilidade da microrregião de Angicos.....	64

Figura 25 - Mapa final de adequabilidade da microrregião de Angicos.....	65
Figura 26 - Áreas adequadas.....	66
Figura 27 - Áreas aptas na visão de satélite.....	67
Figura 28 - Comparação de áreas inadequadas com critérios	68
Figura 29 - Comparação das áreas viáveis com os centros urbanos.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

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

AHP – Análise Hierárquica dos Processos

AMD – Apoio Multicritério à Decisão

DEM – Modelo de Elevação Digital

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária

ESRI – *Environmental Systems Research Institute*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC – Índice de Consistência

ICA – Índice de Consistência Aleatória

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais

Maxver – Máxima Verossimilhança

NBR – Norma Brasileira

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

PIB – Produto Interno Bruto

PMGIRS – Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos

PNRS – Plano Nacional de Resíduos Sólidos

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

QC – Quociente de Consistência

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SGBD – Banco de Dados de Gerenciamento

SIG – Sistema de Informação Geográfico

WLC – *Weighted Linear Combination*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	JUSTIFICATIVA.....	18
1.2	OBJETIVOS.....	19
1.2.1	Objetivo Geral	20
1.2.2	Objetivos Específicos.....	20
1.2.3	Estrutura da Pesquisa	20
2	REVISÃO LITERÁRIA.....	21
2.1	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICO.....	21
2.1.1	Formato Vetorial	23
2.1.2	Formato <i>Raster</i> ou Matricial.....	25
2.2	PROCESSO DECISÓRIO	26
2.2.1	Método Multicritério de Apoio a Decisão - MCDA.....	27
2.3	INTEGRAÇÃO SIG-AMD.....	28
2.4	CRIAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO	29
2.4.1	Requisitos específicos	30
2.4.2	Funcionamento do aterro sanitário.....	32
3	METODOLOGIA.....	34
3.1	TIPO DE PESQUISA	34
3.2	UNIVERSO E AMOSTRA	34
3.3	COLETA DE DADOS.....	36
3.4	TRATAMENTO DOS DADOS.....	36
4	CONSTRUÇÃO DO MODELO	38
4.1	CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO	39
4.1.1	Exclusão de áreas ambientais sensíveis	40
4.1.2	Exclusão de corpos hídricos	41
4.1.3	Distância de redes rodoviárias	42
4.1.4	Distância de áreas residenciais.....	43
4.2	CRITÉRIOS DE DECISÃO E AGREGAÇÃO	45
4.2.1	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI	46
4.2.2	Pluviometria	47
4.2.3	Declividade	49
4.2.4	Elevação	51

4.2.5 Acessibilidade.....	53
4.2.6 Solos.....	55
4.2.7 Agregação usando AHP	57
4.3 IDENTIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS POTENCIAIS	59
4.4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	61
5 RESULTADOS	62
5.1 EXCLUSÃO DOS CRITÉRIOS	62
5.2 ADEQUABILIDADE	63
5.3 COMPARAÇÃO	68
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1 INTRODUÇÃO

Atualmente com aproximadamente 7,7 bilhões de habitantes no planeta (*WORLDOMETERS*, 2018), a sociedade mundial atingiu seu ápice de produção de resíduos, consequentemente, o descarte de resíduos no meio ambiente se tornou um problema de larga escala, pois estes em sua maioria são descartados sem o mínimo de gerenciamento possível, gerando impactos negativos diretos nos ecossistemas e na sociedade moderna. Impactos estes na forma de poluição do ar, contaminação do solo e das águas, oriundos da decomposição dos materiais descartados pela população, que muitos possuem materiais tóxicos que agredem drasticamente o meio ambiente (MARQUES, 2005).

O gerenciamento adequado do descarte dos resíduos sólidos atinge diretamente as condições de vida da população, promovendo uma melhor qualidade de vida para a região assistida, outrora, uma população não beneficiada por um gerenciamento eficaz, possui um índice maior de exposição aos riscos da decomposição de resíduos, havendo, portanto, uma crescente preocupação com a saúde pública, pois seu nível de doenças perante a população é elevado, consequentemente gerando maiores gastos para o setor público (ABRELPE, 2016).

Diversos são os fatores que culminaram na necessidade de desenvolver pesquisas e principalmente sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU), dentre os quais o crescimento populacional, o uso de substâncias tóxicas para produção de bens de consumo, o elevado grau de urbanização, são alguns dos fatores relevantes para tal necessidade (SÁNCHEZ-LOZANO, *et al.*, 2016).

No Brasil, os municípios são os principais responsáveis por gerir os resíduos advindos da população, realizando a coleta por meio de uma empresa terceirizada, e descartando para o devido lugar, no entanto a população e os catadores filiados a cooperativas também são responsáveis por gerenciar estes (BRASIL, 2010).

Anteriormente a 2010 este gerenciamento era de caráter secundário perante a legislação, pois não era dada a devida importância para manuseio e descarte correto dos resíduos, sendo comum a disposição do lixo a céu aberto e em contato direto com o ser humano (DEUS; BATTISTELLE; SILVA, 2015).

Posteriormente a 2010, com a criação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) – Lei nº 12.305/2010, que reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes e ações a serem adotados com vistas à gestão integrada e

ao gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, os municípios foram obrigados a elaborar um Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PMGIRS), proibidos de descartarem resíduos em lixão a céu aberto, criarem coleta seletiva e aterros sanitários (BRASIL, 2010).

Também foram elaboradas medidas educativas que visavam ensinar a população a separar de maneira adequada o lixo já na sua residência e a importância desta atitude; os catadores tiveram que se filiar a cooperativas, foram treinados a melhorar sua produtividade e estabeleceram parceria com empresas e poder público (DEUS; BATTISTELLE; SILVA, 2015).

Nos dias atuais o gerenciamento de resíduos é um *mix* de diferentes métodos e tecnologias que objetivam aumentar ao máximo a reciclagem de materiais e diminuir os impactos dos depósitos de lixo, o método mais adotado no tratamento de resíduos atualmente é o aterro sanitário municipal, devido à sua simplicidade de aplicação (DEMESOUKA *et al*, 2014).

O problema na implantação do aterro sanitário é o processo de escolha do local, esta definição de local não está baseada em um único critério, como o seu impacto no meio ambiente e a oposição social devem ser levados em consideração, além de diversos fatores legislativos, evitam a contaminação do solo, ar e da água, restringindo a aplicabilidade do aterro. A não consideração de tais fatores podem ocasionar atrasos na construção do aterro e, conseqüentemente, o aumento de custos de construção, muitas vezes, extrapolando o orçamento (DEMESOUKA *et al*, 2014).

Uma alternativa para encontrar uma solução viável para a definição do local do aterro é a integração do Sistema de Informação Geográfico (SIG) com a metodologia de Apoio Multicritério à Decisão (AMD), conhecida como SIG-AMD. Esta integração permite a análise de dados espaciais, obtidos de um banco de dados, formados por múltiplos critérios, nos quais são dimensionados de acordo com sua devida relevância, aumentando a confiabilidade e agilidade da decisão tomada.

Pensando nesta explanação, esta pesquisa questiona se há a possibilidade de encontrar uma localização viável para implantar aterros sanitários na microrregião de Angicos/RN, que atenda as exigências cabíveis.

1.1 JUSTIFICATIVA

O crescimento populacional aumentou o consumo de alimentos e bens materiais, por consequência, a quantidade de ações e processos geradores de resíduos, também cresceram (DIAS; SALGADO, 1999). Portanto, esta geração de resíduos impacta negativamente no meio ambiente, ocasionando o aquecimento global e buraco da camada de ozônio, fazendo necessários estudos de caráter de urgência para solucionar e/ou amenizar estes problemas (MARQUES, 2005).

Diversos problemas são oriundos da má gestão dos resíduos, que são depositados diariamente a céu aberto, acarretando prejuízos para sociedade e para o meio ambiente, problemas estes que impactam negativamente o bem-estar e sobrevivência do homem (ABRELPE, 2016).

Com a criação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos os lixões passaram a ser proibidos no Brasil e tinham como meta serem erradicados até 2014, sendo substituídos por aterros sanitários que seguissem as normas ambientais e estivessem alinhados com o PNRS, além disso deveriam ser criadas pelos órgãos municipais coletas seletivas de materiais recicláveis e orgânicos por meio de cooperativas e catadores, além de instalar a compostagem para tratar os resíduos sólidos orgânicos (BRASIL, 2010).

Quantificar a geração de resíduos no Brasil é algo complexo, porque a coleta praticada pelo serviço público é informal, ou seja, apesar da existência dos contratos entre prefeitura e empresa coletora, a coleta é basicamente recolher os resíduos gerados diariamente e despejar em lixões a céu aberto, sem que haja uma quantificação dos resíduos gerados, coletados, reciclados e despejados. Isto impede que sejam gerados dados sobre as coletas (ABRELPE, 2016).

Porém de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2016), em 91% do território brasileiro é realizada a coleta de lixo, produzindo 78,3 milhões de toneladas de resíduos no país no ano de 2016, destas 41,7 milhões são direcionadas para aterros sanitários e restante são expedidos das mais diversas formas, principalmente para lixões.

Os principais impactos ambientais relacionados à disposição de resíduos são a contaminação do solo, do ar e da água. Com o passar do tempo o lixo vai se degradando e liberando substâncias capazes de alterar as características físico-

químicas do solo, tornando o ambiente altamente vulnerável a reprodução de transmissores de doenças, gerando uma ameaça à saúde pública (CEMPRE, 2000).

Se o lixo for descartado em um ambiente que seja de fácil acesso as águas pluviais, o risco de contaminação é altamente elevado, tendo em vista que existem diversas formas, durante a decomposição, dos resíduos chegarem a esses mananciais, podendo ser levado pela chuva ou até pelo lençol freático. O consumo dessas águas contaminadas pela população acarretará em problemas ao a mesma e também ao sistema de saúde da determinada região.

Não menos importante, existe o problema da poluição do ar, que se dá em virtude dos gases liberados pela decomposição dos resíduos, estes gases podem prejudicar de diversas maneiras o ser humano, ocasionando doenças respiratórias e até explosões no lixão por gases oriundos da decomposição (ABRELPE, 2016).

Além das questões ambientais advindas da disposição dos resíduos, há também os impactos relacionados a saúde dos próprios produtores de lixo, devido as diversas substâncias tóxicas e/ou materiais químicos pesados, como cromo e chumbo, e que muitas vezes são inseridas na comunidade por meio dos lençóis freáticos, solo e ar contaminado.

A exposição a estes resíduos culturalmente constitui em diversas anomalias para população, principalmente o caso de câncer em pessoas mais próximas a esses lixões (ABRELPE, 2016), como os profissionais que trabalham com o manuseio de resíduos, onde dificilmente possuem e/ou utiliza os equipamentos de proteção necessários. Estes indivíduos estão altamente vulneráveis a vírus, doenças infecciosas, lesões entre outras diversas.

Existem também os impactos socioeconômicos, visto que o serviço sanitário de determinada região tem parcela influente na determinação do IDH da mesma.

Portanto, esta pesquisa pretende contribuir para que os problemas mencionados na microrregião de Angicos/RN sejam amenizados, acarretando melhorias significativas para população em questão.

1.2 OBJETIVOS

Diante do que foi constatado, o objeto do trabalho será elaborado com propósito de atingir os seguintes objetivos:

1.2.1 Objetivo Geral

Criar um modelo de decisão espacial para a localização de aterros sanitários na microrregião de Angicos/RN.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Selecionar os dados e informações para estruturar o modelo;
- Construir os critérios de exclusão e critérios de decisão para definição do modelo;
- Construir o modelo de decisão;
- Aplicar o modelo para identificar as alternativas viáveis;
- Analisar a sensibilidade das áreas aptas.

1.2.3 Estrutura da Pesquisa

Esta pesquisa está estruturada em cinco tópicos: referencial teórico, metodologia, construção do modelo, resultados, considerações finais e referências bibliográficas. O referencial teórico abordará os conceitos pertinentes a este estudo, com os principais pesquisadores da área e suas metodologias. A metodologia descreverá os procedimentos realizados para chegar aos resultados desta pesquisa. A construção do modelo é crucial para o estudo, visto que é construído o modelo proposto nos objetivos, a fim de encontrar os resultados esperados. Nos resultados estão expostos os mapas gerados pelo modelo com a sua devida adequabilidade, propondo as melhores áreas para construção do aterro sanitário. As considerações finais completam esta pesquisa, fornecendo uma visão diferenciada dos resultados encontrados. Por fim, as referências bibliográficas é composta pelos artigos científicos que embasaram esta pesquisa.

2 REVISÃO LITERÁRIA

No decorrer deste tópico, será evidenciado os principais conceitos desta pesquisa, SIG, AMD e aterros sanitários, no qual serve de base para o entendimento do conteúdo desta obra. Também será abordado informações relevantes para a pesquisa, como os principais pesquisadores da área em estudo, externando suas visões e conceitos, bem como a legislação vigente.

2.1 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICO

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG), também conhecido como Sistema de Informação Geoespacial, é um sistema para capturar, armazenar, analisar e gerenciar dados e atributos associados, que são referenciados espacialmente para a terra (JANKOWSKI, 1995). É um sistema de informação capaz de integrar, armazenar, editar, analisar, compartilhar e exibir geograficamente informações georeferenciadas (ARONO, 1989).

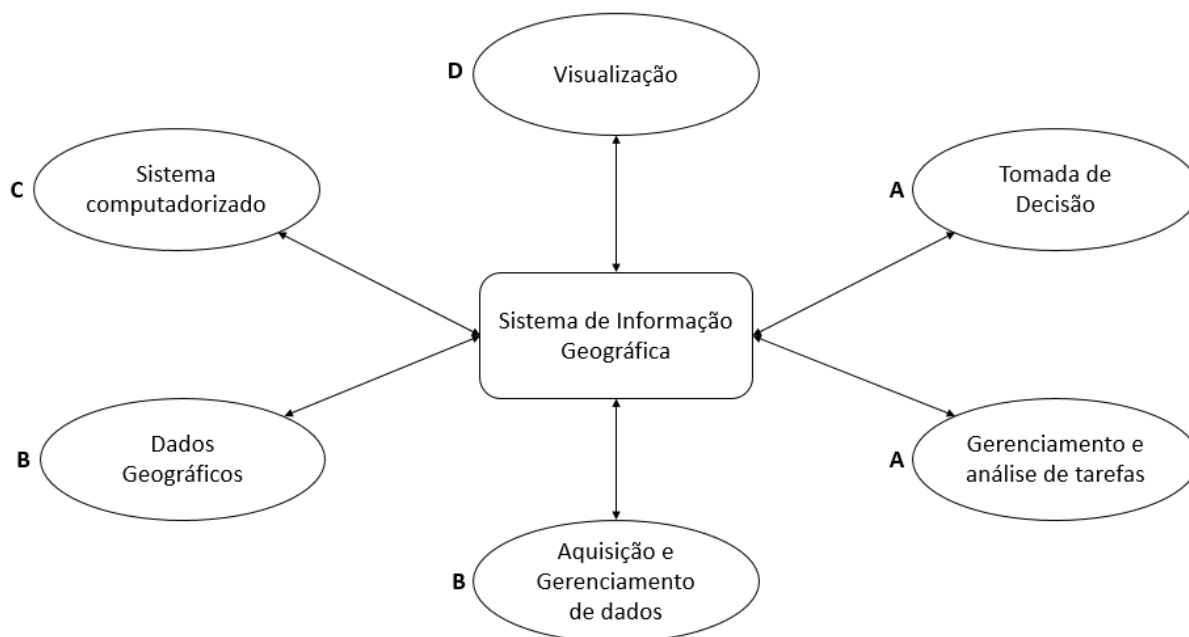
Em um sentido mais genérico, o SIG permite aos usuários criarem consultas interativas, analisar a informação espacial, editar dados, mapas e apresentar os resultados de todas essas operações (CARVER, 1991).

A ferramenta SIG está se tornando essencial, combinando vários mapas e informações de sensoriamento remoto para gerar vários modelos, que são usados no ambiente em tempo real. O SIG pode ser utilizado para investigações científicas, gestão de recursos, gestão de ativos, avaliação de impacto ambiental, planejamento urbano, cartografia, criminologia, história, vendas, marketing e logística (CARVER, 1991). Resumindo o sistema de informação geográfica é a ciência que utiliza os conceitos geográficos, aplicações e sistemas.

Os principais componentes do SIG são (a) um banco de dados sistema de gerenciamento (SGBD) (b) ferramentas para a entrada e manipulação de dados geográficos informações (c) ferramentas que suportam consulta geográfica, análise e visualização (d) a interface gráfica do usuário (GUI) para fácil acesso às ferramentas (JANKOWSKI, 1995).

Na Figura 1 é demonstrado um esquema do funcionamento do SIG, como seus componentes estão relacionados para que a ferramenta atenda aos requisitos exigidos.

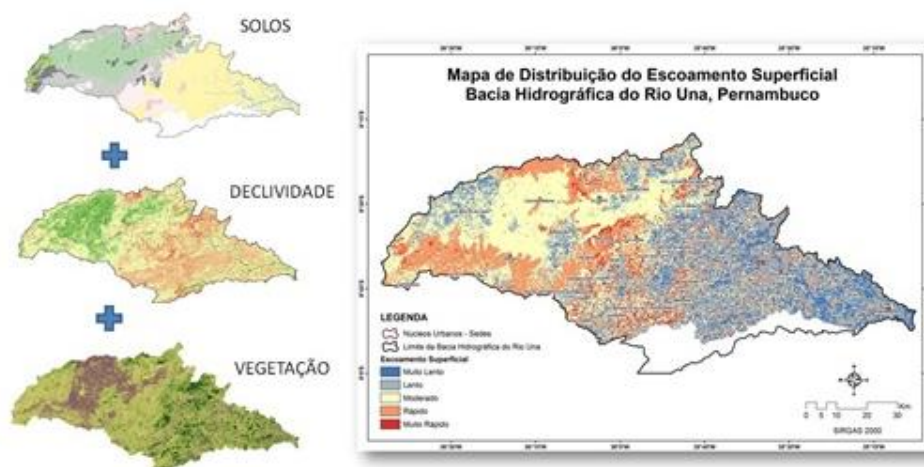
Figura 1 - Esquema de funcionamento do Sistema de Informação Geográfica



Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Pesquisadores podem usar dados geográficos para decidir sobre os melhores locais para um planejamento de culturas específicas de localização, combinando dados sobre solos, topografia e precipitação para determinar o tamanho e a localização das áreas biologicamente adequadas (FERNÁNDEZ e MORALES, 2016; MONTGOMERY *et al.* 2016). O resultado poderá incluir sobreposições como propriedade da terra, transporte, infraestrutura, disponibilidade de mão-de-obra e distância para os centros de mercado. A Figura 2 mostra um exemplo de sobreposição de mapas e um resultado.

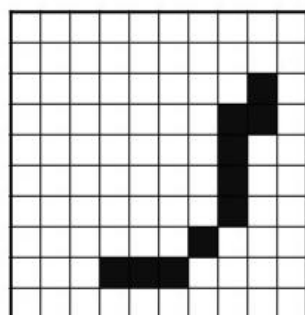
Figura 2 - Análise de sobreposições de mapas utilizando SIG



Fonte: Duarte; Corrêa; Girão (2012)

Os dados espaciais são divididos em dois formatos, o formato *raster* ou matricial e o vetorial, o primeiro é estruturado por uma matriz de grade de células e o segundo é comumente usado como um mapa de vetores ou linhas, suas representações são mostradas na Figura 3.

