

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIAS E GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**EFRAIN RAFAEL ACEVEDO LOPEZ**

**LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO BASEADO EM**  
**MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO**

RECIFE

2017

**EFRAIN RAFAEL ACEVEDO LOPEZ**

**LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO BASEADO EM  
MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação  
em Engenharia de Produção da UFPE, para obtenção  
do grau de mestre.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Danielle Costa Morais, D.Sc.

RECIFE

2017

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Valdícea Alves, CRB-4 / 1260

L8641 Lopez, Efraim Rafael Acevedo.  
Localização de aterro sanitário baseado em modelo de decisão multicritério / Efraim Rafael Acevedo Lopez. - 2017.  
67 folhas, Il.; Tabs.; Abr. e Sigl.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Danielle Costa Morais.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2017.  
Inclui: Referências e Apêndice.

1. Engenharia de Produção. 2. Sistema de informação geográfico. 3. Aterro sanitário. 4. Decisão multicritério. I. Morais, Danielle Costa (Orientadora). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.) BCTG/2017-114



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA  
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO  
DE MESTRADO ACADÊMICO DE

**EFRAIN RAFAEL ACEVEDO LOPEZ**

***“LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO BASEADO EM MODELO DE  
DECISÃO MULTICRITÉRIO”***

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GERÊNCIA DE PRODUÇÃO

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do (a) primeiro(a), considera o candidato **EFRAIN RAFAEL ACEVEDO LOPEZ, APROVADO.**

Recife, 21 de fevereiro de 2017.

---

Prof. Danielle Costa Morais, Doutora (UFPE)

---

Prof. CAROLINE MARIA DE MIRANDA MOTA, Doutora (UFPE)

---

Prof. ROSIRES CATÃO CURI, PhD (UFPE)

Dedicado aos meus pais e meu avô:  
Efrain Acevedo, Lexis Lopez e  
Manuel Acevedo são o início de todo.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela sabedoria, fortaleza, perseverança para alcançar os objetivos e acrescentar a felicidade de nossa família.

À minha mãe Lexis Lopez, meu pai Efrain Acevedo, minha irmã Lexis Acevedo, meu irmão Brayan Acevedo pelo suporte e apoio da grã família que pertenço.

Aos amigos e amigas Deyvison Souza, Catherine Amador, Mariana Losada, Lucas Frederico, Naiara Meireles, Erika Cristina, Jairino Munguba, Madson Monte, Victor Câmara pelo carinho e amizade.

À professora Danielle Costa Moraes pelo apoio e orientação acadêmica.

À Universidade Federal de Pernambuco, pela estrutura e apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

À EMLURB, URB e Prefeitura do Recife pela disponibilização dos dados e orientação dos diferentes assuntos deste trabalho.

À CAPES, pelo auxílio financeiro durante todo o período de mestrado acadêmico.

## **RESUMO**

A gestão e controle da coleta dos resíduos sólidos urbanos é uma problemática atual das cidades em constante crescimento. Dessa forma, destacam-se os aterros sanitários que são áreas propostas ao tratamento e destinação final do lixo. Essas áreas precisam cumprir certos conjuntos de critérios para poder desenvolver esse tipo de tarefas. Para isso, identificam-se os critérios operacionais e ambientais mais relevantes com a finalidade de realizar uma avaliação de possíveis áreas para alocar um aterro sanitário. Neste caso, foi utilizado o sistema de informações geográficas por meio da ferramenta *ArcGIS*, que realiza geoprocessamento de dados, mapeamento, georreferenciamento de coordenadas geográficas. Dentro da gama de alternativas que oferece esta ferramenta encontra-se *ArcMAP*, que é uma aplicação especializada em mapeamento e análises espaciais que facilitaram determinar a valoração de cada uma das alternativas propostas de acordo com os critérios selecionados objetivando determinar uma matriz de decisão para escolher a melhor opção. Nesse sentido, destaca-se a abordagem de decisão multicritério, que propõe vários conceitos em situações que as alternativas têm interesses conflitantes. Foi selecionado um método não compensatório pela relevância dos critérios, ao não poder compensar o mal desempenho de uma alternativa de um critério com o bom desempenho em outro. Nesse ordem, encontram-se os métodos de sobreclassificação, baseados na comparação par a par das alternativas. Nesse contexto, são aplicados os métodos da família Electre que trabalham com critérios de natureza qualitativa, escalas diferentes e conhecimento imperfeito dos dados. Os métodos aplicados nesta pesquisa foram *Electre IS* com o fim de escolher a melhor alternativa e *Electre II* para definir um ranking e verificar a robustez dos resultados. Além disso, foram estabelecidos cenários onde os pesos dos critérios foram alterados para analisar o comportamento do modelo. A aplicação da proposta sistemática mostra como resultado que a alternativa 1 cumpre os conceitos definidos pelos critérios. Além disso, a combinação dos conceitos SIG e abordagem multicriterio apresentam resultados dinâmicos para este tipo de estudo.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfico. Aterro Sanitário. Decisão Multicritério.

## ***ABSTRACT***

The management and control of urban solid waste cleaning is a current problem of cities in constant growth. In this way, we highlight the sanitary landfills which are proposed areas for the treatment and final disposal of garbage. Those areas need to meet certain sets of criteria in order to develop this type of task. For this, the most relevant operational and environmental criteria are identified for the purpose of evaluating possible areas to allocate a sanitary landfill. In this case, the geographic information system was used through the technology tool ArcGIS that performs data geoprocessing, cartography representation, geo referencing of geographic coordinates. Within the range of alternatives offered by this tool is ArcMAP, which is an application specialized in cartography representation and spatial analysis which facilitated to determine the valuation of each of the proposed alternatives according to the selected criteria with the objective of defining a matrix decision to choose the best option. The multi-criteria is decision approach highlighted, which proposes several concepts in situations where alternatives have conflicting interests. In this event, the non-compensatory methods were selected considering the relevance of the criteria because it was not able to compensate the poor performance of an alternative of a criterion with the good performance of the other. These outranking methods are found, based on the pairwise comparison of the alternatives. In this context, the methods of the Electre family that work with criteria of qualitative nature are applied, different scales and imperfect knowledge of the data are developed. There were two methods developed in this research. Electre IS was used to choose the best alternative and Electre II to define a ranking and verify the robustness of the results. In addition, scenarios were established where the weights of the criteria were altered to analyze the behavior of the model. The application of the systematic proposal shows how the result of the alternative meets the concepts defined by the criteria. Moreover, the combination of GIS concepts and multi-criteria approach present dynamic results for this type of study.