Figura 3 - Representação e diferença entre os formatos *Raster* e Vetorial



Representação de um
rio no formato *Raster*



Representação de um
rio no vetorial

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

2.1.1 Formato Vetorial

Uma representação de SIG em vetorial é caracterizada por utilizar um par de coordenadas, x e y, para determinar uma localização específica, porém sem dimensões espaciais, na representação mais simples é usada um simples ponto cartesiano, mas também é utilizada um conjunto de pontos para determinar uma

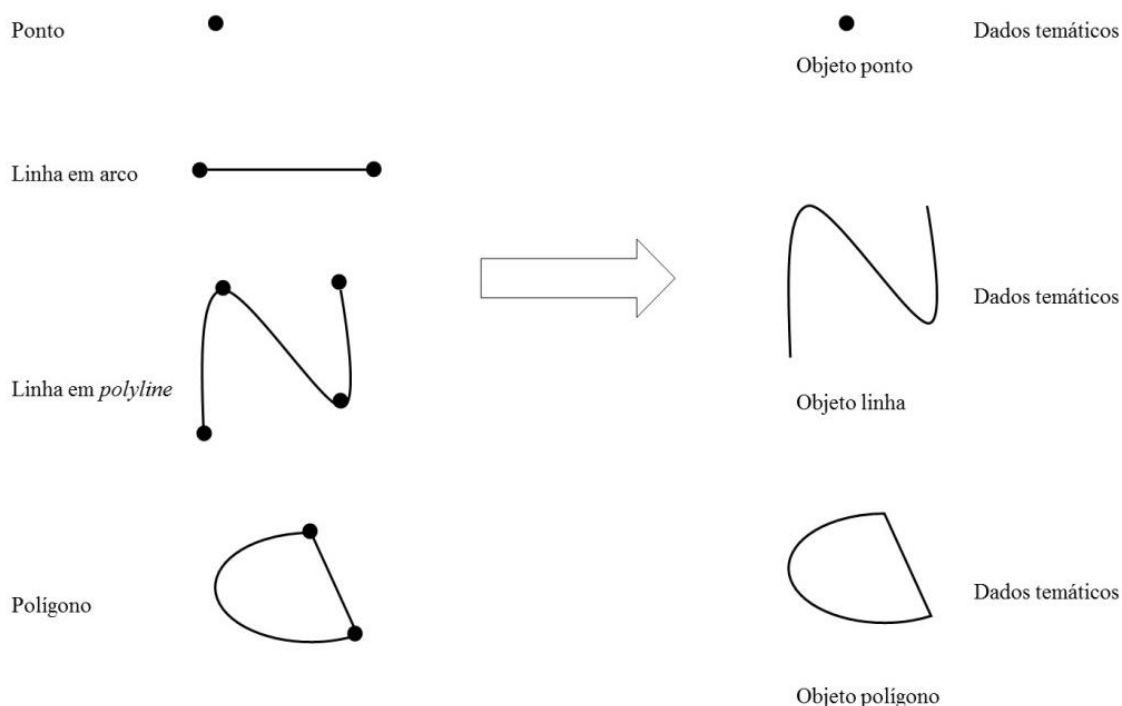
localização de maior amplitude, portanto é utilizado pontos, linhas e polígono (LAURINI e THOMPSON, 1992).

Uma representação vetorial por ponto geralmente é utilizada para representar objetos espaciais com pequenas dimensões, utilizando-se de um par de coordenadas simples (x e y) para representar determinada localização, sem considerar a área específica, como por exemplo, um poço ou lote (JANKOWSKI, 1995).

A representação por linha é característica da ligação de um conjunto de pontos interligados por segmento de reta, no qual o ponto inicial e final são chamados de nós e os intermediários de vértices, sobretudo não é dimensionada a área e largura graficamente, comumente representando rios, estradas e linhas de transmissão (LAURINI e THOMPSON, 1992).

Por fim, a representação por polígono é geralmente utilizada para representação de unidades territoriais e lagos. Sua principal característica é a coincidência do primeiro com o último par de coordenadas, formando uma área, e diferentemente das outras representações, nesta poderá associar atributos como área e perímetro (LAURINI e THOMPSON, 1992).

Em um SIG, as características geográficas são muitas vezes expressas como vetores, considerando essas características como formas geométricas, que são melhores expressas por diferentes tipos de geometria. Na Figura 4 são mostrados exemplos de formas vetoriais.

Figura 4 - Exemplos de formas vetoriais

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

2.1.2 Formato *Raster* ou Matricial

Um tipo de representação *raster* é, em essência, qualquer tipo de imagem digital, que tem o pixel como a menor unidade individual. Uma combinação desses pixels criará uma imagem (SENER *et al*, 2005). Enquanto uma imagem digital está preocupada com a saída como representação da realidade, em uma fotografia ou arte transferida para o computador, o tipo de dados *raster* refletirá uma abstração da realidade (LAURINI e THOMPSON, 1992), como mostra a Figura 5.

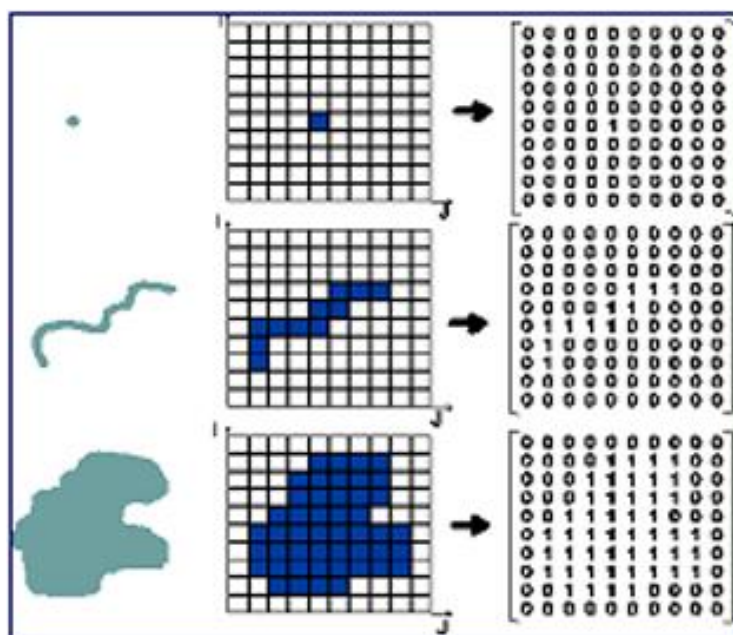
O tipo de dados *raster* consiste em linhas e colunas de células armazenando um único valor, podem ser imagens (*raster* imagens) com cada pixel contendo um valor de cor (SENER, 2005). Valores adicionais registrados para cada célula pode ser um valor discreto, como o uso da terra, um valor contínuo, como temperatura, ou um valor nulo se nenhum dado estiver disponível.

Enquanto uma célula *raster* armazena um valor único, pode ser estendido usando bandas *raster* para representar cores RGB (vermelho, verde, azul), colormaps (a mapeamento entre um código temático e valor RGB), ou uma tabela de atributos estendidos com uma linha para cada valor de célula exclusivo (LAURINI e

THOMPSON, 1992). A resolução do conjunto de dados *raster* é a largura de sua célula em unidades terrestres.

As fotos aéreas são uma forma comum de dados *raster*, com apenas um propósito, para exibir uma imagem detalhada em um mapa ou para fins de digitalização. Outros dados de quadriculação conjuntos conterão informações sobre elevação, um DEM (modelo de elevação digital) ou reflectância de um determinado comprimento de onda da luz.

Figura 5 - Exemplo da representação de um *Raster*



Fonte: Esta Pesquisa (2018)

2.2 PROCESSO DECISÓRIO

Atualmente as organizações possuem um vasto campo de informações provenientes das várias e abrangentes ferramentas de dados que se encontram no mundo globalizado (DEMESOUKA *et al*, 2014). Como estas informações não se restringem apenas a uma organização específica, o diferencial da instituição será utilizar métodos cada vez mais eficientes, eficazes e flexíveis para tomar decisões diariamente corretas com as informações que as mesmas possuem, e assim sair na frente neste mundo competitivo de estratégias organizacionais.

O processo de tomada de decisão consiste no esforço de colher informações, gerenciar e fazer escolhas para resolver problemas de objetivos conflitantes, buscando escolher a melhor alternativa possível (GOMES, GOMES E ALMEIDA,

2002). Uma tomada de decisão consideravelmente ótima requer uma solução que resolva da melhor maneira a problemática em questão do indivíduo ou do grupo (SOUZA, 2002).

Os autores acima deixam claro que o processo decisório consiste em tomar decisões que afetaram o futuro, ou seja, essas decisões precisam ser a mais confiável possível, para obter-se êxito.

2.2.1 Método Multicritério de Apoio a Decisão - MCDA

Os métodos multicritério de apoio a decisão procuram explicitar um problema e elencar alternativas a serem avaliadas por critérios para encontrar a melhor solução para o problema, porém na maioria dos casos estes critérios conflitam entre si (WERNKE E BORNIA, 2001). A solução para a problemática em questão é dada de acordo com a escala de indicadores e pesos dados para alternativas, sendo selecionada a solução mais coerente (de maior índice), pois nesta abordagem não existe solução ótima (CAMPOS, 2011).

Dentre as diversas metodologias de análise multicritério, destaca-se na literatura as principais metodologias abaixo (CAMPOS, 2011):

- Método de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchic Process*, AHP): Consiste em definir uma hierarquia entre os critérios selecionados, para alcançar o objetivo global, gerando pesos para cada alternativa.
- Os Métodos da Família ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisàint la Réalité*): Realiza expressões algébricas para modelar as preferências dos critérios, resolvendo problemas de seleção, ordenação e classificação.
- O método PROMÉTHÉE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*): Os critérios são aplicados a um sistema de relações de preferências, onde utilizam relações de pares, ou binárias, comparando o desempenho dos critérios, para posteriormente resolver problemas de ordenação.
- O Método Macbeth (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*): Orienta-se principalmente para a abordagem de problemas de seleção e de ordenação, interagindo os critérios com os tomadores de decisão.

2.3 INTEGRAÇÃO SIG-AMD

Os estudos com os Sistemas de Informação Geográfica são utilizados nas mais diversas áreas, principalmente aquelas ligadas ao uso do solo e temas espaciais. Estes estudos foram crescendo ao longo dos últimos 20 anos (CARVER, 1991; JANKOWSKI, 1995; MALCZESKI, 2006), agregado a este tema foi inserido a metodologia multicritério de apoio à decisão, sendo comumente conhecida como abordagem SIG-AMD.

A combinação destas duas abordagens é oriunda de sua sincronia, tendo em vista que o AMD define e avalia alternativas possíveis de acordo com os critérios sugeridos e o SIG proporciona critérios como distância, espaço e usabilidade, fazendo com que estas abordagens se tornem complementares.

A abordagem SIG-AMD tem um vasto campo de pesquisa, que buscam resolver os mais diversos problemas mundiais. Suas aplicações estão na área de planejamento de políticas de segurança pública (FIGUEIREDO *et al.* 2016); Geração de energia sustentável (SÁNCHEZ-LOZANO *et al.* 2016); Planejamento agrícola e biodiversidade do solo (FERNÁNDEZ e MORALES, 2016; MONTGOMERY *et al.* 2016).

Recentemente a abordagem SIG-AMD vem sendo aplicada para melhoria da saúde pública, mas precisamente nas melhores condições sanitárias da região. Os estudos buscam atender a legislação vigente para propor a região mais adequada para implantação de um aterro sanitário (VASILJEVIC *et al.*, 2011; SENER *et al.*, 2005; TORABI-KAVEH *et al.*, 2016). A crescente aplicação desta abordagem é interessante, pois considera as características espaciais, como o tipo de solo, que é importante aspecto na criação de um aterro sanitário.

Observando a literatura, entende-se que no processo de análise da integração SIG-AMD, Malczewski (2006) faz um levantamento da evolução literária de estudos na área, quantificando de 1990 a 2004 as pesquisas publicadas nas principais revistas internacionais. Já Demesouka *et al.* (2014) nos proporciona uma revisão das metodologias e critérios implementados pelos diversos autores no processo decisório de escolha de um local para implantação de um aterro sanitário, fornecendo um guia completo para os critérios de análise.

Baseado principalmente nestes dois levantamentos bibliográficos mencionados, esta pesquisa optou pelo método de Análise Hierárquica de

Processos, tendo em vista que a mesma é a mais utilizada pelos autores da área, tendo também facilidade em ser implementada.

2.4 CRIAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

A implantação de um aterro sanitário requer a avaliação e atendimento de vários requisitos mínimos que devem ser adotados para que os impactos ambientais gerados com o aterro sejam os mínimos possíveis. Estes requisitos são especificados na Lei nº 12.305/2010, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Dentre as exigências cabíveis estão as de aspectos ambientais, técnicos e socioeconômicos (BRASIL, 2010).

Inicialmente é realizado um estudo para seleção do local apropriado; com o local selecionado é iniciado o projeto civil, o solo é perfurado para verificar se não é arenoso demais e calcular o limite de escavação, que terá a distância mínima de 1,5 metros do lençol freático de acordo com a NBR 10.157; logo em seguida é realizada a compactação da terra, onde é colocada uma camada de polietileno, areia e brita, por onde passam os líquidos e gases liberados pelo lixo (CEMPRE, 2000).

Para drenar o líquido (chorume) são instaladas calhas de concreto a cada 20 metros que deslocam o líquido até as estações de tratamento, para posteriormente serem jogados na rede de esgoto; já os gases são captados por tubos verticais com vários furos, para que o gás entre por eles e subam pelos canos até a superfície, parecendo uma chaminé (CEMPRE, 2000).

Cada camada de aterro tem 5 metros de altura: 4 metros de lixo e 1 metro de terra, brita e manta de polietileno (CEMPRE, 2000). Toda área do aterro sanitário deve ser cercada para evitar que entre lixo ou pessoas não autorizadas clandestinamente (DEMAJOROVIC, 1995).

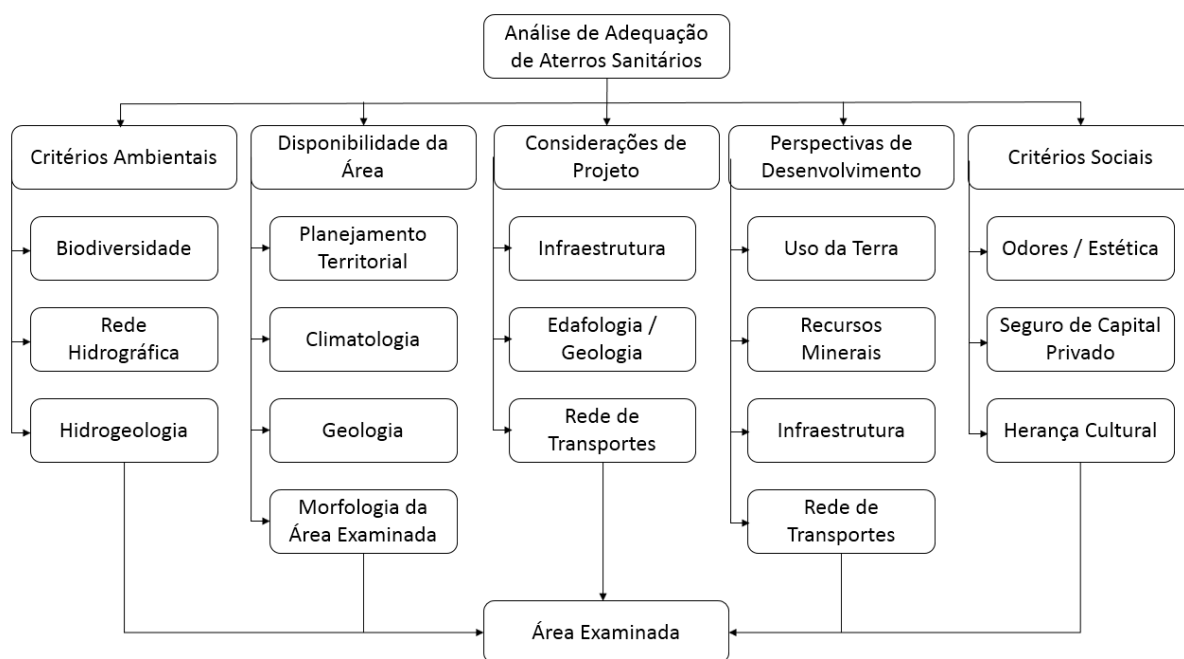
Existe uma complexidade para elaboração e criação de um aterro sanitário, porém a primeira etapa que é a escolha da área é crucial e uma das principais dificuldades enfrentadas pelos municípios, principalmente porque uma área, para ser considerada adequada, deve reunir um grande conjunto de condições técnicas, socioeconômicas e ambientais, que demandam o conhecimento de um grande volume de dados e informações, normalmente indisponíveis para as administrações municipais (DIAS; SALGADO, 1999)

2.4.1 Requisitos específicos

Diversos são os requisitos para conseguir a autorização para implantação de um aterro sanitário, como requisitos técnicos, licença ambiental, documentação municipal, estadual e nacional, dentre outros. O PNRS dispõe de todos os documentos e passo a passo necessário para criação de um aterro sanitário.

A literatura sobre o tema: “a criação de aterros sanitários envolvendo modelos de decisão espacial com múltiplos critérios” versa sobre vários autores. Malczewski (2006) e Demesouka *et al* (2014) fazem uma revisão literária dos artigos mais relevantes da área e citam os principais requisitos utilizados. Os critérios são divididos em cinco áreas que abrange todas as funções de instalação de um aterro sanitário. A Figura 6 esquematiza as áreas e critérios para adequação de aterros sanitários, já a Tabela 1 são listados todos os critérios e subcritérios utilizados por mais de 30 autores que desenvolveram pesquisas sobre o tema, indicados no estudo de Demesouka, 2014. Vale salientar que os subcritérios é o somatório de todos os critérios em comum nos artigos publicados, em cada artigo são utilizados em média 13 subcritérios.

Figura 6 - Fluxograma dos critérios de adequação de aterros sanitários



Fonte: Adaptado Demesouka *et al* (2014)

Tabela 1 - Classificação dos critérios para criação de um aterro sanitário

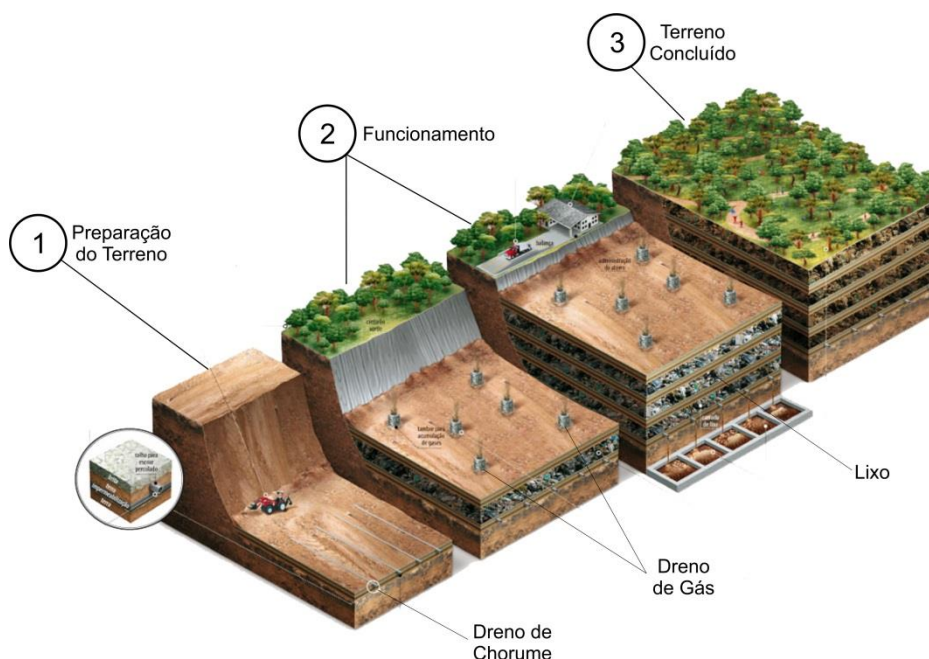
Área	Crítérios	Subcritérios
Crítérios Ambientais	Biodiversidade	Áreas Ambientalmente Sensíveis
		NVDI
	Rede Hidrográfica	Proteção de Suprimentos de água
		Proteção de águas superficiais
	Hidrogeologia	Proteção de Recursos Hídricos Subterrâneos
		Permeabilidade do solo
		Tipos de solo
Disponibilidade da Área	Planejamento Territorial	Uso da Terra
		Custo de Aquisição da Terra
		Áreas em Desenvolvimento
	Climatologia	Pluviometria
		Temperatura
	Geologia	Profundidade para Alicerce
		Textura do Solo
	Morfologia	Declividade
		Elevação
		Nível da Planície Aluvial
		Capacidade do Aterro
Projeto	Infraestrutura	Distância de Aeroporto
	Edafologia / Geologia	Disponibilidade de Material de Cobertura
		Riscos Sísmicos
		Distância de áreas de invasão de água salgada
	Rede de Transportes	Acessibilidade
Perspectivas de Desenvolvimento	Uso da Terra	Rede de Irrigação
		Indústrias de Exploração Mineral e Reservas Ambientais
		Distância de Fronteiras Nacionais
	Recursos Minerais	Exploração de Recursos Minerais
	Infraestrutura	Presença de Infraestrutura Pública
Crítérios Sociais	Rede de Transporte	Rede de Transporte
	Odores / Estética	Degradação Ambiental
		Proteção Contra Ventos Fortes
		Poluição do Ar
		Ausência de intrusão óptica direta
	Seguro de Capital Privado	Distância de Áreas Residenciais
		Distâncias de propriedades privadas adjacentes
	Herança Cultura	Locais Históricos e Culturais

Fonte: Adaptado Demesouka *et al* (2014)

2.4.2 Funcionamento do aterro sanitário

O funcionamento adequado de um aterro sanitário consiste em três fases: a preparação do terreno, o pleno funcionamento e o esgotamento do terreno, ou terreno concluído, como mostra na Figura 7.

Figura 7 - Ilustração de um Aterro Sanitário



Fonte: Adaptado Marinho (2018)

A primeira fase concentra todos os esforços para atender a legislação vigente e contruir o aterro da melhor forma possível. Começando pela terraplanagem do terreno, compactação do solo e inserção dos dutos de captação de gás e de chorume (líquido liberado do lixo), além das camadas de proteção (BRASIL, 2010).

No funcionamento pleno de um aterro sanitário, é realizada a pesagem do caminhão de lixo em balanças específicas, para quantificar a quantidade de lixo que será inserida no aterro; logo em seguida é despejado o lixo no terreno preparado sucessivas vezes até que o mesmo atinja quatro metros de altura (limite máximo da camada), quando chega a este limite é compactada outra camada de terra, brita e polietileno sob o lixo e assim se obterá uma nova cama de despejo de lixo (DEMAJOROVIC, 1995). Em cidades pequenas, o lixo é de três camadas, mas em metrópoles chega a 20 camadas (DEMAJOROVIC, 1995).

Os gases e líquidos são liberados pelos dutos instalados, o gás é queimado e o líquido tratado e despejado na rede de esgoto; Todo aterro sanitário possui um

setor de gerenciamento que controla os níveis do aterro, aproveitando o máximo a área (CEMPRE, 2000).

A terceira fase ocorre quando a capacidade do aterro sanitário chega ao limite, então é preciso fechá-lo. Geralmente dá-se origem a áreas verdes de conservação (DEMAJOROVIC, 1995).

3 METODOLOGIA

No tópico presente será exibida toda metodologia utilizada no decorrer da pesquisa que proporcionou alcançar os objetivos almejados, como tipo de pesquisa, universo e amostra, procedimento de coleta de dados e o tratamento dos dados.

3.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa em questão levando em conta os procedimentos utilizados caracteriza-se como sendo de natureza experimental, uma vez que os dados coletados são de bancos de dados e levantamentos de estudos de campo. Quanto ao nível de profundidade, está classificada como pesquisa exploratória, haja vista que a mesma pretende possibilitar uma maior experiência com o problema proposto, e propor melhorias para população em questão. O procedimento utilizado na pesquisa é o estudo de caso, que é um conhecimento de natureza baseado na experiência, usado quando as fronteiras entre o contexto e o acontecimento não são definidamente claras; considera também a existência real de um determinado acontecimento atual (MIGUEL, 2007). A pesquisa bibliográfica é feita a partir de livros e artigos científicos publicados em revistas eletrônicas e/ou impressos por editoras, no qual os mesmos já foram previamente analisados (FONSECA, 2012).

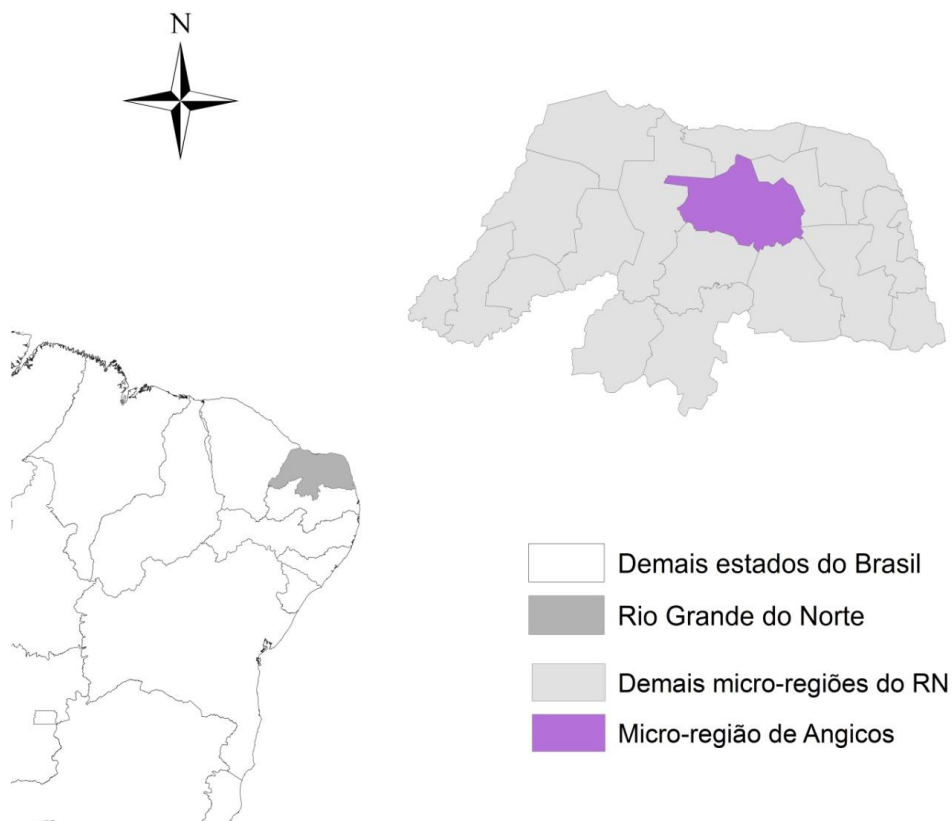
O presente trabalho iniciou com uma pesquisa bibliográfica, para assim conhecer profundamente e de forma aprimorada o assunto abordado. Foi usado o Portal de Periódicos CAPES, para acessar a base *Web of Science* e obter os artigos que serviram de aporte para a realização do estudo. Logo em seguida, foi analisado a legislação em vigor. Neste mesmo período, foram feitas novas pesquisas bibliográficas e a conclusão da aplicação do estudo.

3.2 UNIVERSO E AMOSTRA

A Microrregião de Angicos possui uma área territorial de 4.079,97 km², segundo o IBGE, (2017), abrange os municípios de Angicos, Afonso Bezerra, Caiçara do Rio do Vento, Fernando Pedroza, Jardim de Angicos, Lajes, Pedra Preta e Pedro Avelino. Está situada no Rio Grande do Norte e pertence a

mesorregião Central Potiguar. Sua população foi estimada em 2017 pelo IBGE em 53.321 habitantes. Na Figura 8 é exposta a região a ser estudada.

Figura 8 - Microrregião de Angicos/RN



Fonte: Esta Pesquisa (2017)

Por estar situada no semiárido, região de baixo índice pluviométrico, a Microrregião de Angicos possui uma economia baseada na agricultura familiar, destacando a criação de animais, apicultura e principalmente atividades agrícolas antigas e tradicionais de produção, sem o uso de modernas tecnologias, também se destaca a caprinocultura, produção de gado leiteiro e piscicultura (FORBELONI, 2014). O Índice de Desenvolvimento Humano - IDH da região é de 0,590 segundo o PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento), classificado como médio desenvolvimento humano. O PIB da região é de R\$ 116.140.581,00 (cento e dezesseis milhões cento e quarenta mil e quinhentos e oitenta e um reais) com PIB per capita de R\$ 2.306,78 (dois mil trezentos e seis reais e setenta e oito centavos) segundo o IBGE. É possível analisar detalhadamente estes dados na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados dos municípios que compõe a microrregião de Angicos

Município	Área (km²)	População	IDH
Afonso Bezerra	576,18	11.211	0,585
Angicos	741,582	11.909	0,624
Caçara do Rio do Vento	261,194	3.680	0,587
Fernando Pedroza	322,628	3.072	0,597
Jardim de Angicos	254,022	2.663	0,565
Lajes	676,625	11.316	0,624
Pedra Preta	294,985	2.532	0,558
Pedro Avelino	952,754	6.938	0,583
TOTAL	4.079,970	53.321	0,590

Fonte: IBGE (2017)

3.3 COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados a partir de dois bancos de dados. Primeiro, foram considerados as informações sociais e econômicas disponíveis no acervo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Neste mesmo sítio, serão coletados os arquivos *shapefile* contendo as delimitações territoriais do objeto de estudo.

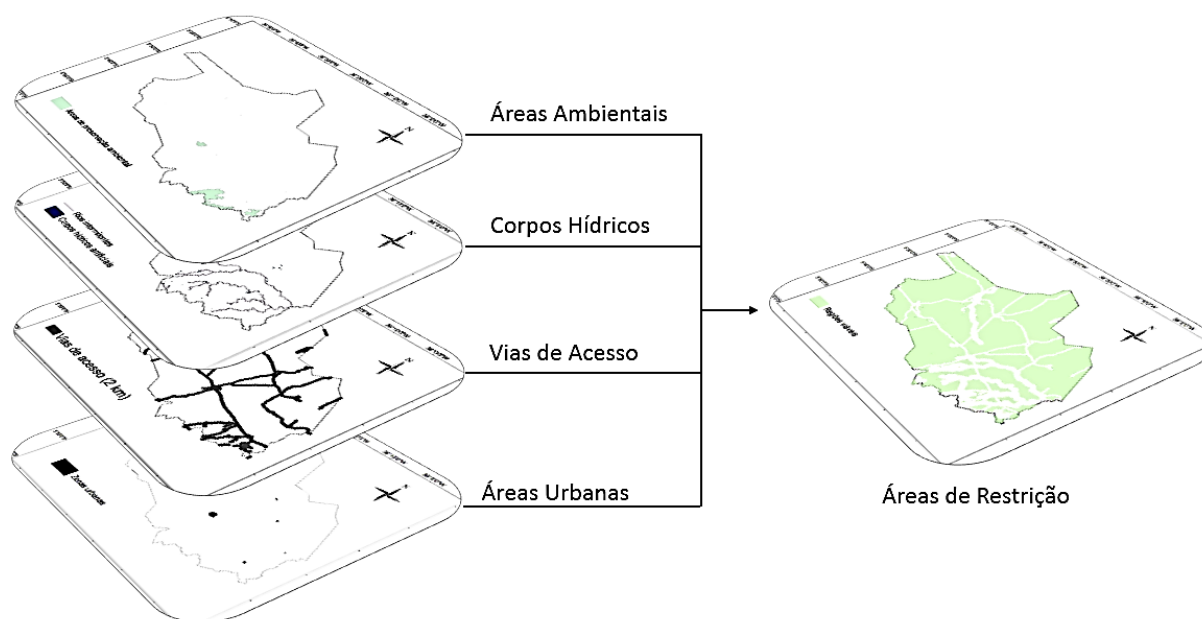
Do segundo banco de dados serão extraídos os dados referentes as imagens de satélite da região escolhida. Estas imagens serão usadas para gerar dados secundários referentes as características físicas da região, o que inclui: declividade do terreno, tipo de solo e caracterização da biomassa presente. Estas informações serão coletadas no sítio do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE).

3.4 TRATAMENTO DOS DADOS

Para o processamento de dados foi utilizado o *software* ArcGIS® (ESRI). Essencialmente o mesmo apresenta diversas funcionalidades de informação geográfica, como criação, visualização e edição de mapas, compilações de dados geográficos e gerenciamento de informações geográficas de bancos de dados.

Gerou-se mapas temáticos para cada tipo de restrição determinada, visualizando as áreas aceitas e restritas com base nos critérios predefinidos. Posteriormente a identificação dos critérios de exclusão, agregação e obtenção do mapa contendo as áreas mais adequadas. Para performance do mapa final foi realizada operações booleanas para que se chegasse a uma ou mais intersecção de áreas aptas, até se chegar a definição de áreas que atendem simultaneamente todos os critérios, como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Esquema do cruzamento de mapas temáticos

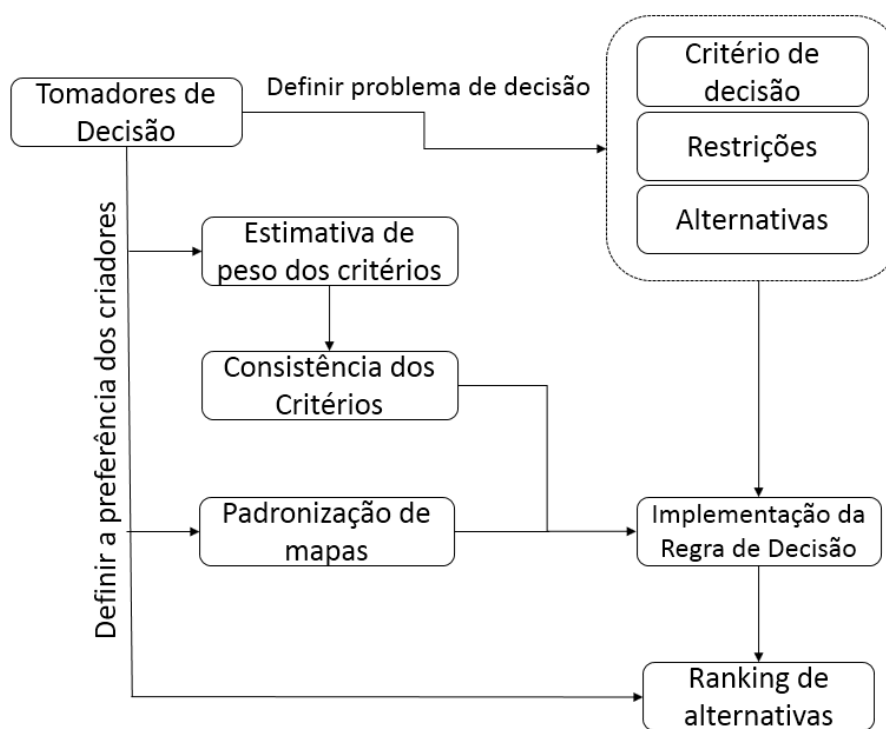


Fonte: Esta Pesquisa (2017)

4 CONSTRUÇÃO DO MODELO

A tomada de decisão relacionada ao Sistema de Informação Geográfica é caracterizada por uma sequência de ações que protege os tomadores de decisão de resultados duvidosos na escolha final (CARVER, 1991). Essa abordagem consiste em um conjunto de atividades que visam decompor os problemas de decisão em partes, considerando a importância relativa dos critérios e visando solucionar problemas conflitantes, sendo eles estruturados ou semi-estruturados (MALCZEWSKI, 2006). O quadro metodológico confeccionado por Simon (1960) e adaptado para esta pesquisa, distingue os procedimentos de tomada de decisão em quatro fases, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Processo de tomada de decisão



Fonte: Adaptado Anagnostopoulos *et al* (2010)

Primeiramente é identificado as árvores de decisão e quais as restrições do modelo. A árvore de decisão agrega o objetivo final a ser alcançado e os critérios a serem analisados, para atingir o melhor resultado que viabilize o objetivo; já as restrições são os critérios que inviabilizam o resultado, para isto é necessário elencar os critérios de exclusão, são eles que limitam o modelo (ANAGNOSTOPOULOS *et al*, 2010). Posteriormente, são analisados os critérios de decisão e agregação. Estes critérios são comparados entre si, afim de encontrar a

importância relativa de cada um deles (ANAGNOSTOPOULOS *et al*, 2010). Geralmente a análise destes critérios é realizada com dados subjetivos, portanto é necessário o tomador de decisão buscar ferramentas que mensurem tal, como a literatura da área e legislação específica (MALCZEWSKI, 2006).

Com a informação em mãos é necessário encontrar as alternativas potenciais e mensurar quais as soluções viáveis para o problema, portanto são realizadas sobreposições booleanas entre os mapas, no qual é possível encontrar as áreas mais adequadas, pois retrata a interação entre os critérios e satisfaz os objetivos da análise; vale ressaltar que no mapa final de adequação (Figura 25), é retirado as restrições do problema, procedimento realizado por diversos autores da área (DEMESOUKA *et al*, 2013; YILDIRIM, 2012; ANAGNOSTOPOULOS *et al*, 2010).

Finalmente, uma análise de sensibilidade é realizada para determinar a coerência da solução final quando a importância relativa da análise de critérios varia. A principal vantagem derivada da integração SIG-AMD é demonstrada pelo potencial de ajudar a construir consenso e reduzir conflitos durante o processo de implantação (DEMESOUKA *et al*, 2014).

4.1 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

O grupo que compõe os critérios de exclusão, são aqueles que não apresentam condições mínimas perante a legislação vigente para adequação e construção de um aterro sanitário, são variáveis que limitam as alternativas possíveis, excluindo-as das soluções viáveis, basicamente é o somatório das áreas inadequadas e suas zonas protetivas (ANAGNOSTOPOULOS *et al*, 2010). Este procedimento é realizado para simplificar o processo de tomada de decisão do indivíduo.

Nesta fase inicial são considerados como critérios de exclusão os classificados na Tabela 3, que não atende os requisitos técnicos para construção do aterro. Exemplificando esta exclusão, é indicado pela norma NBR 10.157/1987 que a distância que um aterro sanitário deve ter de áreas residências é no mínimo 500 metros, sendo assim é selecionado a área urbana e criado uma zona protetiva de 500 metros em volta da área, excluindo toda área em questão e limitando o modelo.

Tabela 3 - Critérios de exclusão para seleção do aterro

Critérios Autores	Distância de áreas ambientais sensíveis	Distância de corpos hídricos	Distância de redes rodoviárias	Distância de Áreas Residenciais
Demesouka et al. (2013)	0,5 km	0,5 km	0,5 km	0,5 km
Yildirim (2012)	1 km	0,5 km	0,075 km	1 km
Sener et al. (2005)	0,15 km	0,5 km	0,5 km	0,1 km
Gemitizi et al. (2007)	0,5 km	0,5 km	0,5 km	0,5 km
Charnpratheap et al. (1997)	0,05 km	0,3 km	0,1 km	1 km
Kao e Lin (1996)	0,7 km	0,18 km	1 km	Exclusão
NBR 10.157/1987	Exclusão	0,2 km	Exclusão	0,5 km
Média	0,5 km	0,35 km	0,5 km	0,6 km

Fonte: Adaptado Demesouka et al (2014)

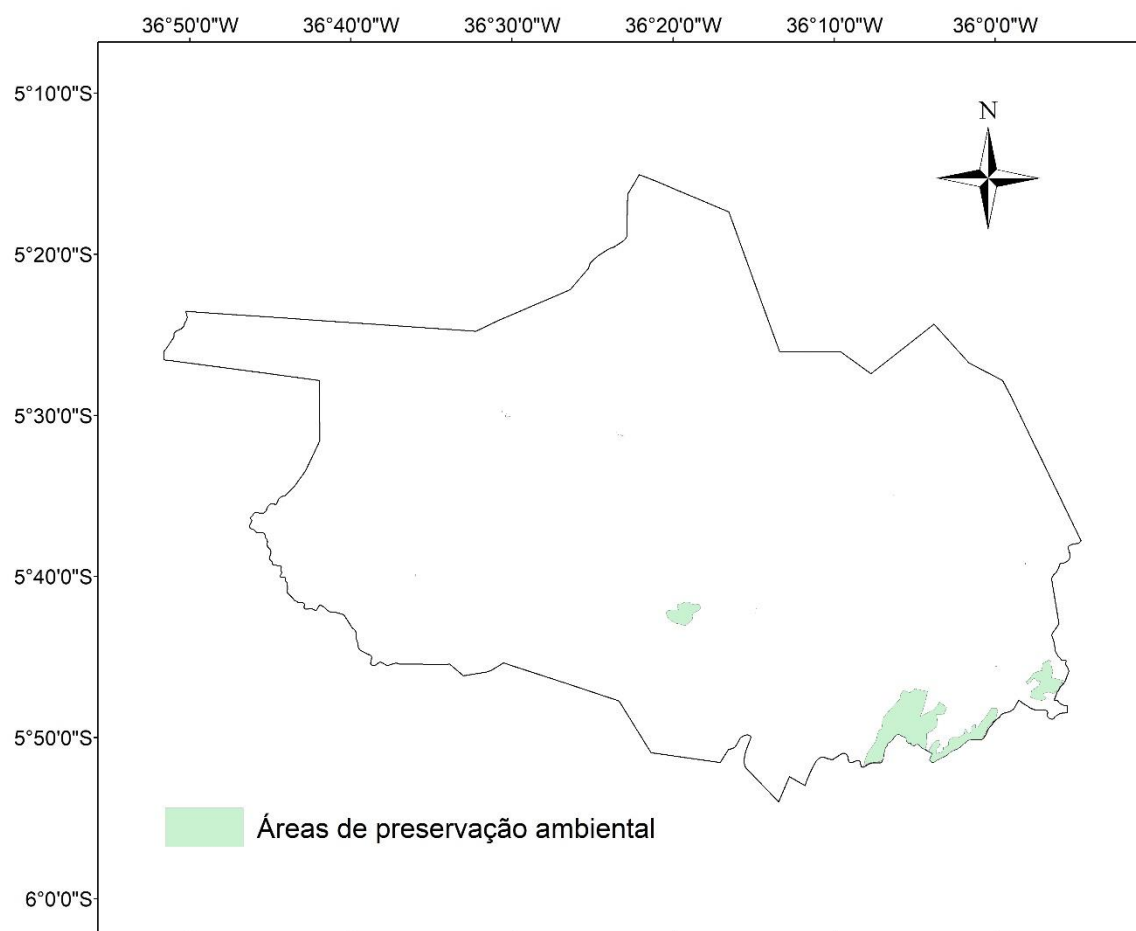
4.1.1 Exclusão de áreas ambientais sensíveis

Este critério registra a distância mínima que um aterro deve ter de áreas ambientalmente protegidas ou sensíveis para garantir a proteção dessas áreas. A definição de áreas ambientais inclui as que retratam um interesse ecológico excepcional para a conservação da natureza, incluindo áreas protegidas por leis nacionais ou convenções internacionais (NBR 10.157, 1987).