**Keywords:** Geographic Information System. Sanitary Landfill. Multi-criteria Decision.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 2.1 - Exemplo de lixão. ....	18
Figura 2.2 - Definição de aterro controlado. ....	19
Figura 2.3 - Modelo de um aterro sanitário. ....	20
Figura 2.4 - Sistema SIG com seus subsistemas mais importantes. ....	22
Figura 2.5 - Interação entre os atores no processo decisório e uma organização. ....	25
Figura 2.6 - Procedimento para resolução de um problema de decisão. ....	26
Figura 3.1 - Planos de Resíduos Sólidos. ....	34
Figura 3.2 -Regiões Político Administrativas e Bairros do Recife. ....	40
Figura 4.1- Fluxograma da sistemática implementada. ....	42
Figura 4.2- Modelo inicial das RPA. ....	43
Figura 4.3 – Modelo com RPA combinadas. ....	43
Figura 4.4 - Mapa com todas as restrições ....	45
Figura 4.5- Grafo de sobreclassificação modificado. ....	52
Figura 4.6 - Grafo final. ....	52
Figura 4.7 - Parâmetros de decisão. ....	54
Figura 4.8 – Ranking descendente. ....	55
Figura 4.9 – Ranking ascendente. ....	55
Figura 4.10- Grafo final do modelo inicial. ....	57
Figura 4.11 – Grafo final do cenário 1. ....	57
Figura 4.12- Grafo final do modelo inicial. ....	59
Figura 4.13 - Grafo final do cenário 2. ....	59

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1.1- Resíduos removidos por ano. ....	15
Tabela 3.1 - Quantidade de resíduos destinados.....	34
Tabela 3.2 - Quantidade de resíduos encaminhados para lixão, aterro controlado e sanitário.....	35
Tabela 3.3 - Taxa de Geração per capita e Produção de Resíduos Sólidos por Município.....	36
Tabela 3.4 - Avaliação comparativa dos cenários.....	37
Tabela 3.5 - Comparação dos custos de operação vs ICMS.....	38
Tabela 4.1 - Conjunto de alternativas.....	44
Tabela 4.2 - Descrição dos objetivos.....	44
Tabela 4.3 - Descrição dos critérios.....	45
Tabela 4.4 - Categorização da declividade.....	46
Tabela 4.5 – Faixa de valoração da declividade.....	46
Tabela 4.6 - Lista das unidades de conservação do Recife.....	46
Tabela 4.7 - Matriz de decisão.....	48
Tabela 4.8 - Identificação e ranking dos critérios.....	49
Tabela 4.9 - Pesos não normalizados e normalizados dos critérios.....	50
Tabela 4.10 - Matriz de decisão para o método Electre IS.....	50
Tabela 4.11 - Matriz de concordância.....	51
Tabela 4.12 - Matriz de discordância.....	51
Tabela 4.13 –Matriz de robustez.....	51
Tabela 4.14 –Matriz de sobreclassificação.....	51
Tabela 4.15 - Matriz de decisão.....	53
Tabela 4.16 - Matriz de decisão no software.....	54
Tabela 4.17 - Matriz de concordância.....	55
Tabela 4.18 -Matriz de sobreclassificação.....	55
Tabela 4.19 - Ranking Final.....	56
Tabela 4.20 - Ranking modelo inicial.....	57
Tabela 4.21 – Ranking cenário 1.....	57
Tabela 4.22 - Pesos Cenário 2.....	58
Tabela 4.23 - Ranking modelo inicial.....	59
Tabela 4.24 - Ranking cenário 2.....	59

## ***LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS***

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agencia Nacional de Águas

CAD – Computer Aided Design

DMs – Decision Makers

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

ESRI - Environment Systems Research Institute

ICMS - Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação

MCDA – Multicriteria Decision Analysis

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNRS – Plano Nacional de Resíduos Sólidos

PMRS – Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos de Recife

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

RPA – Região Política Administrativa

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SIG – Sistema de Informação Geográfico

SMAA - Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis

URB – Empresa de Urbanização do Recife

ZEIS – Zonas Especiais de Interesse Social

ZEPA – Zonas Especiais de Proteção Ambiental

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	14
1.2	OBJETIVOS.....	16
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>16</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>16</b>
1.3	METODOLOGIA.....	16
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Aterros de resíduos não perigosos</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Desapropriação</b> .....	<b>20</b>
2.2	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICO (SIG).....	21
<b>2.2.1</b>	<b>Componentes de um SIG</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Geoprocessamento</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.3</b>	<b>ArcGIS</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.4</b>	<b>ArcMAP</b> .....	<b>24</b>
2.3	DECISÃO MULTICRITÉRIO .....	24
<b>2.3.1</b>	<b>Métodos não compensatórios</b> .....	<b>27</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Métodos de Sobreclassificação</b> .....	<b>27</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Electre IS</b> .....	<b>29</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Electre II</b> .....	<b>30</b>
2.4	REVISÃO DA LITERATURA .....	31
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	32
<b>3</b>	<b>DESCRIÇÃO DO PROBLEMA</b> .....	<b>33</b>
3.1	PLANOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	33
<b>3.1.1</b>	<b>Estrutura Administrativa para Coleta dos RSU em Recife</b> .....	<b>36</b>
3.2	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA .....	38
3.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	41

<b>4 PROPOSTA DE MODELO DE DECISÃO PARA LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO</b> .....	42
4.1 IDENTIFICAÇÃO DE ALTERNATIVAS .....	43
4.2 IDENTIFICAÇÃO DE CRITÉRIOS .....	44
4.3 APLICAÇÃO DO <i>ARCGIS</i> .....	45
4.4 FAMÍLIA DE MÉTODOS ELECTRE.....	49
<b>4.4.1 Electre IS</b> .....	<b>50</b>
<b>4.4.2 Electre II</b> .....	<b>53</b>
4.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	56
<b>4.5.1 Cenário 1</b> .....	<b>56</b>
<b>4.5.2 Cenário 2</b> .....	<b>58</b>
4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59
<b>5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>60</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
REFERÊNCIAS .....	62
APÊNDICES .....	65

# 1 INTRODUÇÃO

O nordeste do Brasil é uma região com uma projeção de população total de 46.095.994 habitantes e uma taxa de crescimento anual de 1,1% segundo dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Nesta região encontra-se Recife, uma cidade com uma população de 1.537.704 habitantes e uma área de 218.435 km<sup>2</sup> (IBGE,2015).

Além disso, Recife é a capital nordestina com o melhor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), sendo a capital mais alfabetizada, com a menor incidência de pobreza e a com a maior renda média domiciliar mensal do Nordeste do país.

A dinâmica dos fluxos migratórios entre os municípios metropolitanos que vem ocorrendo nas últimas décadas confirma a expansão do Recife sobre os municípios vizinhos. Já nos anos 80, estudos realizados sobre essa dinâmica demonstram que cerca de 85% dos habitantes que migraram de Recife, na década de 70, conforme dados censitários, deslocaram-se para Jaboatão dos Guararapes, Olinda e Paulista.