Embora a implantação de aterros sanitários exija apenas a exclusão de áreas de proteção ambiental, é comum formar zonas protetivas, que variam de 50 metros a 1 km (CHARNPRATHEEP et al., 1997; YILDIRIM, 2012), em torno de áreas protegidas, evita-se a criação de obstruções legislativas e de aceitação, devido à potencial degradação da área.

A zona protetiva média da distância necessária em torno de áreas protegidas resultante da Tabela 3, é de 500 metros, sendo considerada inadequada para a implantação do aterro sanitário, porém nesta pesquisa foi utilizado a distância de 1 km destas áreas, assumindo uma margem considerável e evitando possíveis rejeições. A Figura 11 mostra as áreas excluídas, que no mapa esta na cor verde.

Figura 11 - Áreas ambientalmente sensíveis da microrregião de Angicos



Fonte: Esta Pesquisa (2018)

4.1.2 Exclusão de corpos hídricos

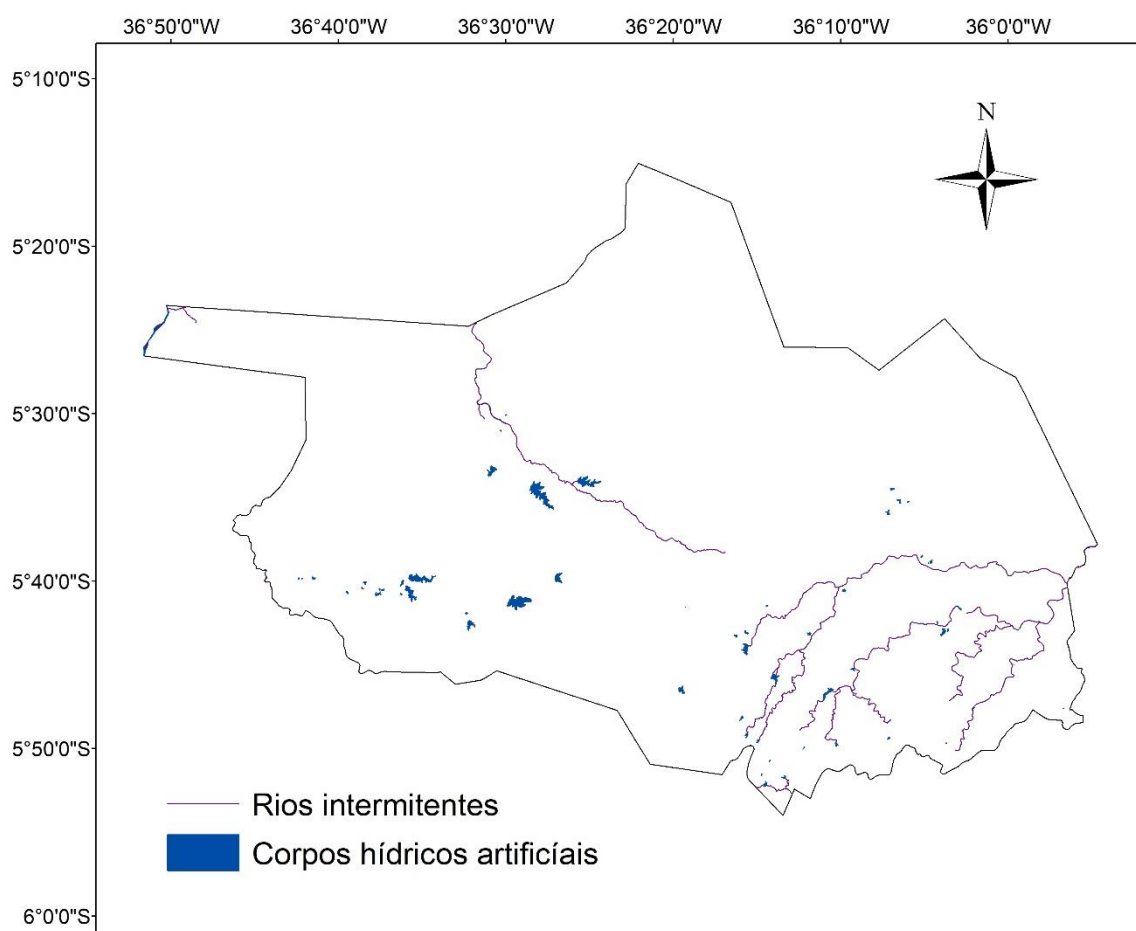
Este critério considera a distância necessária que um aterro deve ter de qualquer tipo de concentração de água superficial (lagos, rios, córregos, pântanos, lagoas, reservatórios), onde não há legislação existente, a decisão é tomada de acordo com as percepções do pesquisador pela formação de distâncias de proteção de corpos de água de superfície, com base no tamanho da bacia hidrográfica (CHANG *et al.*, 2008). Porém, no Brasil, existe a norma NBR 10.157 de 1987 indicando que a distância mínima é de 200 metros.

Para seleção destas águas foi realizada a classificação de aprendizagem da máximo verossimilhança, conhecida como Maxver, é uma técnica frequentemente utilizada para tratamento de dados de satélite (PREVIDELLI, 2004). A Maxver considera a classificação dos *pixels*, onde um não sobressai sobre outro,

ponderando as distâncias médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos (RICHARDS, 1993).

A Tabela 3 nos dá uma média de 0,35 km de distância dessas áreas, e nesta pesquisa será analisado uma distância de 1 km. A Figura 12 mostra todas as águas superficiais encontradas via satélite de acordo com a técnica Maxver, com isso são geradas zonas protetivas para serem excluídas das soluções viáveis.

Figura 12 - Corpos hídricos da microrregião de Angicos



Fonte: Esta Pesquisa (2018)

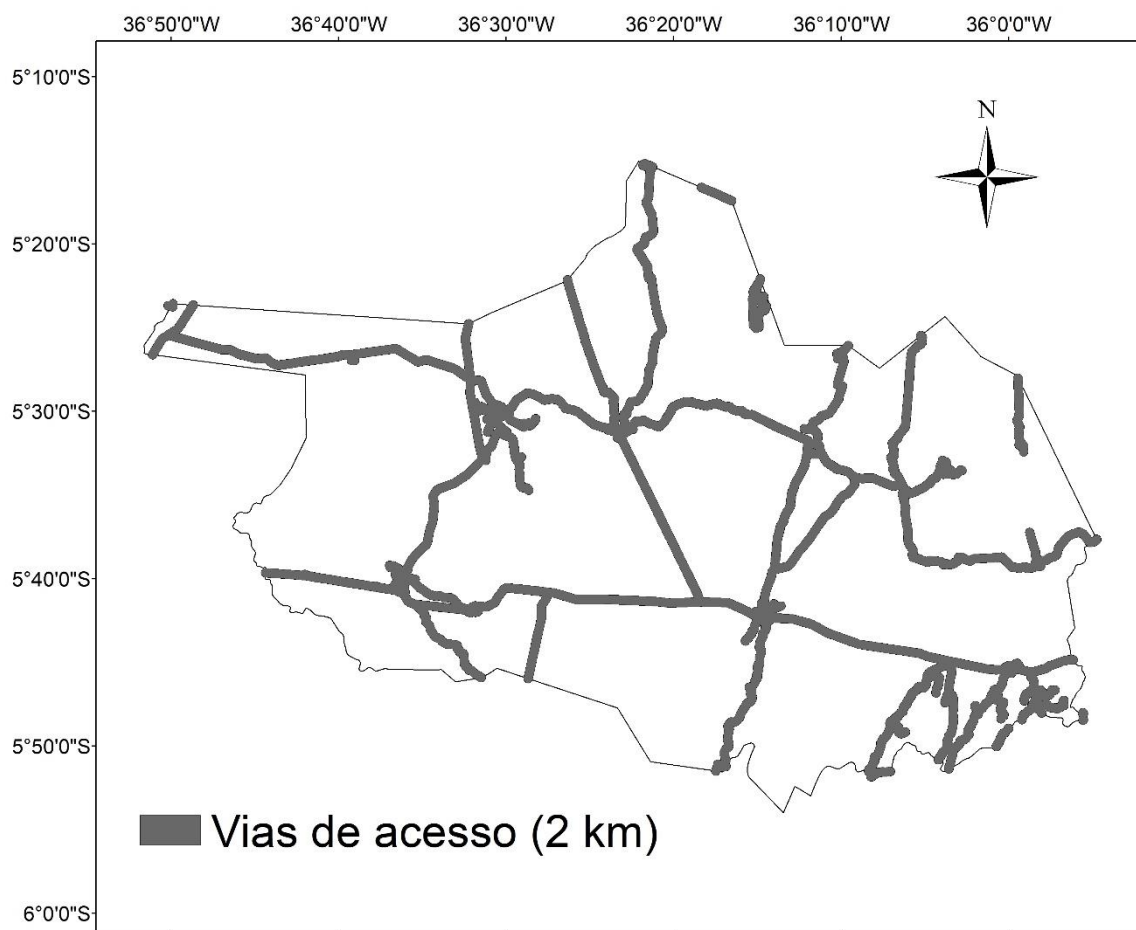
4.1.3 Distância de redes rodoviárias

De acordo com este critério, a localização do aterro é permitida apenas em áreas a uma distância segura de todos os tipos de redes de transporte (por exemplo, rodovias, estradas principais, ferrovias) para evitar a visibilidade (MOEINADDINI *et al.*, 2010). A NBR 10.157/87 indica apenas a exclusão das áreas pertencentes a rede de transporte, pois nas suas laudas também indica que o acesso ao aterro

deve ser realizada por estradas já construídas, com o intuito de amenizar os custos de construção.

Não há regra unânime para a formação de zonas de exclusão, na maioria dos casos, a distância varia de 0,075 a 1 km das redes de transporte (KAO E LIN 1996, YILDIRIM, 2012). Para esta pesquisa foi criado uma zona de 2 km em torno destas áreas, porque ameniza uma possível rejeição da população e mudança estética da paisagem. A Figura 13 mostra todas as estradas da microrregião de Angicos, juntamente com as zonas de exclusão criadas, consequentemente, excluídas das áreas viáveis.

Figura 13 - Redes rodoviárias da microrregião de Angicos



Fonte: Esta Pesquisa (2018)

4.1.4 Distância de áreas residenciais

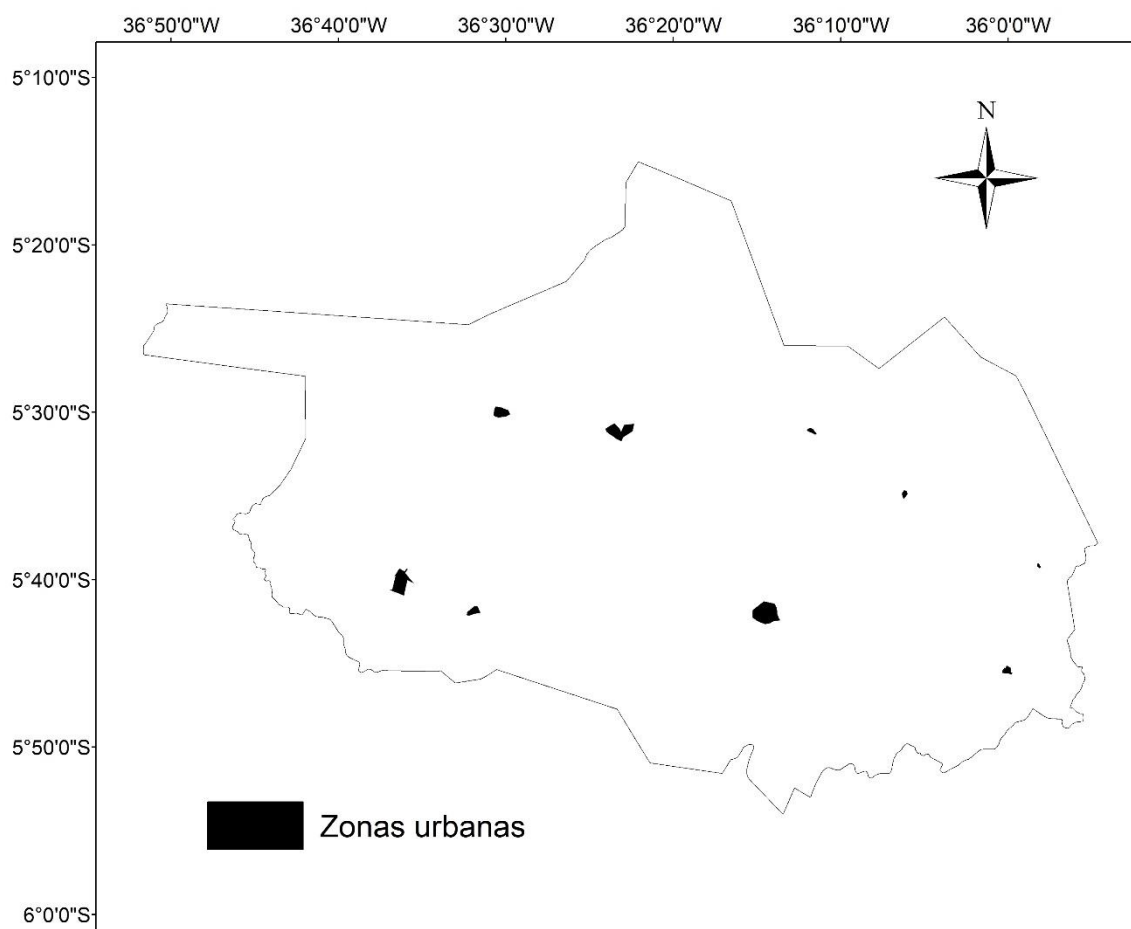
Este critério visa selecionar áreas residenciais e formar zonas em torno das delas, para excluí-las das áreas viáveis, tendo em vista que pela norma NBR 10.157

de 1987, que determina as condições para criação de um aterro sanitário, enfatizando a distância mínima dos núcleos populacionais são de 500 metros, afim de evitar transtornos para população local, assegurando uma análise favorável contra a insatisfação pública, que pode ser provocada por intrusão óptica e preocupações com a saúde, além do desenvolvimento urbano e à deterioração do valor da terra (CHANG *et al.*, 2008).

Portanto as áreas longe de população são consideradas os locais mais adequados para a implantação de aterros sanitários, porém deverá encontrar um meio termo, pois um aterro muito distante dos produtores de resíduos acarreta maiores gastos com transporte e acesso (KAO E LIN 1996).

A Figura 14 mostra as áreas urbanas dos nove municípios que compõe a microrregião de Angicos, onde serão todas excluídas, juntamente com suas zonas de exclusão como indica a NBR 10.157/87, porém nesta pesquisa foi utilizado a distância de 1 km das zonas urbanas.

Figura 14 - Áreas residenciais da microrregião de Angicos



Fonte: Esta Pesquisa (2018)

4.2 CRITÉRIOS DE DECISÃO E AGREGAÇÃO

As pesquisas de seleção de aterros estão sujeitas as normas nacionais e internacionais das áreas envolvidas (SENER *et al.*, 2005). Neste sentido, os critérios de decisão e agregação considerados nesta pesquisa estão divididos em três áreas: critérios ambientais, disponibilidade da áreas, e considerações de projeto. Esses critérios foram selecionados de acordo com a disponibilidade de informações existentes, de pesquisadores da área e principalmente da legislação brasileira.

Os critérios de decisão e agregação são usados para classificar os demais locais de acordo com as preferências dos tomadores de decisão em relação à sua aptidão. Os pesos foram avaliados levando-se em conta a viabilidade e possibilidade de modificar as condições naturais dos locais por intervenção de engenharia apropriada, de modo a potencializar sua adequação (DELGADO *et al.* 2008; CHANG *et al.*, 2008).

Nesta pesquisa, foram elencados seis sub critérios para avaliação de adequabilidade de aterros sanitários, que inclui os principais parâmetros no estudo de implantação de aterros sanitários (NVDI, pluviometria, declividade, elevação, vias de acesso e tipo de solo), como mostra a Tabela 4. Estes sub critérios são discutidos abaixo:

Tabela 4 - Classificação dos critérios analisados

Área	Critério	Sub Critério	Prioridade Relativa (%)	Pesos WLC
Critérios Ambientais	Biodiversidade	NVDI	32,54	2
Critérios Ambientais	Hidrogeologia	Solos	22,12	3
Disponibilidade da área	Climatologia	Pluviometria	3,15	1
Disponibilidade da área	Morfologia	Declividade	10,03	4
Disponibilidade da área	Morfologia	Elevação	10,03	5
Projeto	Rede de Transporte	Acessibilidade	22,12	8

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

4.2.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI

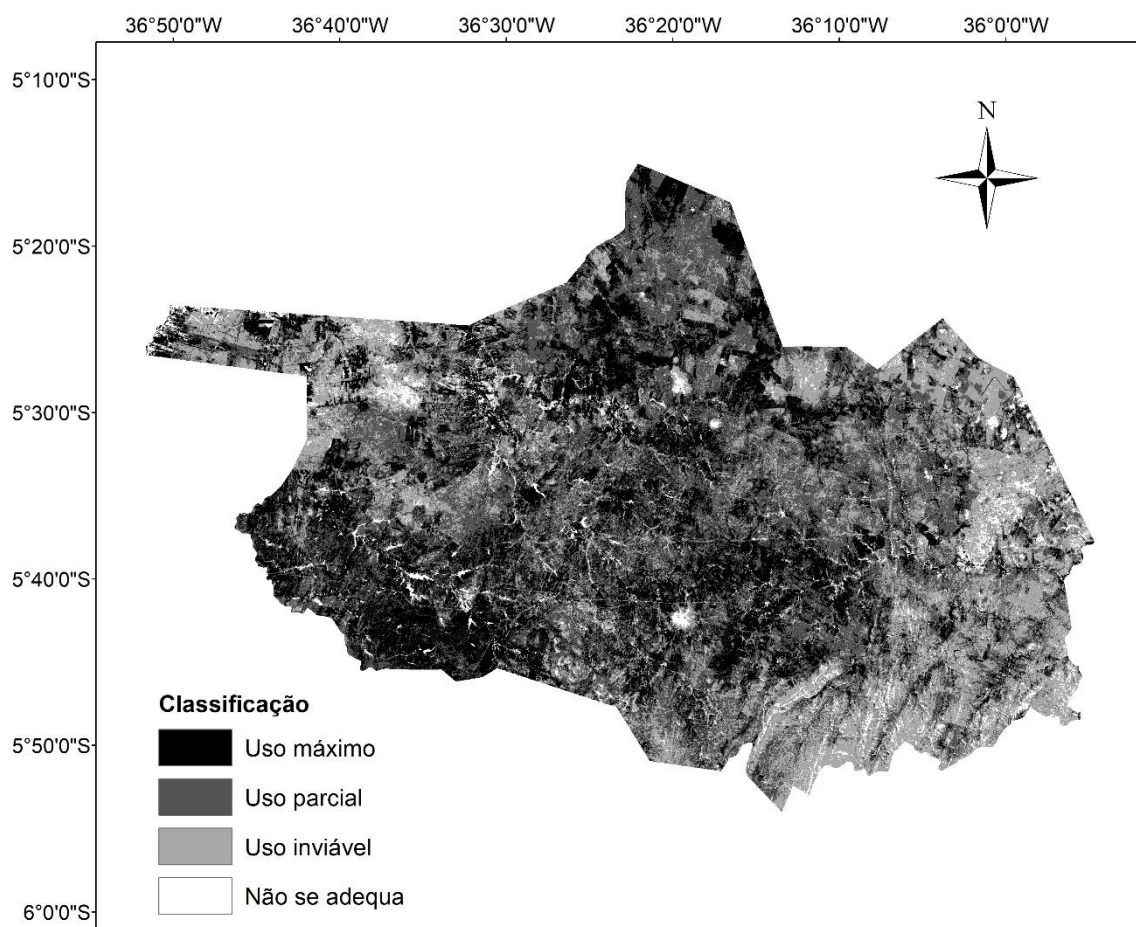
Este critério visa identificar a vegetação da área analisada, afim de proteger áreas com vasta vegetação nativa, evitando a implantação de aterros em florestas, áreas agrícolas de alta produtividade ou áreas em desenvolvimento (DEMESOUKA *et al*, 2014).

Quando não há legislação a cumprir, este critério depende absolutamente das preferências do tomador de decisão no que diz respeito às características da área de estudo (DEMESOUKA *et al*, 2014). Kontos *et al*. (2003) mantêm uma zona protetiva de 0,5 km destas áreas de vegetação, afim de protegê-las. No entanto, Halvadakis (1993) sugere que os atributos dependem das atividades praticadas nos locais. Já a NBR 10.157/87 expõe que o estudo da vegetação é relevante, devido a sua importância na redução dos índices de erosão, formação de poeira e transporte de odores.

Neste sentido, este critério em comparação com os demais obteve prioridade relativa de 32,24%, sendo o maior entre eles. A Figura 15 mostra a microrregião de Angicos de acordo com a adequabilidade do NDVI para criação do aterro sanitário, as áreas mais escuras são as mais indicadas para criação do aterro, tendo em vista que essas áreas estão em sua totalidade disponíveis para implantação de um aterro de acordo com este critério, ou seja, toda a área é viável. Entretanto as zonas claras são as impossibilitadas de implantar um aterro, composta por sua maioria de terras montanhosas ou agrícolas.

De acordo com este critério a localização do aterro deverá ser nas regiões oeste e sudoeste da microrregião, também tendo uma área considerável na região norte do mapa, onde o uso máximo das terras possui áreas, consideravelmente, vastas. Outrora, as regiões de nordeste a sul da microrregião de angicos possuem as áreas menos indicadas para implantação de um aterro de acordo com este critério.

Figura 15 - NDVI da microrregião de Angicos



Fonte: Esta Pesquisa (2018)

4.2.2 Pluviometria

Em geral, áreas caracterizadas por índices de alta densidade pluviométrica são consideradas impróprias para localização do aterro, pois o risco das chuvas transportar substâncias contaminadas para lençóis freáticos e/ou outras regiões é alto (SADEK *et al.*, 2006). Além disso, os custos de construção podem ser altos, porque não deve ser permitido acumular água na superfície do aterro, e um sistema de drenagem eficiente deve assim ser construído (TCHOBANOGLIOUS E KREITH, 2002).

Parte da água contaminada flui em direção à água de superfície, enquanto parte percola para as águas subterrâneas, este último, em conjunto com as taxas de

geração de chorume em áreas com alta precipitação, aumenta o risco de contaminação dos recursos hídricos (SADEK *et al.*, 2006).

Dados pluviométricos da área examina como a precipitação anual e média são, portanto, consideradas essenciais para a localização adequada dos aterros sanitários. Nesse sentido, áreas com precipitação anual maior que 1200 mm são excluída do processo de localização (DEMESOUKA *et al.*, 2014; MOEINADDINI *et al.*, 2010). Gemitzi *et al.* (2007) definiram que as áreas com precipitação inferiores a 600 mm ano são considerados os mais adequados para a localização de aterros, porque o risco de danos operacionais e ambientais é consideravelmente diminuída.

A Tabela 5 mostra a precipitação anual de cada cidade que compõe a microrregião de angicos, juntamente com sua precipitação anual média. A cidade de Lajes possui a menor precipitação anual, e a cidade de Angicos possui a maior dentre todas as oito cidades da microrregião de Angicos (IBGE, 2017).

Tabela 5 - Precipitação anual dos municípios que compõe a microrregião de Angicos

Município	Precipitação Anual	Precipitação Anual Média
Afonso Bezerra	536 mm	44,67 mm
Angicos	753 mm	62,75 mm
Caçara do Rio do Vento	520 mm	43,33 mm
Fernando Pedroza	497 mm	41,42 mm
Jardim de Angicos	534 mm	44,5 mm
Lajes	440 mm	36,67 mm
Pedra Preta	489 mm	40,75 mm
Pedro Avelino	502 mm	41,83 mm

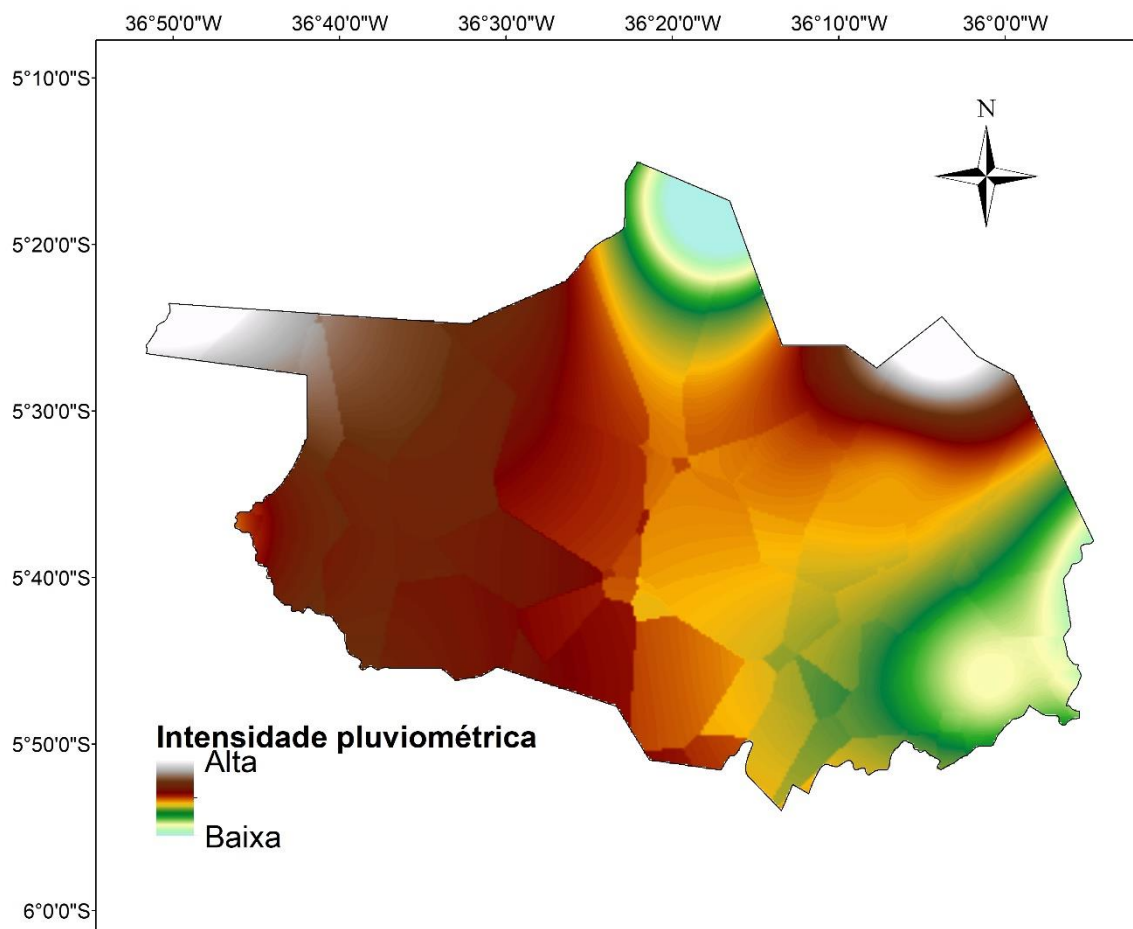
Fonte: IBGE (2017)

Na Figura 16, as áreas na cor marrom são as com maior precipitação anual, e as áreas verde claro são as que possuem menor quantidade de chuvas durante o ano. Vale salientar que na legenda do mapa, a escala varia entre baixo e alto índice de chuvas, mas essa escala realizada é comparando as cidades entre elas.

A microrregião de Angicos por estar inserida no semiárido brasileiro, em geral possui baixo índice de milímetros de chuvas anuais, portanto na matriz de comparação deste critério foi o de menor relevância comparado aos demais, ou seja, o maior índice anual que é a cidade de Angicos, ainda está abaixo dos 1.200 mm que excluem a área, portanto toda a microrregião de Angicos está apta a receber um

aterro sanitário, satisfazendo as exigências deste critério. Analisando o mapa o local mais adequado esta nas regiões norte e sudeste.

Figura 16 - Mapa pluviométrico da microrregião de Angicos



Fonte: Esta Pesquisa (2018)

4.2.3 Declividade

Objetivando proteger a região contra o risco que substâncias perigosas vazem de aterros sanitários por declividades acentuadas, este critério analisa as declividades da região afim de escolher áreas com pequenos declives ou até mesmo terrenos planos. Este é um critério crucial para o projeto do aterro, uma vez que uma grande declividade, causa dificuldades na construção e manutenção das instalações (KAO E LIN, 1996).

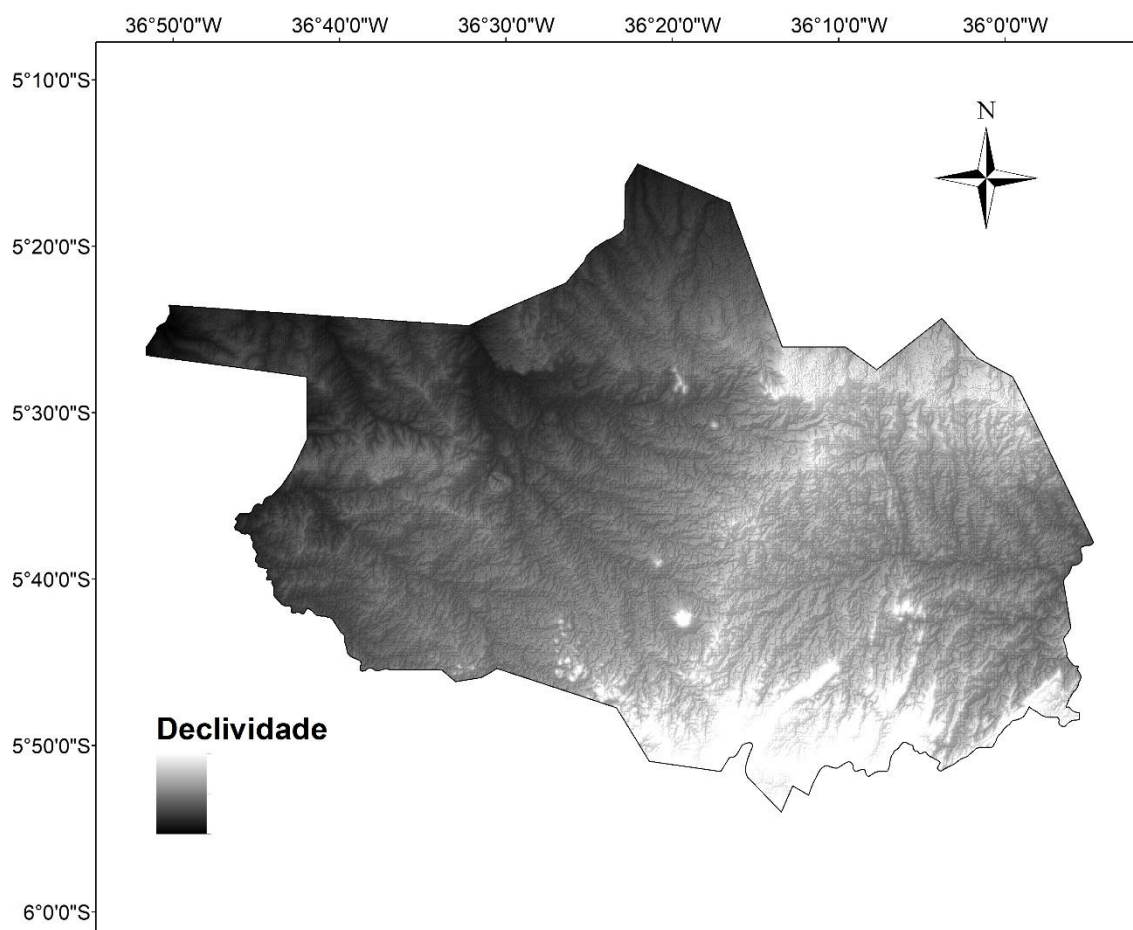
O risco de contaminação da água é acentuada ao colocar um aterro em áreas com encostas elevadas, devido à possibilidade do vazamento de chorume para

áreas planas e/ou corpos de água, pois contaminantes são capazes de percorrer grandes distâncias (LEAO *et al.*, 2004).

Charmprathreep *et al.* (1997) e Kao e Lin (1996) sugeriram que os limites inferior e superior de inclinação apropriada para a construção de um aterro é cerca de 8 e 12%, respectivamente, pois uma inclinação íngreme dificultaria a construção e manutenção e maximizaria os riscos de contaminação por escoamento, e uma área muito plana afetaria na drenagem do aterro. A NBR 10.157/87 também atribui limites, sendo o inferior de 1% e o superior de 20%, sendo assim áreas que não estão entre esses limites de declividade não se adequam a construção de um aterro sanitário.

A Figura 17 mostra a declividade do solo da microrregião de Angicos, onde as áreas mais claras correspondem as regiões de maior declividade, e as áreas mais escuras se opondo. As ondulações presentes no mapa indica as declividades de uma area mais clara para uma área mais escura, semelhante a uma região rochosa. No mapa as regiões mais escuras estão em sua maioria nas regiões leste e entre as regiões norte e sudoeste, fato este evidenciado por estas regiões possuírem a maior parcela das águas superficiais da microrregião de Angicos, como visto na Figura 12.

Figura 17 - Declividade da microrregião de Angicos



Fonte: Esta Pesquisa (2018)

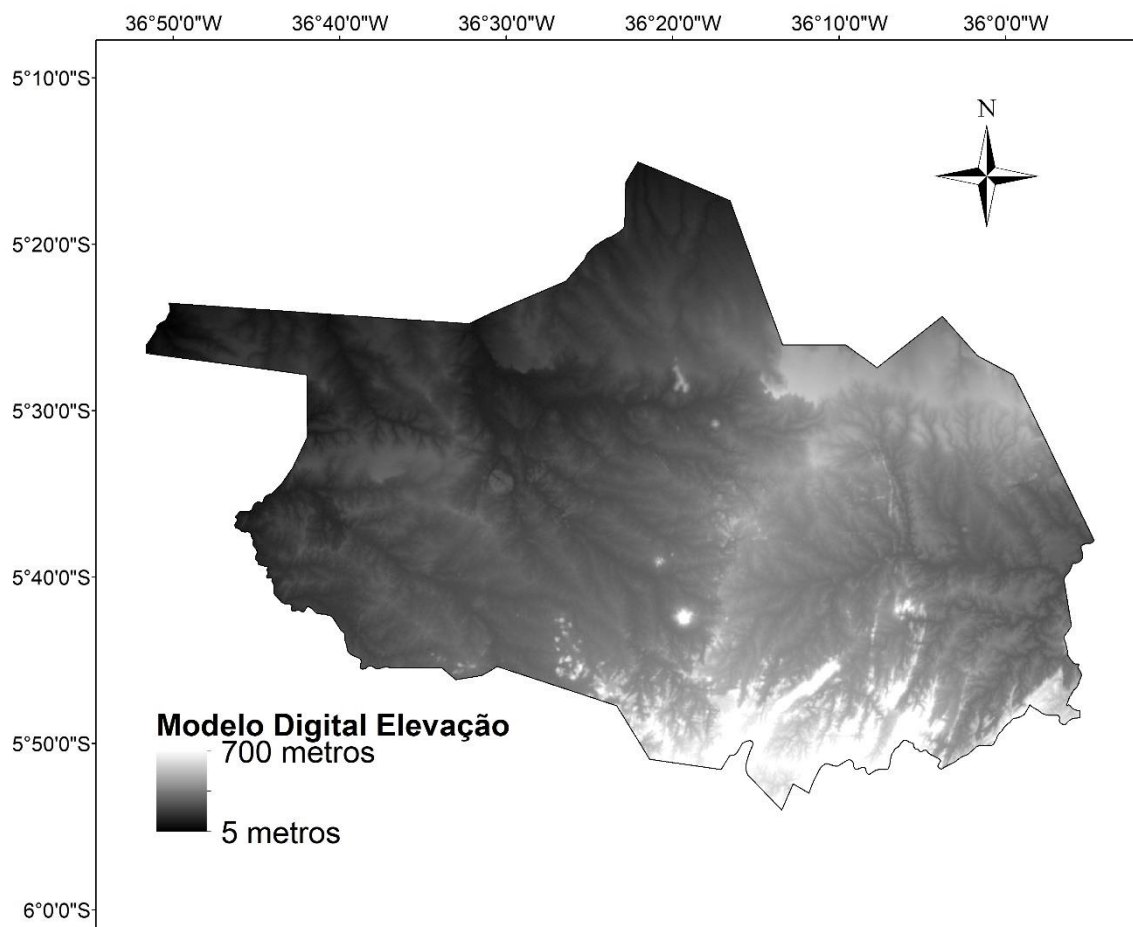
4.2.4 Elevação

A morfologia da terra é um fator fundamental no estabelecimento de aterros sanitários. Juntamente com o critério de declividade, a elevação da área é um fator que fornece uma medida para avaliar a morfologia e características das áreas analisadas, que é definida em porcentagem ou graus (KONTOS et al., 2003).

Áreas que estão a um nível consideravelmente acima do nível do mar são consideradas as mais adequadas para localização de um aterro sanitário. A relevância deste critério deriva da possibilidade de vazamento de lixo advindo do aterro. Áreas próximas ao nível do mar são consideradas inadequadas para localização de aterros, pois o risco de inundações torna-se cada vez maior (CHARNPRATHHEP *et al.*, 1997; SADEK *et al.*, 2006). Apesar de sua importância para uma operação eficaz, o critério de elevação é aplicado em combinação com o

critério de declividade, pois deve haver um consenso da área ser elevada porém não ter uma declividade acentuada.

A Figura 18 é muito semelhante ao mapa de declividade, por isto como já mencionado estes critérios são trabalhados em conjuntos por alguns pesquisadores da área (CHARNPRATHHEP *et al.*, 1997; SADEK *et al.*, 2006). As áreas mais escuras são as mais próximas ao nível do mar e as áreas mais claras são as mais altas, como por exemplo o Pico do Cabugi, um vulcão inativo que se encontra na microregião, mais precisamente na cidade de Lajes. Apesar das áreas mais claras serem as mais altas elas não são adequadas por este critério devido a sua altura acentuada, as áreas na cor cinza são as mais adequadas e estão predominantemente na região norte a sudoeste.

Figura 18 - Elevação da microrregião de Angicos

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

4.2.5 Acessibilidade

A acessibilidade é um parâmetro que deve ser estimado durante o processo de avaliação, a análise incorpora a necessidade de minimização do transporte de coleta de resíduos, condicionando um deslocamento ágil para os locais de despejos, bem como os custos de infra-estrutura complementar desnecessária (HALVADAKIS, 1993). A proximidade do aterro de redes rodoviárias é desejável, embora os aterros devam estar localizados longe da rede principal de transporte (Seção 4.1.4). A NBR 10.157/87 indica que o acesso interno e externo ao aterro sanitário deverá ser utilizável sob quaisquer condições climáticas.