Atualmente, Recife registra significativos sinais de degradação ambiental, especificamente, o desmatamento, a contaminação/salinização dos recursos hídricos superficiais e profundos, a redução e poluição das áreas estuarinas, a emissão de poluentes atmosféricos, a poluição visual, os deslizamentos e erosão de encostas, os alagamentos de áreas de planície e a erosão costeira, todos resultantes de ações antrópicas.

Nesse panorama e na procura de controlar o dimensionamento dos lixões e aterro controlado nas cidades. Tavares & Carissimi (2012) fazem menção da importância do uso de ferramentas tecnológicas, como Sistema de Informação Geográfica (SIG) como apoio para determinar espaços seguros para localização de aterros sanitários segundo os critérios descritos na norma NBR 13896 da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

O georreferenciamento é uma estratégia de posicionamento espacial de uma área em uma localização geográfica específica que permite o monitoramento e gerenciamento de um sistema de coordenadas exatas. Para localização de um aterro sanitário, precisa-se determinar a influência das atividades que se realizam nesta instalação como o ambiente, baseado em critérios como proximidade do perímetro urbano, declividade do terreno, distancia de estradas, áreas de drenagem, dentre outros.

Programas como o ArcGIS, que trabalha com SIG e contém todos os tipos de informações geográficas como: mapas, sensoriamento remoto, entre outros é essencial para facilitar o alcance e monitoramento destes parâmetros. O apoio da ciência da computação neste tipo de programa é fundamental para o desenvolvimento de cenários e simulações de espaço e infraestrutura.

Neste trabalho foi determinado um conjunto de áreas onde pode-se localizar um aterro sanitário cumprindo os pré-requisitos descritos pela norma NBR 13896 da ABNT, onde se realizaram cenários e simulações para definir qual é a zona mais apropriada para construir este tipo de instalação.

A gestão de resíduos sólidos é um problema ambiental que cresce a cada dia. Atualmente a cultura do tratamento de lixo para as pessoas é quase inexistente. De acordo com a Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos, áreas onde os resíduos sólidos urbanos são descartados sem nenhum tipo de tratamento são proibidas no Brasil.

A nova norma estabelece que os resíduos sólidos só poderão ser despejados em aterros sanitários e que a coleta e tratamento dos mesmos serão de responsabilidade das prefeituras. Porém, segundo levantamento feito pela Agência Pernambucana de Meio Ambiente, apenas 19 municípios possuem espaços adequados. Isso significa que mais de 70% das cidades de Pernambuco despejam seus resíduos em lixões. Em Pernambuco há 19 aterros sanitários, mas apenas 10 têm licença ambiental, por problemas na gestão e operação dos aterros 9 voltaram a ser lixões.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente a pesquisa sobre proteção ambiental nas cidades e a participação cultural das pessoas dentro deste processo influenciam na criação de novos espaços ecológicos com treinamentos sobre resíduos sólidos, como coleta seletiva de lixos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos é um passo para a extinção de lixões em Pernambuco. A Emenda do Projeto de Lei, apresentada pelo Senador Fernando Bezerra Coelho, do PSB de Pernambuco e aprovada no Senado Federal em Julho de 2015 no Parecer N°384, determina diferentes prazos para cumprir a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Dessa forma, capitais e municípios de regiões metropolitanas terão até 31 de julho de 2018 para acabar com os lixões.

Aqueles localizados nas fronteiras ou com mais de 100 mil habitantes terão até o final de julho de 2019. Já as cidades que possuem entre 50 mil e 100 mil habitantes terão até 31 de julho de 2020. Até julho de 2021, os municípios com menos de 50 mil habitantes precisam estar dentro do que manda a legislação. A criação do aterro sanitário para destinação do lixo precisa de parâmetros técnicos específicos como capacidade, infraestrutura, recursos econômicos e localização.

A EMLURB no desenvolvimento das tarefas de coleta e limpeza urbana no município de Recife realizou um processo licitatório para contratar empresas especializadas em engenharia sanitária onde estabelece as diretrizes de referência para prestação de serviços por parte destas empresas. Além disso, divide geograficamente o município de Recife em duas partes para definir o alcance do serviço para cada empresa. Por não contar com um aterro sanitário próprio, Recife estabeleceu um acordo com a Prefeitura de Jaboatão dos Guararapes para a disposição final dos RSU ao CTR Candeias (Central de Tratamento de Resíduos) com uma capacidade de 766.500 ton./ ano para resíduos residenciais com um ciclo de vida útil até final de 2022. Na seguinte tabela pode-se observar o crescimento dos resíduos sólidos removidos por ano realizado pela EMLURB.

*Tabela 1.1- Resíduos removidos por ano.*

<b>Peso em Toneladas</b>	<b>Resíduos Removidos por Ano</b>				
	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Total Anual	506.123	546.427	545.796	535.722	555.906

*Fonte: Diretoria de Limpeza Urbana, (2015).*

Atualmente o aumento da população é proporcional à geração de resíduos sólidos, portanto a capacidade e a vida útil do CTR de Candeias estão próximas a ser atingidos. Nesse contexto, o estudo de novas opções para destinação dos resíduos sólidos de Recife é objeto de análise na criação de cenários para escolha de alternativas pelo crescimento constante dos RSU.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é propor uma sistemática para tomada de decisão multicritério relacionada a localização de aterros sanitários em uma área específica do Recife por meio do uso de SIG.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Tendo por base o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram alcançados:

- Identificar os critérios ambientais e operacionais para localização de aterros sanitários;
- Analisar os critérios ambientais e operacionais dos sistemas de aterro sanitário atual para definir padrões de localização;
- Aplicação da abordagem multicritério através dos métodos não compensatórios da família Electre.
- Uso de ferramenta de georreferenciamento para análise dos critérios de localização de aterros sanitários.

## 1.3 METODOLOGIA

A metodologia se refere ao modo escolhido para chegar ao objetivo definido pela pesquisa. A classificação das pesquisas científicas, entretanto, pode ser um assunto bastante controverso pelo fato da mesma se basear no enfoque dado pelo autor, como apontam (TURRIONI & MELLO, 2012). De acordo com a fase de identificação de parâmetros e conceitos desenvolvidos no Sistema de Informação Geográfico (SIG) e Análise de Decisão Multicritério, foi realizada uma pesquisa de definições dos conceitos geográficos para a delimitação do problema de pesquisa. O tipo de metodologia neste trabalho é classificada como exploratória e de estudo de caso, pois gera uma relação para identificar e construir hipóteses vinculadas ao assunto, entretanto o estudo de caso é baseado na análise profunda e exaustiva de um conjunto de objetos que gera um maior nível de conhecimento, o que é considerado difícil de realizar em outros tipos de pesquisa (GIL, 2008).