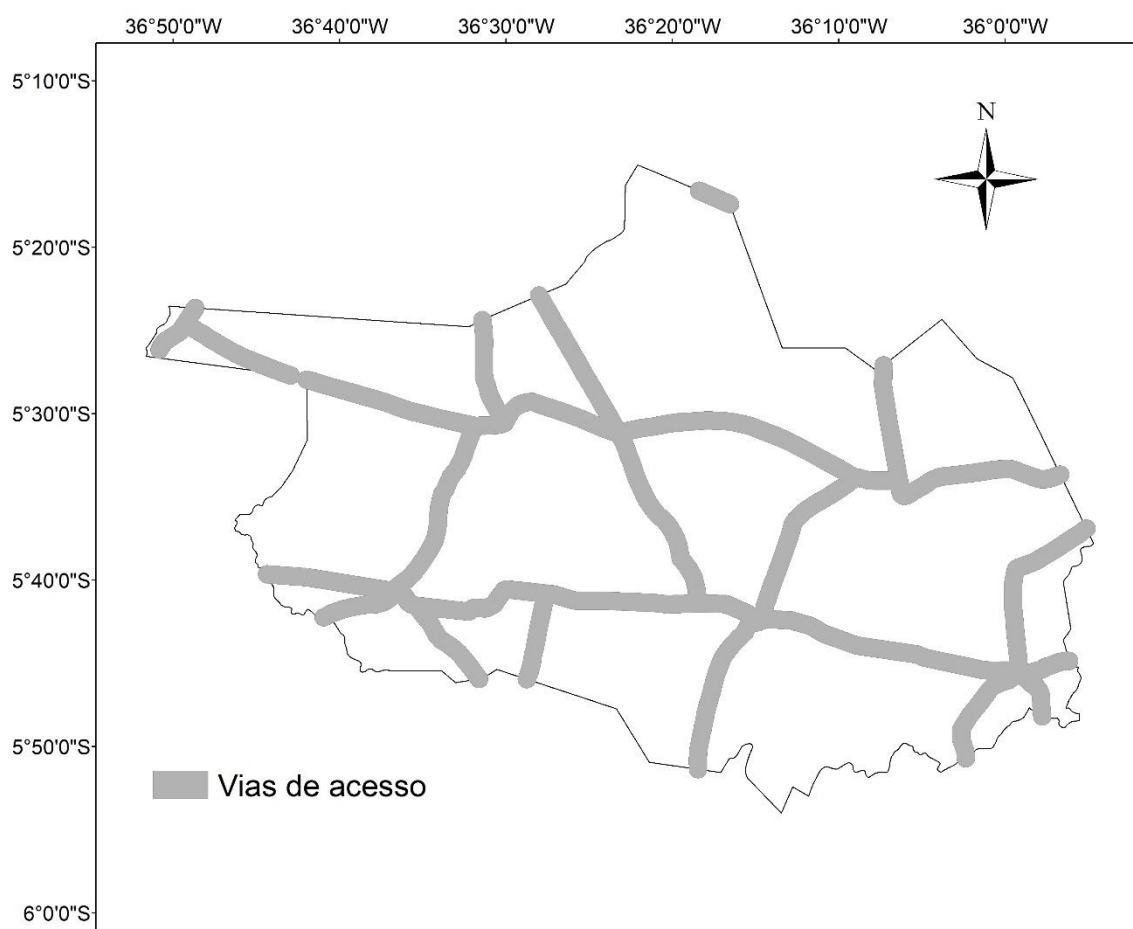
Quanto a minimização dos custos de transporte não há um consenso perante os pesquisadores para o cálculo exatos dos custos, então procedimentos foram realizados com diversos indicadores como volume diário de produção de resíduos,

distância do gerador de resíduos, quantidade de população geradora, e tempo de viagem para o aterro (HALVADAKIS, 1993; KONTOS *et al.* 2003; GEMITZI *et al.* 2007; DELGADO *et al.* 2008; LANE E MCDONALD, 1983).

No entanto, a distância entre as principais áreas urbanas é utilizada no processo de decisão na maioria dos estudos da área. Este estudo trabalhará nesta mesma linha de raciocínio, tendo em vista que obtém nove cidades dentro de uma microrregião, e o ideal seria uma área próximo a todas elas.

No mapa Figura 19 é mostrado as vias de acesso da microrregião de Angicos, em cor cinza. Estas vias interligam as nove cidades da microrregião e também ligam para as demais regiões do estado. De acordo com este critério, as áreas adequadas para criação do aterro são as em branco, percorrendo toda microrregião de Angicos, tendo em vista que as vias de acessos estão por toda parte.

Figura 19 - Vias de acesso da microrregião de Angicos



Fonte: Esta Pesquisa (2018)

4.2.6 Solos

O tipo de solo é um critério relevante para criação de um aterro sanitário, o mesmo irá absolver todos os resíduos gerados pela população, também é relevante em relação aos custos de implantação e engenharia, tendo em vista que um solo mais natural, sem a presença de gases é mais propício para degradar os resíduos (GEMITZI *et al.* 2007).

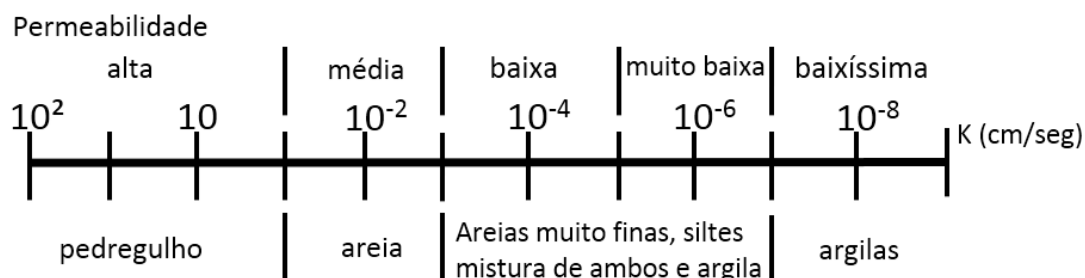
A legislação brasileira indica que o solo que receber um aterro sanitário deve ter baixa velocidade de infiltração, garantindo um movimento muito lento do lixiviado para os lençóis freáticos, contaminando o mesmo. Assim, locais em solo argiloso com baixa permeabilidade deve ser preferido, e solos como cascalho, areia ou fraturado pode representar uma ameaça significativa às águas subterrâneas, sendo excluídos (DEMESOUKA *et al.*, 2014).

Neste sentido as características da textura do solo são consideradas para classificar a área de estudo. Na microrregião de Angicos foram encontrados oito tipos de solos, classificados de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária – EMBRAPA. Em 1967, Terzaghi e Peck criaram uma escala de permeabilidade que indica a permeabilidade em centímetros por segundo e exemplifica os materiais existentes no solo que influenciam na permeabilidade. Os solos argilosos são os com os menores índices de permeabilidade, outrora os solos rochosos são os com maior índice. A Tabela 6 indica o grau de permeabilidade do solo de acordo com a escala de permeabilidade (Figura 20).

Tabela 6 - Classificação de permeabilidade dos solos da microrregião de Angicos

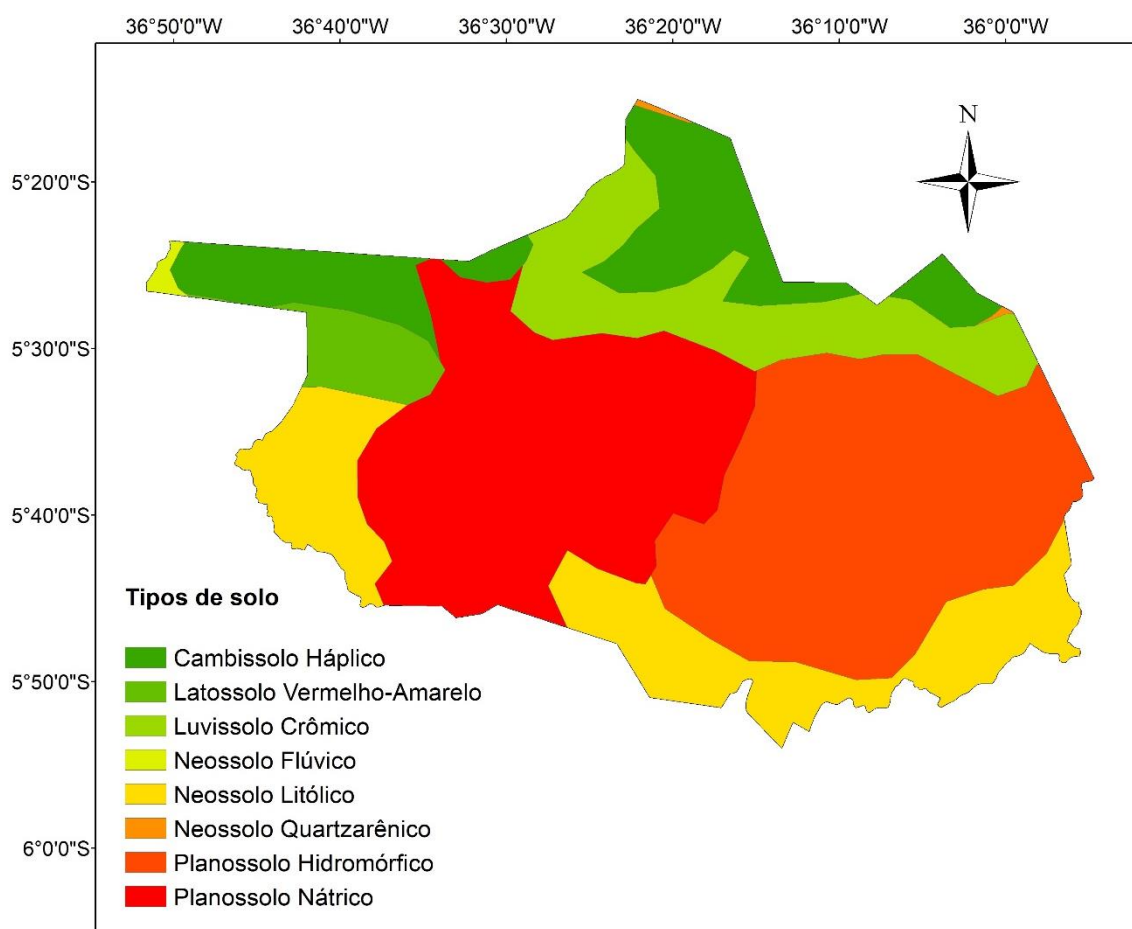
Tipo de Solo	Permeabilidade
Cambissolo Háplico	Muito baixa
Latossolo Vermelho-Amarelo	Baixa
Luvissolo Crômico	Baixa
Neossolo Flúvico	Muito Baixa
Neossolo Litólico	Alta
Neossolo Quartzarênico	Média
Planossolo Hidromórfico	Baixíssima
Planossolo Nátrico	Baixíssima

Fonte: Adaptado EMBRAPA (2018)

Figura 20 - Escala de permeabilidade

Fonte: Terzaghi e Peck (1967)

A Figura 21 mostra a distribuição dos tipos de solos presentes na microrregião de Angicos, onde os planossolos foram considerados os mais adequados para implantação do aterro sanitário devido à sua baixa permeabilidade sobre os outros tipos de solos presente na área de estudo. Este fato acontece por serem solos com alto teor de argila. Contudo, somente o Neossolo Litólico é descartado pois, é um solo rochoso predominante na região mais alta da microrregião de Angicos, mais precisamente na região sul e sudeste do mapa.

Figura 21 - Tipos de solos da microrregião de Angicos

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

4.2.7 Agregação usando AHP

Para agregação dos critérios foi utilizada metodologia AHP - Análise Hierárquica dos Processos, é um dos vários métodos de tomada de decisão (Seção 2.2.2), que foi originalmente desenvolvido por Saaty (1977), no intuito de superar as limitações dos tomadores de decisão nas comparações entre critérios quantitativos e qualitativos (DEMESOUKA *et al.*, 2014). Ele tem a capacidade de simplificar classificações de preferência entre os critérios de decisão, utilizando comparações de pares (CHARNPRATHEEP *et al.*, 1997).

Os pesos dos critérios são atribuídos de acordo com a Escala de Saaty (Tabela 7), no qual é construída uma matriz comparando cada critério com os outros critérios, relativos a sua importância (MALCZESWIKI, 2006). É importante lembrar que se um critério X_1 é 5 vezes preferível ao critério X_2 , deduz que o critério X_2 é 1/5 preferível a X_1 (MALCZESWIKI, 2006).

Tabela 7 - Escala de Saaty

1	Igualmente preferível
2	Igualmente a moderadamente preferível
3	Moderadamente preferível
4	Moderadamente a fortemente preferível
5	Fortemente preferível
6	Fortemente a muito fortemente preferível
7	Muito fortemente preferível
8	Muito fortemente a extremamente preferível
9	Extremamente preferível

Fonte: Saaty (1991)

Os pesos foram avaliados levando-se em conta a viabilidade e possibilidade de modificar as condições naturais dos locais por intervenção de engenharia apropriada, de modo a aumentar sua adequação (como foi feito por DELGADO *et al.* 2008).

Nesta pesquisa foram utilizados seis critérios de decisão e agregação, gerando uma matriz de comparação 6x6 (Tabela 8), no qual o NDVI teve importância relativa maior em comparação aos demais critérios e a pluviometria teve menor importância, visto que a região estudada possui índices baixos de distribuição de chuvas.

Tabela 8 - Matriz de comparações

Critérios	(X ₁)	(X ₂)	(X ₃)	(X ₄)	(X ₅)	(X ₆)	Prioridade Relativa (%)
NVDI (X₁)	1	7	3	3	2	2	32,54
PLUVIOMETRIA (X₂)	1/7	1	1/5	1/5	1/6	1/6	3,15
DECLIVIDADE (X₃)	1/3	5	1	1	1/3	1/3	10,03
DEM (X₄)	1/3	5	1	1	1/3	1/3	10,03
VIAS DE ACESSO (X₅)	1/2	6	3	3	1	1	22,12
TIPO DE SOLO (X₆)	1/2	6	3	3	1	1	22,12

Fonte: Esta Pesquisa (2018)

Posteriormente a comparação de pares foi realizado o Método do Autovalor, que busca estimar os pesos relativos dos critérios e posteriormente avaliar sua consistência perante os demais (DEMESOUKA *et al.*, 2014). O cálculo envolve os seguintes passos:

- Calcula o somatório de cada coluna da matriz de comparação;
- Constrói uma nova matriz, chamada matriz de normalização, que é a divisão de cada elemento da matriz de comparação pelo somatório de sua coluna.
- Calcula a média de cada linha da matriz normalizada, formando um vetor, contendo a prioridade relativa de cada critério observado.
- Multiplica cada linha da matriz de comparação pela pelo vetor de prioridade relativa, dividindo por cada elemento do vetor, formando um novo vetor ou matriz 1x3. A média dos valores deste novo vetor nos dará o resultado do $\lambda_{\max}$, que fará parte do cálculo da Taxa de Consistência das comparações.
- A Taxa de Consistência foi calculada usando a Equação 1 abaixo.

Equação 1 - Taxa de consistência

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

$\lambda_{\max}$ = média dos valores do vetor

n = número de critérios

Fonte: Demesouka *et al.* (2014)

$$IC = \frac{6,2 - 6}{6 - 1} = 0,04$$

(f) Finalmente foi calculado o Quociente de Consistência (Equação 2), que é a afirmação de que as comparações realizadas são aceitáveis, tendo como regra geral que seu resultado deve ser menor que 0,1 ($QC < 0,1$). Para o cálculo é necessário consultar a tabela de Consistência Aleatória (Tabela 9), que é obtida fazendo comparações dos pares de forma aleatória.

Tabela 9 - Tabela de consistência aleatória

Dimensão da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de Consistência Aleatória Média	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Demesouka *et al.* (2014)

Equação 2 – Quociente de consistência

$$QC = \frac{IC}{ICA}$$

IC = Índice de Consistência

ICA = Índice de Consistência Aleatória

Fonte: Demesouka *et al.* (2014)

$$QC = \frac{0,04}{1,25} = 0,032 < 0,1$$

4.3 IDENTIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS POTENCIAIS

Após padronização de critérios e determinação de pesos relativos de cada um dos critérios na seleção do local do aterro, o próximo passo é agregá-los para obter a adequabilidade da região estudada (MALCZEWSKI, 2006).

Para facilitar a identificação das alternativas potenciais foi usado o método analítico de Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination* – WLC), devido a facilidade que o usuário tem para desenvolver os questionamento sobre intensidade de preferências. Na literatura de interação SIG-AMD diversos autores (SENER *et al.*, 2005; YILDIRIM, 2012; MALCZEWSKI, 2006) utilizaram este método para facilitar nos resultados encontrados. Evidencia-se que o método WLC é um método secundário, ou seja, primeiro é necessário utilizar do método AHP, para posteriormente aplicar o WLC.

O WLC baseia-se no conceito de uma média ponderada, em que os critérios contínuos são padronizados para um intervalo numérico comum, e depois combinados por meio de uma média ponderada; o decisor atribui os pesos de

importância relativa diretamente para cada camada mapa temático; a pontuação total de cada alternativa é obtida multiplicando o peso atribuído pelo valor escalado do dado, em seguida, soma os produtos ao longo de todos os atributos (SENER *et al.*, 2005). As pontuações são calculadas para todas as alternativas e a com maior pontuação geral é a alternativa escolhida.

Atribuído os pesos dos mapas e os mapas de restrições, foram agregados no presente estudo para obter a adequação final. Empiricamente o cálculo do WLC é descrito na Equação 3 abaixo:

Equação 3 - Cálculo do WLC

$$\sum_{i=1}^n W_i . X_i \prod_{j=1}^m C_j$$

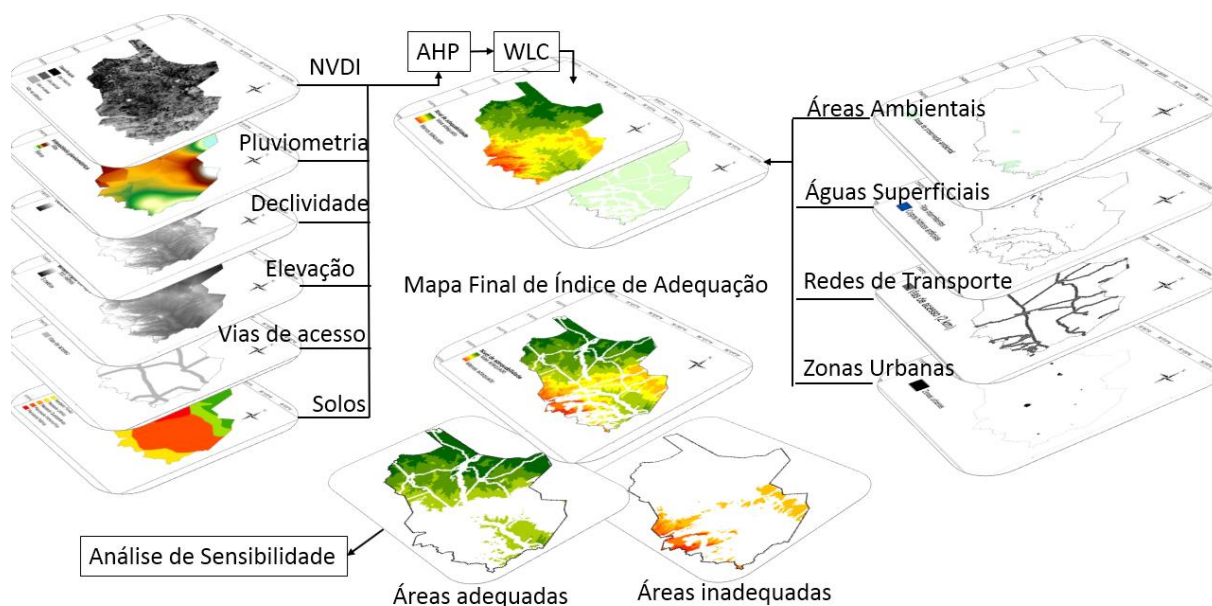
Fonte: Malczewski (2006)

Nesta equação S é o valor de adequação composta, W_i é o peso atribuído a cada critério, X_i é o valor aceitável em relação ao critério W_i , C_j são as restrições, também é importante ressaltar que Σ é o somatório dos pesos e Π é Produtos do restrições. Neste método, o peso total deve ser igual a 1; caso contrário, no último estágio S deve ser dividido pelo total de todos os pesos, assim a saída S será entre 0 e 1. No final, a opção ideal será aquela que tem maior quantidade de S (MALCZEWSKI, 2006).

O método pode ser executado usando qualquer sistema SIG com capacidades de sobreposição, e permite que as camadas sejam combinadas, de modo a determinar o mapa composto com a sobreposição de camadas. Os métodos podem ser implementados em ambientes SIG vetoriais e *raster*. Alguns sistemas SIG tem rotinas internas para o método WLC, e existem módulos de *freeware* disponíveis para realizar esse tipo de decisão de multicritérios.