Sob o mesmo ponto de vista faz-se a construção de um plano de investigação para execução da pesquisa propriamente dita baseado em conceitos e investigações bibliográficas adquiridos na fase anterior. Também se selecionaram as áreas indicadas para a pesquisa segundo as propriedades geográficas e critérios especificados no processo de localização.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta pesquisa foi estruturada em cinco capítulos descritos a seguir: Introdução; Referencial Teórico e Revisão da Literatura; Descrição do Problema; Proposta de Modelo de Decisão para Localização de Aterro Sanitário; Conclusões e Trabalhos Futuros – então estabelece-se uma sequência de atividades que trabalham em conjunto para o desenvolvimento deste trabalho.

No primeiro capítulo destacam-se os objetivos propostos. No segundo capítulo se define o marco teórico e referencial literário baseado nos métodos, conceitos, ferramentas, programas para o desenvolvimento da investigação.

No terceiro capítulo descreve-se o tipo de problemática desenvolvida nesta pesquisa e uma contextualização da estrutura atual para a gestão dos resíduos sólidos urbanos. Além disso, identificam-se as zonas de delimitação geográfica da cidade.

No quarto capítulo é feita uma proposta de modelo de decisão para localização de aterro sanitário e se descrevem os parâmetros escolhidos para a aplicação das diferentes metodologias.

No capítulo cinco são abordadas as dificuldades encontradas, conclusões, confronto de conceitos, resultados encontrados e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta os conceitos teóricos deste trabalho. Deste modo, o primeiro assunto se refere aos tipos de aterros e desapropriações desenvolvidos na sociedade Pernambucana. Nesse contexto, aparece o sistema de informações geográficas para fornecer suporte tecnológico no uso e aplicação de dados geográficos e por último, a metodologia de tomada de decisão para encontrar a melhor alternativa que depende do tipo de problemática desenvolvida.

### 2.1.1 Aterros de resíduos não perigosos

A posição secundária dos resíduos sólidos dentro dos planos do governo federal contribuiu para a proliferação dos lixões, acompanhado pelo crescimento populacional e urbanístico do país. Desse modo, a aparição do conceito de saneamento ambiental criou uma nova perspectiva da disposição final dos resíduos. No entanto, a redução financeira para os recursos deste tipo de atividade irá gerar desafios econômicos para os municípios no contexto do suporte das coletas, transporte, tratamento, entre outros (NAGASHIMA, *et al.* 2011).

Sob o mesmo ponto de vista, os lixões são áreas de disposição final de resíduos sólidos sem nenhuma preparação anterior do solo. Não tem nenhum sistema de tratamento de efluentes líquidos - o chorume (líquido preto que escorre do lixo). Este penetra pela terra levando substâncias contaminantes para o solo e para o lençol freático. No lixão, o lixo fica exposto sem nenhum procedimento que possa evitar as consequências ambientais e sociais negativas (GONÇALVES, 2016), conforme figura 2.1.

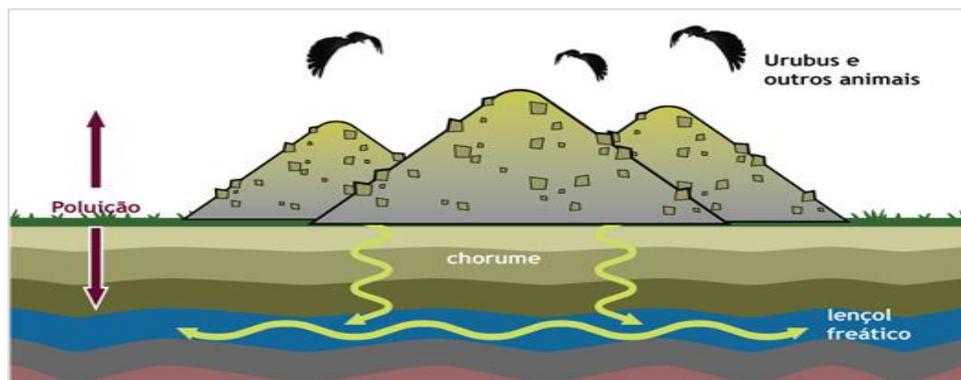


Figura 2.1 - Exemplo de lixão.  
Fonte: GONÇALVES, (2016).

O aterro controlado geralmente é uma célula adjacente ao lixão que foi remediado, ou seja, que recebeu cobertura de argila, grama (idealmente selado com manta impermeável para proteger a pilha da água de chuva) e captação de chorume e gás. Esta célula adjacente é preparada para receber resíduos com uma impermeabilização que procura dar conta dos impactos negativos tais como a cobertura diária da pilha de lixo com terra ou outro material disponível como forração ou saibro. Tem também recirculação do chorume que é coletado e levado para evitar a absorção pela terra ou eventualmente outro tipo de tratamento como uma estação de tratamento para este efluente (GONÇALVES, 2016), conforme a figura 2.2.

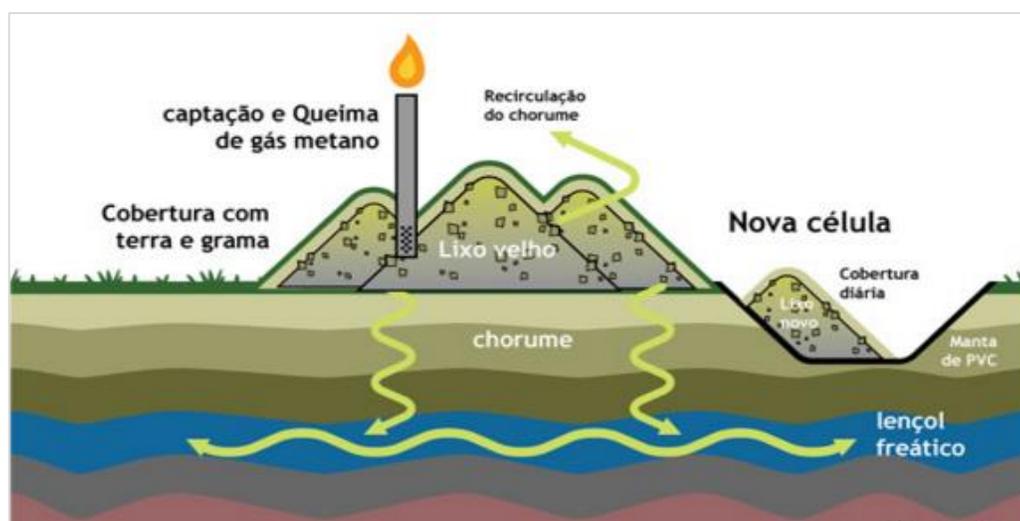


Figura 2.2 - Definição de aterro controlado.

Fonte: GONÇALVES, (2016).

Assim também, a norma NBR 8419 da ABNT define o aterro sanitário como “Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário” – figura 2.3.

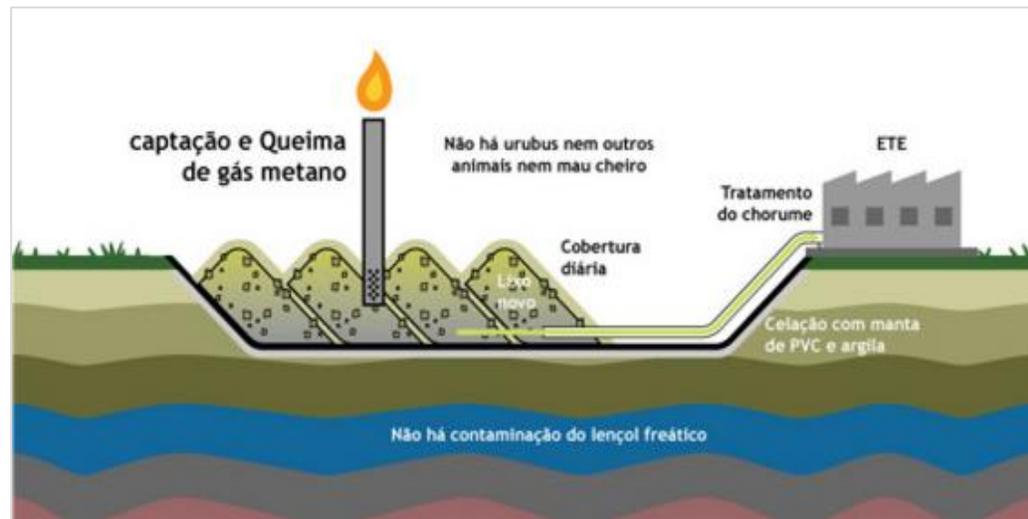


Figura 2.3 - Modelo de um aterro sanitário.

Fonte: GONÇALVES, (2016).

Além disso, existem outras formas de disposição final de lixo que geralmente são dispositivos de suporte para os aterros como Unidades de Compostagem, Unidades de Triagem para Reciclagem e Unidade de Incineração. Do mesmo modo, estas unidades realizam atividades específicas para a decomposição orgânica e tratamento do lixo dentro do processo de destinação final dos resíduos sólidos urbanos (PNRS, 2012).

### 2.1.2 Desapropriação

A lei federal 6766/79 dispõe do uso do solo para diferentes tipos de construção de interesse público como vias de circulação, redes de água, parques, entre outros. O constante crescimento populacional e o desenvolvimento urbano da cidade do Recife impossibilita encontrar zonas livres para alocação de aterros sanitários. Além disso, a delimitação geográfica do Recife restringe este tipo de zonas pelas características ambientais como hidrografia, relevo, unidades de proteção ambiental, núcleos populacionais e outros.

A desapropriação é uma forma originária de aquisição da propriedade, uma vez que a transferência da propriedade ao Poder Público, mediante sua vontade e efetuado o pagamento do preço do bem, não o vinculará em nada ao anterior proprietário (CASTILHO, 2016). Além disso, a desapropriação pode ser um procedimento jurídico pelo qual o proprietário transfere um bem

em troca de uma indenização monetária justificada por uma prévia declaração de necessidade pública, utilidade pública ou interesse social.

Desapropriação por utilidade pública concretiza ações que gerarão comodidade e utilidade ao coletivo em procura de um bem comum (CASTILHO, 2016). Assim mesmo, o decreto lei federal 3365/41 determina a disposição da desapropriação por utilidade pública e regula as condições nas quais pode ser aplicada.

Outro tipo de desapropriação é por interesse social que está envolvido na concretude das finalidades sociais. A aplicação deste tipo de desapropriação está baseada em oferecer o melhor aproveitamento, utilização e produtividade do espaço para o benefício coletivo. O artigo 2º da lei federal 4132/62 define os casos em que pode-se aplicar este tipo de desapropriação.

A desapropriação por necessidade pública é de caráter de urgência, caso não seja realizada no momento certo, poderá gerar prejuízos irreparáveis ao interesse coletivo. Além disso, o artigo 5º do decreto lei federal 3365/41 determina cenários nos quais pode ser aplicado.

## 2.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICO (SIG)

É um sistema hardware/software de informação geográfica espacial que permite a administração de dados para o monitoramento de zonas, áreas, regiões ou cidades. O SIG permite manipulação de dados gráficos e não gráficos de forma integrada, facilitando assim um padrão para consulta e modelagem de informação geográfica.

O primeiro SIG foi desenvolvido no Canadá pelo Departamento Federal de Energia e Recursos CGIS (Canadian Geographical Information System) nos anos 60 por Roger Tomlinson. Ele tinha intenção de criar uma ferramenta para o controle dos dados geográficos canadense e para a gestão do território rural.

O primeiro uso deste método foi para o processamento de dados e análises geográficas. Nos anos 80 denominou-se um software de sistema de informação e nos anos 90 como ciência de informação geográfica. Nos anos 2000 ficou conhecido como sistema de informação geográfica. O sistema ArcInfo da Environment Systems Research Institute (ESRI) foi um dos primeiros sistemas comerciais para computadores.

Em resumo, um Sistema de informação Geográfica (SIG) é um banco de dados contendo uma discreta representação da realidade geográfica na forma estática de objetos geométricos em duas dimensões, com seus atributos associados, com uma funcionalidade limitada para criar novos objetos e computar as relações entre objetos (GOODCHILD, 1991).

Atualmente, o uso de ciências da computação como apoio no gerenciamento da informação melhora os resultados dos estudos de posicionamento global para a pesquisa de malha urbana, redes de drenagem, vias e outros. O uso de representações visuais de regiões é um passo gigante nos processos de localização, delimitação e precisão de zonas para diferentes usos: ambientais, engenharia, estruturais, cartográficos e geográficos.

### 2.2.1 Componentes de um SIG

É formado por um conjunto de subsistemas que trabalham interconectados. Os subsistemas mais importantes são:

- Subsistema de dados: Responsável pela entrada e saída de dados e sua gestão dentro do programa, além de permitir uma conexão entre os outros subsistemas e os dados;
- Subsistema de visualização e criação cartográfica: Cria representações a partir de dados gráficos e não gráficos e permite a edição dos mesmos;
- Subsistema de análises: Uso de métodos e processos para trabalhar com dados.