A Figura 22 esquematiza todo processo realizado e descrito neste capítulo, mostrando a sobreposição de mapas e processos realizados para conseguir chegar ao mapa de adequação final, e os procedimentos a serem realizados posteriormente que seria a análise de sensibilidade.

Figura 22 - Esquema dos procedimentos realizados



Fonte: Esta Pesquisa (2018)

4.4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Uma das restrições da pesquisa é o tempo de processamento dos dados, sendo assim não foi possível a análise de sensibilidade nesta.

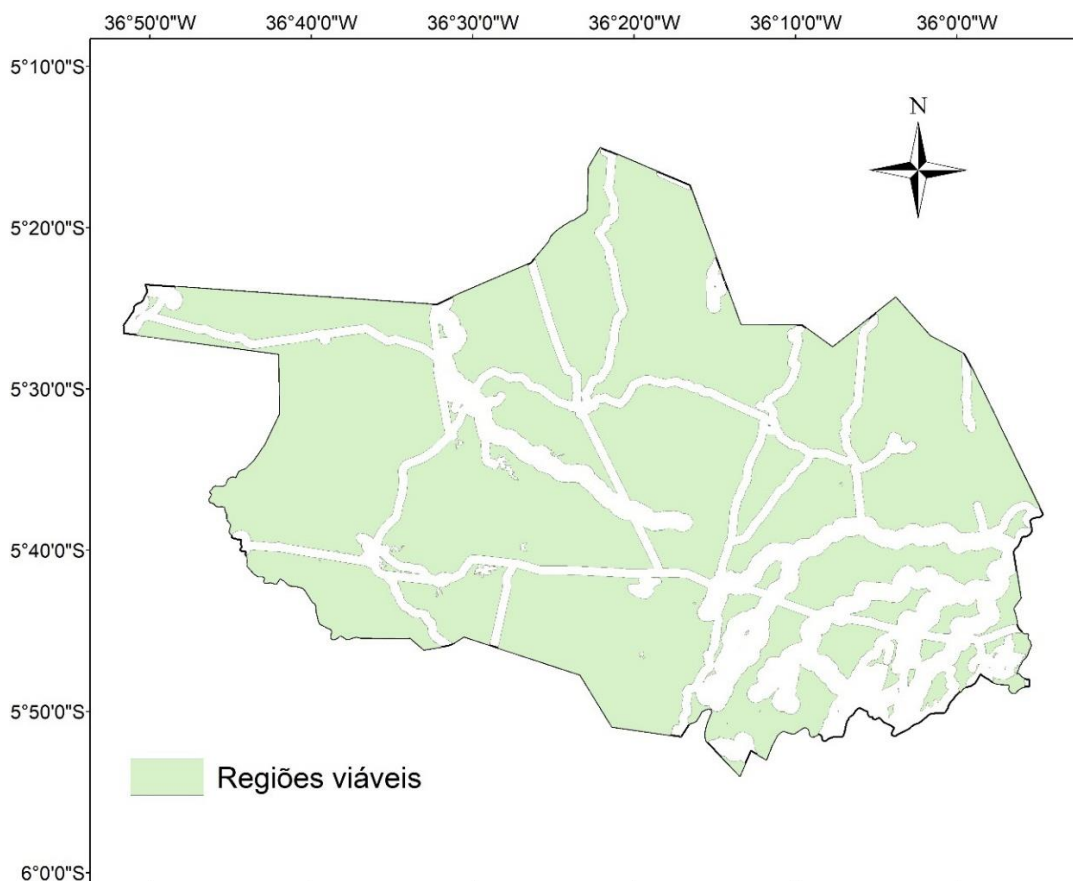
5 RESULTADOS

5.1 EXCLUSÃO DOS CRITÉRIOS

Ao sobrepor todos os mapas de critérios de exclusão, foi necessário utilizar uma técnica conhecida como *extraction by mask*, que recorta do mapa da microrregião de angicos todas as zonas protetivas dos critérios exclusionários (áreas ambientais, rede hidrográfica, rede de transporte e zonas urbanas), como mostra a Figura 23. Após o recorte a área analisada passou de pouco mais de 4.000 Km² para 3.081 Km², obtendo uma redução de quase 25%, sendo que esta área tende a diminuir mais e mais a partir da utilização dos critérios de agregação.

As áreas em branco são as limitações da pesquisa, ou as áreas excluídas, e as áreas verdes são as viáveis, quando são descartados somente os critérios exclusionários. Percebe-se que a maior parte das áreas excluídas é composta das zonas protetivas das águas superficiais e rodovias, estando distribuídas por toda microrregião de Angicos.

Figura 23 - Mapa de critérios exclusionários da microrregião de Angicos



Fonte: Esta Pesquisa (2018)

5.2 ADEQUABILIDADE

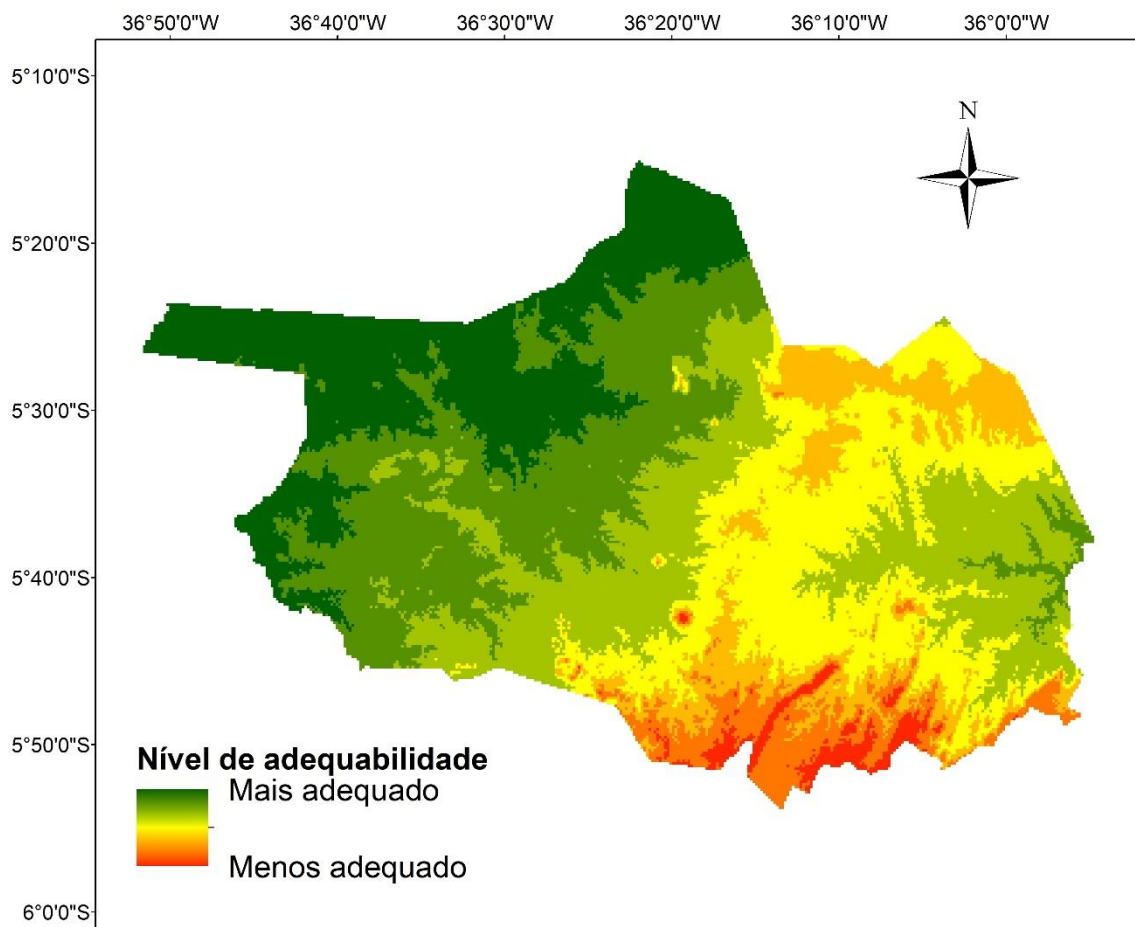
Ao utilizar a ferramenta WLC, foi possível gerar um mapa de adequação, que visa encontrar áreas dentro da microrregião de angicos, que atendam todos os critérios de agregação, baseado na importância relativa dos mesmos. Como já previsto as áreas mais adequadas são minoria, quanto mais critérios são analisados maior a complexidade de encontrar áreas que satisfaçam os mesmo, baseado nisto, o mapa de adequabilidade está de acordo com mapas de pesquisadores da área (ANAGNOSTOPOULOS E VAVATSIKOS, 2007; MALCZEWSKI, 2006).

O mapa de adequabilidade (Figura 24) é resultado da sobreposição de mapas usando o software ArcGis®, no qual foram usados os pesos calculados com a ferramenta AHP. A legenda do mapa indica que as áreas verde escuro são as mais adequadas da microrregião de Angicos para implantação de um aterro sanitário, que atende todos os critérios de acordo com sua relevância. É notório que as áreas viáveis estão em sua maioria no norte e noroeste da microrregião, comparando visualmente com os mapas de agregação, os critérios pluviometria, elevação, solos e NDVI, também possuem seus melhores índices no mesmo eixo da microrregião, sendo crucial para o resultado do mapa ser também nesta área.

As áreas em vermelho e amarela são as que possuem baixo nível de adequabilidade para construção de um aterro sanitário na área, na sua maioria possuem grande declividade e solos irregulares, também estão próximas aos centros urbanos da microrregião estudada.

No mapa também possui áreas intermediárias que estão entre as cores verde claro e amarela, estas áreas, não atendem todos os critérios de agregação, e devem ser realizados estudos *in loco* para verificar sua real situação. Vale salientar que apesar da cor verde claro não atender em sua totalidade a todos os critérios, foram todos os tons de verde do mapa como áreas adequadas, onde será possível verificar a adequabilidade real de cada área com uma análise de sensibilidade.

Figura 24 - Mapa de adequabilidade da microrregião de Angicos



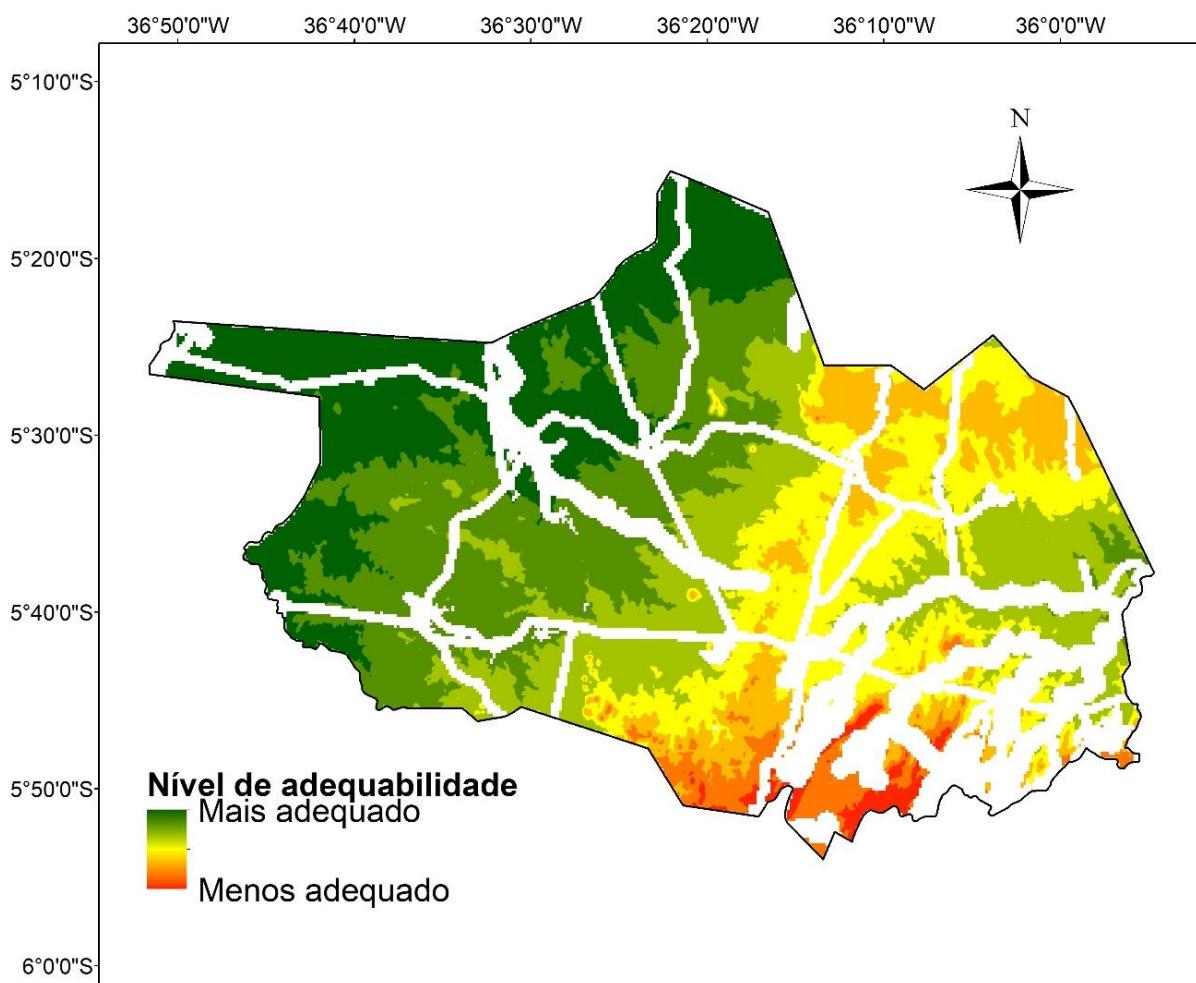
Fonte: Esta Pesquisa (2018)

Por fim foi utilizado novamente a ferramenta *extraction by mask*, que teve por objetivo tirar do mapa de adequação todas as zonas excluídas pelos critérios de exclusão (áreas ambientais, rede hidrográfica, rede de transporte e zonas urbanas), conforme a Figura 25, obtendo, assim, o mapa final de adequação. Como já mencionado, as partes em verde escuro são as propícias a implantação do aterro sanitário, porém neste as regiões mais adequadas foram divididas em pequenas áreas devido ao corte de critérios de exclusão. Ao final do processo, ficou uma área de 1471 Km² que se adequaram aos critérios avaliados, porém uma parte ainda menor (verde escuro) desta área possui um nível de adequabilidade alto, e estão dispostas em sua maioria nos municípios de Angicos, Afonso Bezerra e Pedro Avelino.

Posteriormente estas pequenas áreas são selecionadas individualmente para que seja realizada uma análise de sensibilidade em cada uma delas, utilizando

novamente a metodologia AHP e WLC para encontrar a área mais viável entre elas, também são realizadas visitas *in loco*, a fim de averiguar a disponibilidade da área, pois em muitos casos são áreas privadas, acarretando um custo elevado para o estado.

Figura 25 - Mapa final de adequabilidade da microrregião de Angicos



Fonte: Esta Pesquisa (2018)

Na Figura 26 as regiões consideradas adequadas foram quantificadas, obtendo um total de 27 áreas disponíveis, e distribuídas entre três tonalidades de verde, sendo dez áreas com nível máximo de adequabilidade, outras dez com uma adequabilidade considerável, e sete com grau de adequação considerável.

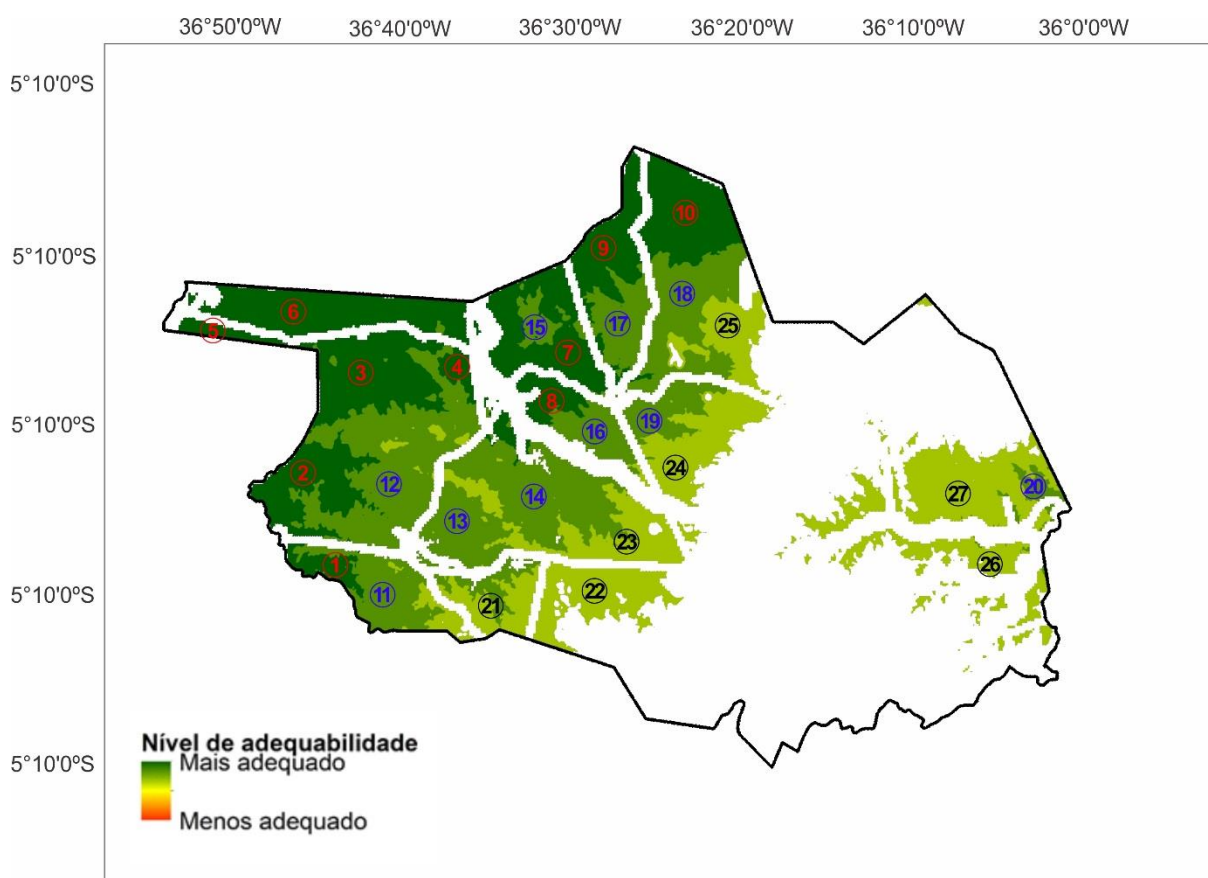
Das primeiras dez áreas, 50% está disposta na cidade de Afonso Bezerra, portanto dentre as oito cidades da microrregião a cidade citada, possui o maior potencial de receber a instalação de aterro Sanitário, fato este influenciado pelas áreas estarem distantes dos núcleos populacionais, ter um solo propício para degradação de resíduos, pouca mata nativa, e baixa índice pluviométrico. Porém o

interessante é que a área escolhida esteja apta para atender toda a microrregião, e não esteja muito distante das demais cidades, diminuindo os custos com transporte.

A cidade de Angicos e Pedro Avelino também possuem áreas adequadas para implantação de um aterro sanitário, porém na sua maioria são áreas que não se adequaram ao máximo dos critérios questionados, pesa o fato destas regiões estarem mais próximas ao centro da microrregião de Angicos, e encontrar uma área que esteja a uma distância aceitável de todos os centros produtores de resíduos é a situação mais desejável para a microrregião como um todo.

É relevante enfatizar a existência de áreas aptas nas cidades de Jardim de Angicos e Pedra Preta, porém não possuem nível de adequabilidade máximo, mas são aceitáveis. Estas áreas foram aceitáveis devido ao baixo índice pluviométrico anual, solo com baixo índice de permeabilidade e elevação do solo aceitável.