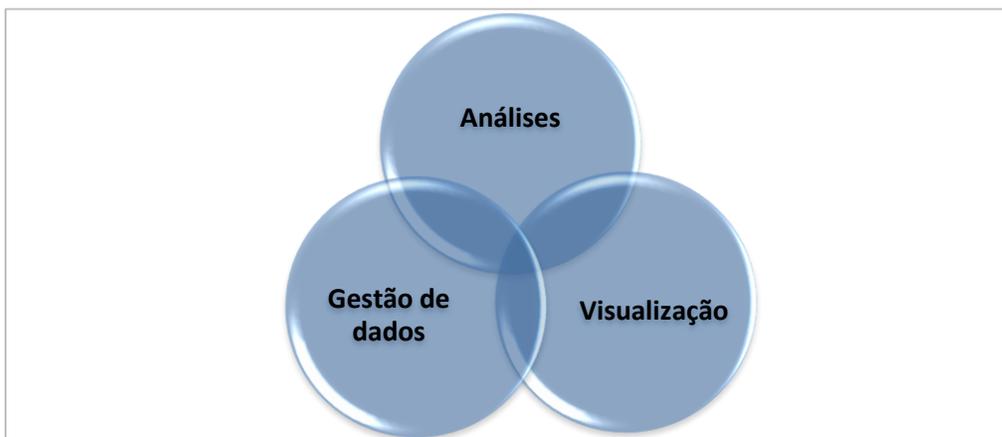


Figura 2.4 - Sistema SIG com seus subsistemas mais importantes.  
Fonte: Olaya, (2011).

Entre os usos mais importantes do SIG se destacam:

- Localização: busca características de um lugar específico;
- Condição: cumprimento ou não de condições impostas aos objetos;
- Tendência: comparação entre situações temporais ou espaciais distintas em alguma característica;
- Rotas: cálculos entre dois caminhos ou um ponto;
- Modelos: criar modelos explicativos a partir do comportamento observado de fenômenos espaciais;
- Material jornalístico: Para aprofundamento jornalístico e pesquisas científicas.

### 2.2.2 Geoprocessamento

O geoprocessamento utiliza um conjunto de dados georreferenciados que usam ferramentas computacionais e tecnológicas para o desenvolvimento de informação cartográfica tais como coordenadas, mapas, cartas entre outros (Emmert, *et al.* 2010). Além disso, a caracterização das áreas de estudo por meio deste tipo de metodologia geram análises que criam suporte para o processo de tomada de decisão, como as distâncias entre pontos de referência.

Nessa concepção das tecnologias que são desenvolvidas nessa área, existem diferentes pontos de ação como Sistema de Informação Geográfica (SIG) que processa dados geográficos para análises espaciais e de superfície ou Sistema de Posicionamento Global (GPS) que é um sistema de posicionamento de satélites para determinar localização de qualquer tipo e Sensoriamento Remoto (SR) utilizado no monitoramento da superfície terrestre.

### 2.2.3 ArcGIS

O Software *ArcGIS* é um dos programas mais completos na área de informação geográfica de engenharia. É uma gama completa do mais alto nível de produtos SIG para geoprocessamento. No processo de avaliação do uso intensivo da terra, geralmente os órgãos do estado fornecem dados com o formato CAD. *ArcGIS* pode realizar a conversão com diferentes formatos de dados, por exemplo, o formato de dados CAD pode ser convertido para o formato SIG. Além disso, os

dados podem ser editados, realizar uma consulta espacial, consulta atributo, verificação de topologia e estatísticas de classificação e exibição de mapa temático usando *ArcGIS*.

O "construtor de modelos" no *ArcGIS* ajuda a construir um modelo, que pode se conectar com uma série de ferramentas de processamentos geográficas para criar um fluxo de trabalho. Este software tem uma diversidade de aplicações para dados geográficos como *ArcGIS Pro*, *ArcMAP*, *ArcGIS Earth*, *ArcGIS Open Data* entre outros.

#### **2.2.4 ArcMAP**

Silva & Machado (2010) classifica o ArcMAP como a aplicação central do Software ArcGIS, onde é possível trabalhar com dados e informações geográficas, gerar mapas e trabalhar com outras diversas questões relacionadas à análise espacial. Ao iniciar o software, o ArcMAP utiliza algumas interfaces, entre elas:

- Tabela de conteúdos (Table of contents): legenda onde se controla as propriedades dos layers;
- Barra de ferramentas padrão (Standard toolbox): nesta barra se encontram os principais botões referentes à barra de menus;
- Barra de ferramentas (tools toolbox): onde se encontram as principais ferramentas do ArcGIS.

Além disso, ArcMAP uma aplicação central em ArcGIS usada para visualizar e desenvolver diferentes tarefas com um conjunto de dados georreferenciados da área de estudo para criar, interagir, editar, imprimir mapas, que também pode-se apresentar como informação geográfica por meio de um conjunto de capas o símbolos.

### **2.3 DECISÃO MULTICRITÉRIO**

Na tomada de decisão, existem fatores ou propriedades para cada critério ou alternativa que influenciam o decisor no momento de realizar a escolha. De Almeida (2013), afirma que um problema de decisão multicritério consiste numa situação, em que há pelo menos duas alternativas de ação para se escolher, e essa escolha é conduzida pelo desejo de se atender a múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si. Tais objetivos estão associados às

consequências da escolha pela alternativa a ser seguida. A esses objetivos são associadas variáveis que os representam e permitem a avaliação de cada alternativa, com base em cada objetivo. Essas variáveis podem ser chamadas de critérios, atributos ou dimensões.

O processo de tomada de decisão tem atores que influenciam a escolha de alternativas:

- Decisor: exerce um papel da decisão final de toda a questão, podendo ser influenciado por outros decisores;
- Analista: formula e trata o problema, ou seja, preocupa-se com a modelagem e a estruturação do problema;
- Cliente: intermediário entre o analista e o decisor;
- Especialista: Responsável por conhecer bem todo o objeto de estudo.

Segundo Roy (1996), podem existir outros atores, que podem ser chamados de terceira parte, e ainda um ator chamado de stakeholder, que tenta influenciar o decisor de alguma outra forma, através de algum tipo de pressão, visto que geralmente é afetado pela decisão a ser tomada.

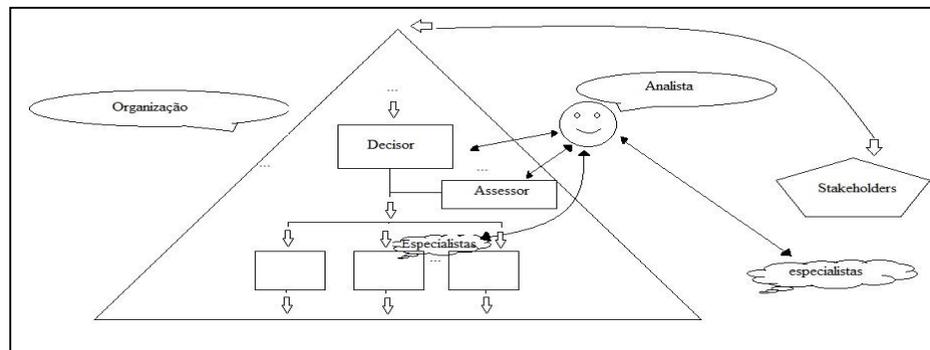


Figura 2.5 - Interação entre os atores no processo decisório e uma organização.  
Fonte: De Almeida, (2013).

Existem alguns procedimentos na literatura para a construção de um modelo de decisão multicritério. A seguir apresentam-se várias perspectivas segundo a visão de Roy (1996) que apresenta como fases para o processo decisório: (a) estabelecer o objeto da decisão e forma da recomendação; (b) análise de consequências e desenvolvimento de critério; (c) modelagem de preferência global com a agregação operacional das performances; (d) investigação e recomendação da recomendação.

O procedimento para construção de um modelo de decisão multicritério apresentado em 3 fases principais (DE ALMEIDA, 2013) são divididas cada uma em várias etapas, elencadas a seguir:

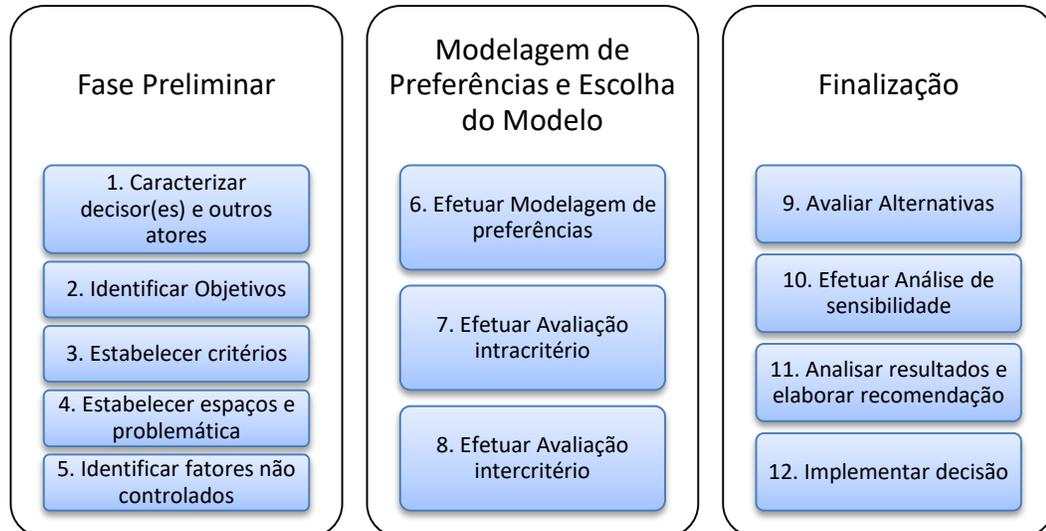


Figura 2.6 - Procedimento para resolução de um problema de decisão.

Fonte: De Almeida, (2013).

Além disso, o decisor procura ter uma perspectiva sobre o conjunto de alternativas para classificar o tipo de problema de decisão a partir dos objetivos iniciais de sua caracterização de alternativas (DE ALMEIDA, 2013). De acordo com Roy (1996), existem vários tipos de problemáticas:

- Problemática  $P.\alpha$  - Problemática de Escolha: tem como objetivo esclarecer a decisão pela escolha de um subconjunto do espaço de ações, sendo chamado de problemática de escolha. O problema de otimização é um caso particular dessa problemática;
- Problemática  $P.\beta$  - Problemática de Classificação: tem como objetivo a alocação de cada ação a uma classe, sendo chamada de problemática de classificação. As diferentes categorias são definidas a priori a partir de normas aplicáveis ao conjunto de ações;
- Problemática  $P.\gamma$  - Problemática de Ordenação: tem como objetivo ordenar as ações, sendo chamada de problemática de ordenação;

- Problemática P.  $\delta$  - Problemática de descrição: tem como objetivo apoiar a decisão através de uma descrição das ações e de suas consequências.

Também pode ser considerada a Problemática de Portfolio, que tem o objetivo de escolher, do conjunto de alternativas, certo subconjunto que atenda aos objetivos, sob determinadas restrições (DE ALMEIDA, 2013).

### 2.3.1 Métodos não compensatórios

No grupo dos métodos compensatórios, tem-se uma ideia de compensar um menor desempenho de uma alternativa em um dado critério por meio de um melhor desempenho em outro critério ( DE ALMEIDA, 2011), enquanto que no grupo dos métodos não-compensatórios há uma requisição por uma informação intercritério correspondente à importância relativa entre os critérios, evitando o favorecimento de ações que possuem um excelente desempenho em um critério mas que sejam fracas nos demais (DE ALMEIDA; COSTA, 2003). Neste grupo, os métodos das famílias PROMETHEE e ELECTRE são os mais utilizados, sendo o grupo ELECTRE utilizado como um procedimento para redução do conjunto de alternativas explorando o conceito de dominância (FARIAS et al., 2013).

### 2.3.2 Métodos de Sobreclassificação

São métodos baseados na comparação par a par entre as alternativas, explorando uma relação de sobreclassificação que tem algumas características que se distinguem fortemente dos métodos de agregação por meio de critério único de síntese. Do mesmo modo, esses métodos não realizam uma agregação analítica para estabelecer um *score* para cada alternativa e apresentam avaliações não compensatórias (DE ALMEIDA, 2013).

Nessa concepção de comparação par a par entre alternativas, relação e exploração de sobreclassificação foram desenvolvidas a família dos métodos Electre. Deste modo, as preferências nos métodos Electre são modeladas usando uma relação binária de sobreclassificação,  $S$ , cujo significado é “pelo menos tão boa quanto”. Considerando duas ações  $a$  e  $b$ , quatro situações podem ocorrer (FIGUEIRA, 2005):

- $aSb$  e não  $bSa$ , i.e.,  $aPb$  ( $a$  é preferível a  $b$ )
- $bSa$  e não  $aSb$ , i.e.,  $bPa$  ( $b$  é preferível a  $a$ )
- $aSb$  e  $bSa$ , i.e.,  $aIb$  ( $a$  é indiferente a  $b$ )
- Não  $aSb$  e não  $bSa$ , i.e.,  $aRb$  ( $a$  é incomparável a  $b$ )

Para a construção da relação de sobreclassificação utilizam-se dois conceitos (DE ALMEIDA, 2013):

- Concordância: o fato de que um subconjunto significativo dos critérios considera que a alternativa  $a$  é fracamente preferível a alternativa  $b$ .
- Discordância: o fato de que não existem critérios em que a intensidade da preferência de  $b$  em relação a alternativa  $a$  ultrapasse um limite inaceitável.

### 2.3.2.1 Pesos dos Critérios

Na família dos métodos Electre, a importância dos coeficientes dos critérios são pesos intrínsecos; eles não podem ser interpretados como taxas de substituição, mas devem ser interpretados como um poder de votação para cada critério. O procedimento revisado de *Simos*, aplicado no programa SRF, fornece os pesos normalizados dos critérios e facilita a elicitação das preferências dos decisores (HAURANT, OBERTI & MUSELLI, 2011).