Figura 26 - Áreas adequadas



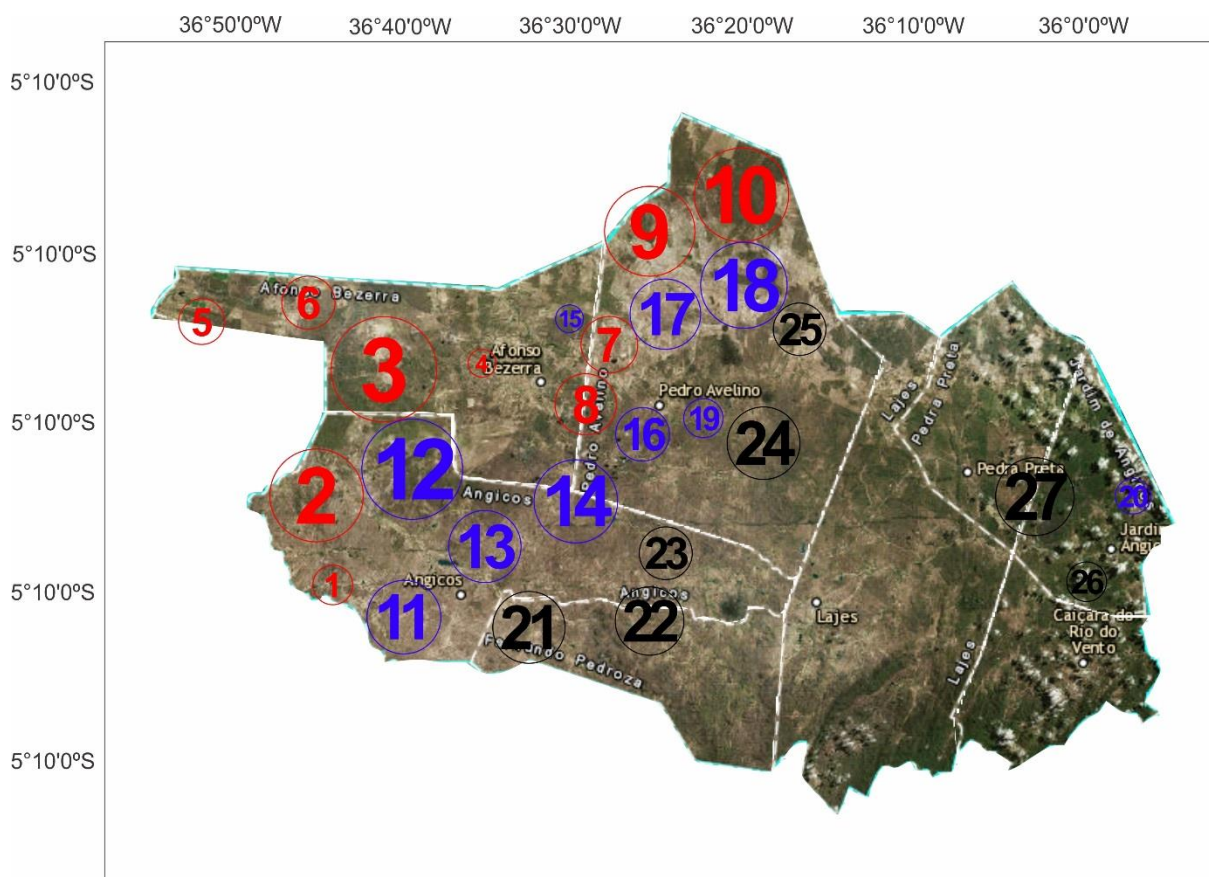
Fonte: Esta Pesquisa (2018)

A Figura 27 mostra as áreas viáveis encontradas nesta pesquisa na visão via satélite. É notório que o critério NDVI foi determinante para que as regiões aptas estejam do centro para o oeste do mapa, pois as áreas de vegetação da região

estão mais evidenciadas no setor leste e sudeste da microrregião. Já o restante do mapa estão áreas com pouco vegetação nativa, comum na região semiárida, no qual está inserida. O município de Pedro Avelino é onde possui a maior área apta, considerando que possui oito áreas a serem analisadas.

A área 8, 13, 14, 16 e 23 deverá ser analisada *in loco*, pois via satélite percebemos que são áreas que estão próximas de cinco municípios da região, atendendo os mesmos e diminuindo os custos de deslocamento, sendo que a área oito deverá receber prioridade, pois seu nível de adequação é maior que as demais, resultando assim numa maior aceitação e viabilização de projeto.

Figura 27 - Áreas aptas na visão de satélite



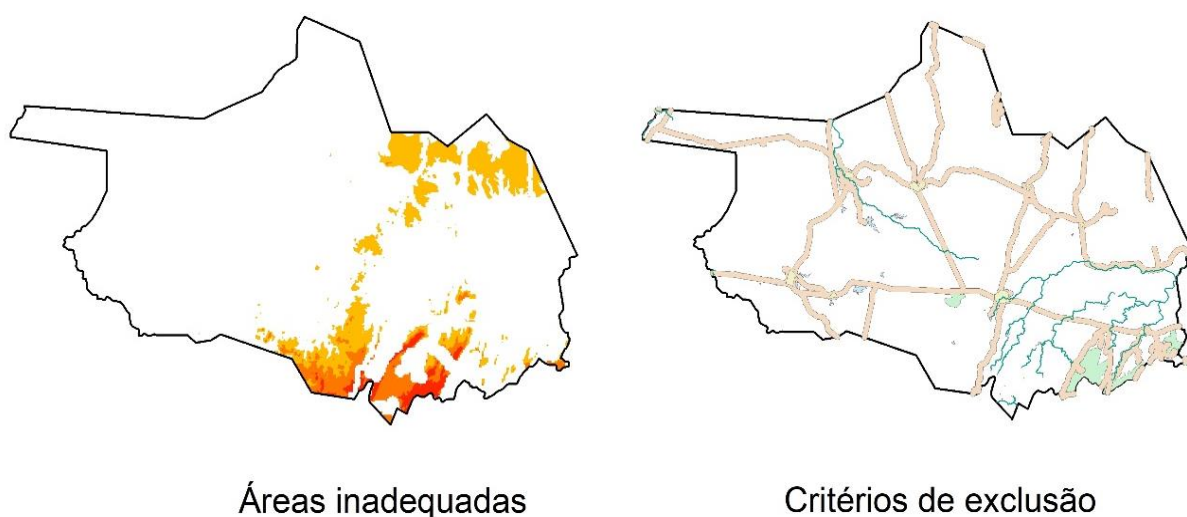
Fonte: Adaptado Google Mapas (2018)

5.3 COMPARAÇÃO

Ao se comparar o mapa de adequação com os critérios de exclusão percebe-se que na parte do mapa que é composta por maioria de áreas inadequadas os critérios de exclusão estão em quase toda sua totalidade, principalmente os corpos de água, e áreas de preservação ambiental.

Um aterro perto destas zonas, tem alta possibilidade de rejeição por causa da população local, devido a possíveis efeitos colaterais derivados de um aterro sanitário, como improdutividade do solo, contaminação de águas, além de fatores difíceis de serem mensurados como o turismo da região e a paisagem, sendo uma obra de grande porte, que elimina a vegetação nativa.

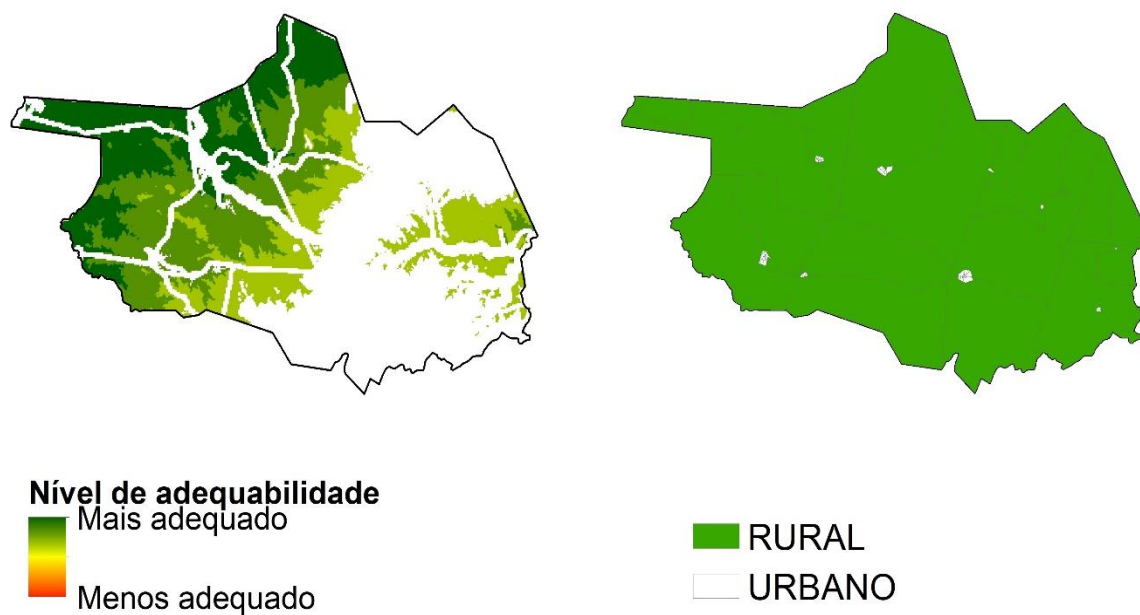
Figura 28 - Comparação de áreas inadequadas com critérios de exclusão



Fonte: Esta Pesquisa (2018)

Já as zonas excluídas nas zonas viáveis são compostas principalmente da rede rodoviária, que apesar de ter uma distância mínima, é aceitável que estejam próximas delas, para que o acesso ao aterro seja facilitado. Observa-se também que os locais mais adequados estão claramente distantes das zonas urbanas, visando também a rejeição dos nativos.

Figura 29 - Comparação das áreas viáveis com os centros urbanos



Fonte: Esta Pesquisa (2018)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

À medida que questões ambientais relacionadas ao despejo de resíduos sólidos se evidenciam perante a consciência pública, há um aumento de pesquisas sobre a adequação de aterros sanitários, nos quais diferentes métodos são aplicados para localizar áreas potenciais para disposição de aterros sanitários.

A seleção de aterros é um dos componentes mais importantes da gestão pública de resíduos sólidos, e precisa ser planejado cientificamente, usando dos avanços mais recentes na tecnologia. Os resultados, deste estudo, demonstraram a capacidade de Sistemas de Informação Geográfica por sensoriamento remoto e sistemas de apoio a análise multicritério em modelar e ajudar a localizar áreas adequadas para implantação de aterros.

Os resultados confirmam que o SIG é uma ferramenta para análise espacial e fornece uma rápida avaliação para localização adequada de aterros sanitários para eliminação de resíduos sólidos urbanos em regiões com potencial de crescimento, como a Microrregião de Angicos.

Portanto a metodologia proposta foi uma abordagem eficiente para localização de áreas adequadas para criação de um aterro sanitário, onde existe contradições ou opiniões conflitantes quanto a importância relativa dos critérios selecionados. A proposta pode ser replicada para todo o território nacional, com o intuito de contribuir com a proteção do meio ambiente.

Na seleção de aterros, seis critérios foram considerados relevantes para a microrregião de Angicos. Geralmente, mais critérios dão resultados mais precisos, mas ao selecionar critérios menos importantes tem-se impactos insignificantes, tornam o sistema muito complexo. Portanto, os critérios de avaliação devem ser selecionados com base no seu impacto na análise de adequação. Os critérios relacionados ao meio ambiente são mais sensíveis devido ao seu controle sobre a taxa de transporte de lixiviado do que critérios socioeconômicos que são importantes para limitar as despesas financeiras.

Uma pequena área foi identificada, que satisfaz a maioria dos critérios desejáveis de localização de um aterro ideal para região, ou seja, que atende aos seus critérios de decisão. Portanto, a produção de mapas temáticos de diferentes critérios em SIG nos permitiu analisar diferentes critérios da microrregião de

Angicos, a sobreposição desses mapas forneceu um mapa de locais adequados para estabelecer um aterro de resíduos sólidos.

Ressalta-se que os objetivos propostos foram atendidos, com exceção da análise de sensibilidade, visto que o tempo não foi suficiente para realizar os cálculos necessários para todas as áreas que se adequaram aos critérios, também não sendo possível a visita *in loco* destas áreas para averiguar possíveis falhas de mapas. Nesse pressuposto é desejável que em uma pesquisa futura venha fechar esta lacuna, e garanta para os gestores dos municípios em questão a área mais adequada para implantação de um aterro sanitário, contribuindo para o bem-estar da população envolvida e para o meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>>. Acesso em: 17 jun 2018.

ANAGNOSTOPOULOS, K.P; *et al.* **Land suitability analysis for natural wastewater treatment systems using a new GIS add-in for supporting criterion weight elicitation methods**. *Operational Research: An International Journal* 10(1): 91–108, 2010.

ANAGNOSTOPOULOS, K.P; VAVATSIKOS, A.P. **GIS and multicriteria decision support systems: a review**. *Environment and Urban Systems*: 229–244, (2007)

ARONO, S. **Sistema de Informação Geográfica**. Canadá: WDL Publications, 1989.

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. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, 03 ago. 2010.

CAMPOS, V. R. **Modelo de Apoio à Decisão Multicritério para Priorização de Projetos em Saneamento**. 2011. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/.../VanessaRibeiroCampos.pdf>. Acesso em: 17 jun 2018.

CARVER, S. J. **Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems**. In *International Journal of Geographical Information Systems*, 5:321-339, 1991.

CEMPRE. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370p.

CHANG, N.B., *et al.* **Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region**. *Journal of Environmental Management* 87(1): 139–153, 2008.

CHARNPRAATHEEP K. *et al.* **Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems**. *Waste Management & Research* 15: 197–215, 1997.

DELGADO, O.B., *et al.* **Analysis of land suitability for the siting of inter-municipal landfills in the Cuitzeo Lake Basin, Mexico**. *Waste Management* 28(7): 1137–1146., 2008.

DEMAJOROVIC, J. **Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades**. *Revista de Administração de Empresas*. São Paulo, v. 35, n. 3, p.88-93, 1995. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75901995000300010>. Acesso em: 17 jun 2018.

DEMESOUKA, O. *et al.* **GIS-Based Multicriteria Municipal Solid Waste Landfill Suitability Analysis: A Review of the Methodologies Performed and Criteria Implemented.** 2014, Waste Management & Research, Vol. 32, p. 270-296.

DEUS, R.M.; BATTISTELLE, R.A.G.; SILVA, G.H.R. **Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências.** 2015. DOI: 10.1590/S1413-41522015020040129347. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v20n4/1413-4152-esa-20-04-00685.pdf>>. Acesso em: 17 jun 2018.

DIAS, J.A.; SALGADO, M.G. **Manual do Procurador Público. Programa Lixo e Cidadania:** criança no lixo nunca mais. Procuradoria geral da República. Brasília, 1999.

DUARTE, C.C.; CORRÊA, A.C.B.; GIRÃO, O. **Utilização do processo analítico hierárquico como metodologia alternativa para a elaboração de mapa de distribuição do escoamento superficial hortoniano na bacia hidrográfica do Rio Una.** Pernambuco: 2012. Disponível em: <<http://www.sinageo.org.br/2012/trabalhos/8/8-492-626.html>>. Acesso em: 17 jun 2018.

FERNÁNDEZ, I. C.; MORALES, N. S. **A spatial multicriteria decision analysis for selecting priority sites for plant species restoration:** a case study from the Chilean biodiversity hotspot. *The Journal of the Society for Ecological Restoration*, Published Online, 2016.

FIGUEIREDO, C. J.; MOTA, C. M. M. **A classification model to evaluate the security level in a city based on GIS-MCDA.** *Mathematical Problems in Engineering*, 35344824: 1-10, 2016.

FONSECA, João José Saraiva da. **Metodologia da Pesquisa Científica.** Disponível em: <<http://www.ia.ufrj.br/ppgea/conteudo/conteudo-2012-1/1SF/Sandra/apostilaMetodologia.pdf>>. Acesso em: 17 jun 2018.

FORBELONI, Jacimara Villar. **Políticas Públicas de Combate à Pobreza Rural na Microrregião de Angicos/RN.** São Luís: UFMA, 2014. VII JOINPP.

GEMITZI A, *et al.* **Combining geographic information system, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills.** *Environmental Geology* 51(5): 797–811, 2007.

GOMES, L. F. M. A.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. **Tomada de decisão Gerencial:** Enfoque Multicritério. Rio de Janeiro: Atlas, 2002.

HALVADAKIS, C.P. **Municipal solid waste landfill siting in Greece:** the case of the greater Hania region, Greece. *Ekistics* 358–359: 45–52., 1993.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE - cidades.** 2017. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

JANKOWSKI, P. **Integrating geographical information systems and multiple criteria decision making methods.** *International Journal of Geographical Information Systems*, 9:251–273, 1995.

KAO, J.J.;LIN, H.Y. **Multifactor spatial analysis for landfill siting.** *Journal of Environmental Engineering* 122(10): 902–908, 1996.

KONTOS, T.D., *et al.* **Siting MSW landfills on Lesbos Island with a GIS-based methodology.** *Waste Management & Research* 21(3): 262–277., 2003.

LANE, W.N; MCDONALD, R.R. **Land suitability analysis: landfill siting.** *Journal of Urban Planning and Development* 109(1): 50–61, 1983.

LAURINI, Robert; THOMPSON, Derek. **Fundamentos de sistemas de informação espacial.** San Diego: Academic Press, 1992.

LEAO, S, *et al.* **Spatial-temporal model for demand and allocation of waste landfills in growing urban regions.** *Environment and Urban Systems* 28(4): 353–385, 2004.

MALCZEWSKI, Jacek. **GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature.** 2006, *International Journal of Geographical Information Science*, 20:7, 703-726, DOI: 10.1080/13658810600661508

MARINHO, David. **Otimização do Aterro do Perema.** 2013. Disponível em: <<http://www.jesocarneiro.com.br/artigos/49333.html>>. Acesso em: 17 jun 2018.

MARQUES, J.R. **Meio Ambiente Urbano.** Rio de Janeiro: Forense Universitária. 2005.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauhick. **Estudo de caso na engenharia de Produção: estruturação e recomendações para sua condução.** *Produção*, v. 17, n. 1, p. 216–229, Jan./Abr. 2007.

MOEINADDINI, M. *et al.* **Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj).** *Waste Management* 30(5): 912–920, 2010.

MONTGOMERY, B., *et al.* **A GIS-based Logic Scoring of Preference method for evaluation of land capability and suitability for agriculture.** *Computers and Electronics in Agriculture*, 124: 340-353, 2016.

NBR 10.157 - **Aterros de Resíduos Perigosos: Critérios para Projeto, Construção e Operação.** Rio de Janeiro, ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987.

PREVIDELLI, I.T.S. **Estimadores de maxima verossimilhança corrigidos para modelos super dispersados não lineares.** São Carlos: UFSC, 2004
RICHARDS, J.A. **Remote Sensing Digital Image Analysis.** 2 Edição. New York: Wiley, 1993.

SAATY, T.L. **A scaling method for priorities in hierarchical structures.** Journal of Mathematical Psychology 15: 234–281, 1977.

SADEK, S., *et al.* **Compliance factors within a GIS-based framework for landfill siting.** International Journal of Environmental Studies 63(1): 71–86, 2006.

SÁNCHEZ-LOZANO, *et al.* **GIS-based onshore wind farm site selection using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making methods:** Evaluating the case of Southeastern Spain. *Applied Energy*, 171:86-102, 2016.

SENER *et al.* **Landfill site selection by using geographic information systems.** Environ Geol 49: 376–388, 2005.

SIMON, H.A. **The New Science of Management Decision.** New York: Harper and Row, 1960.

SOUZA, Fernando. M. C. de. **Decisões racionais em situações de incerteza.** Recife: Universitária da UFPE, 2002.

TCHOBANOGLIOUS, G; KREITH, F. **Handbook of Solid Waste Management.** New York: McGraw-Hill., 2002.

TERZAGHI, K; PECK, R. **Soil Mechanics in Engineering Practice.** 2 Edição, John Wiley, New York, 1967.

TORABI-KAVEH *et al.* **Landfill site selection using combination of GIS and fuzzy AHP, a case study: Iranshahr, Iran.** *Waste Management & Research*, 2016.

VASILJEVIC *et al.* **GIS and the Analytic Hierarchy Process for Regional Landfill Site Selection in Transitional Countries:** A Case Study From Serbia. *Environmental Management* 49:445–458, 2011.

WERNKE, R.; BORNIA, A. C. **A contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais.** Revista Contabilidade & Finanças FIPECAFI - FEA - USP, São Paulo, FIPECAFI, v.14, n. 2001.

WORLDOMETERS. **População Mundial.** 2018. Disponível em: <<http://www.worldometers.info/pt/>>. Acesso em: 17 jun 2018.

YILDIRIM, V. **Application of raster-based GIS techniques in the siting of landfills in Trabzon Province, Turkey:** a case study. 2012, *Waste Management & Research* 30(9): 949–960.