O procedimento inicia dando a cada decisor  $n$  cartas com o nome dos atributos e  $n$  cartas em branco, todas de igual tamanho. Cada decisor deve ordenar os atributos do menos influente para o mais influente, podendo colocá-los na mesma linha quando considerados com mesmo nível de importância. Cada nível do ranque é considerado como um subconjunto de atributos. O decisor deve inserir cartões brancos quando considerar que a diferença entre subconjuntos sequentes é maior que uma unidade  $u$  (FONTANA, MORAIS & DE ALMEIDA, 2011).

Depois de coletar a elicitação das preferências por parte do decisor, inicia-se a revisão do procedimento definido pela variável  $z$  que é a razão entre a avaliação mais influente e a menos influente.

### 2.3.3 Electre IS

É um método vinculado à área de Multicritério e Tomada de Decisão que foi desenvolvido para solucionar problemas de escolhas que incluem subconjuntos de alternativas tão restritas como seja possível dentro do conjunto finito de todas as alternativas e avaliação de um grupo de critérios. Todas as alternativas que não pertençam ao subconjunto devem ser superadas por pelo menos uma alternativa que pertença ao subconjunto (FIGUEIRA, 2005).

Do mesmo modo, é um modelo melhor desenvolvido para processar problemática de escolha porque é cientificamente mais refinado e inclui uma rigorosa análise de robustez dos resultados (HAURANT, OBERTI & MUSELLI, 2011). O método conserva alguns conceitos do Electre I como concordância, discordância, sobreclassificação e veto (BARBERIS & RÓDENAS, 2002).

A principal novidade é que este método não trabalha com critério verdadeiro, mas com pseudocritério que se relaciona com um limiar duplo (indiferença e preferência) (DE ALMEIDA, 2013). Dessa forma os limiares representam a natureza imperfeita das avaliações e são usadas para modelagem de situações nas quais a diferença entre avaliações associadas com duas ações diferentes sobre um dado critério, estabelece várias posições:

- Justifica a preferência em favor de uma das duas ações (limiar preferência,  $p_j$ ).
- Ser compatível com indiferença entre as duas ações (limiar de indiferença,  $q_j$ )
- Justifica uma indecisão entre escolha de preferência ou indiferença entre duas ações.

O conceito do limiar do veto relaciona-se com a definição de um limite superior além do qual a discordância sobre o entorno “a sobreclassifica b”, não pode superar e permitir uma sobreclassificação. Em outras palavras é uma penalização de alternativas, quando o desempenho de alguns critérios são inaceitáveis.

Esse método foi uma extensão do Electre I, baseado em um duplo objetivo: o primeiro foi a utilização de limiares de preferência e indiferença nulos para certo conjunto de critérios; e em segundo lugar um reforço do efeito do veto quando a importância da coalizão da concordância decresce. Desse modo, o conceito de concordância e não veto mudam (FIGUEIRA, 2005).

Esta ideia é um reforço do efeito do veto e permite construir classes verdadeiras e também definir um ciclo gráfico dessas classes, para garantir a existência de um único kernel

(FIGUEIRA, 2005). O limiar de veto  $v_j$  pode ser avaliado para estabelecer um limite na compensação de um mau desempenho em um critério por bons desempenhos de pelo menos outro critério (HAURANT, OBERTI & MUSELLI, 2011).

### 2.3.4 Electre II

Esse método foi o primeiro da família Electre desenvolvido para problemáticas de ordenação ou ranking, usa critério verdadeiro e aplica uma técnica baseada na construção de relações de sobreclassificação (FIGUEIRA, 2005). O objetivo do Electre II é escolher as alternativas preferidas na maioria dos critérios que não ultrapassem um nível de desconforto definido pelo decisor (GOMES & COSTA, 2011).

O procedimento do método é desenvolvido em dois estágios de preordenação. No primeiro estágio define-se uma preordenação progressiva e, no segundo, a regressiva. As duas preordenações obtidas, possivelmente, são diferentes, porém próximas. No caso de preordenações diferentes, as mesmas são combinadas em uma ordenação final através da posição média entre elas (GOMES & COSTA, 2011).

Nesse método são construídas duas relações de sobreclassificação:

- Relação de sobreclassificação forte:  $S^F$
- Relação de sobreclassificação fraca:  $S^f$

Além disso, estabelecem-se dois limiares de concordância  $c^+$  e  $c^-$  e dois limiares de discordância  $d^+$  e  $d^-$ . Sendo  $c^+ > c^-$ ,  $d^+ < d^-$ . Dessa forma, os limiares estabelecem os intervalos de aceitação e penalização das alternativas pelo desempenho dos critérios.

A segunda condição à relação de sobreclassificação, relativa à soma dos pesos, equivale a ter  $C(a,b) > C(b,a)$ . Essa condição reduz a possibilidade de duas alternativas sobreclassificarem uma a outra simultaneamente. Na segunda etapa de exploração da relação de sobreclassificação, aplica-se um procedimento para efetuar dois rankings das alternativas, usando as duas relações de sobreclassificação.

Finalmente estabelecem-se dois rankings que aplicam  $S^F$  e  $S^f$ . O primeiro começa com as melhores alternativas, seguindo uma ordem decrescente, e o segundo ranking começa com as piores, seguindo uma ordem crescente (DE ALMEIDA, 2013).

## 2.4 REVISÃO DA LITERATURA

Com relação a aplicação do procedimento *Simos* e o método abordagem multicritério Electre IS Haurant, Oberti & Muselli (2011) propõe um estudo de caso “Multicriteria selection aiding related to photovoltaic plants on farming fields on Corsica island: A real case study using the ELECTRE outranking framework.” Com o objetivo de escolher locais para usinas de energia fotovoltaica.

A área de aplicação foi na parte superior da ilha Córsega na França. A metodologia consistiu em duas fases: a primeira fase foi a pré-eliminação de sítios inviáveis, e a segunda fase foi a avaliação dos sítios disponíveis baseado em parâmetros de energéticos, geoeconômicos, ecológicos, impacto visual, uso territorial e efeito financeiro.

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) foram usados para gerar camadas de dados e para aplicar os critérios de eliminação e restrições relacionados a fatores geológicos, visuais e distância. As instituições públicas interessadas neste tipo de projetos aplicam ferramentas específicas para selecionar os projetos mais relevantes entre os numerosos projetos.

Vários Critérios de Análise de Decisão (MCDA) foram usados para selecionar dentro dos 16 projetos iniciais de usinas fotovoltaicas propostas que provavelmente serão implementados em campos agrícolas na planície oriental e no bairro de Bastias. Neste trabalho determinou-se as principais etapas do método Electre IS por meio da identificação dos critérios, restrições, níveis de concordância e alternativas do problema em estudo.

Utilizando o método Electre IS com base nos critérios estabelecidos e de acordo com os pesos e níveis de concordância determinados pelos decisores, foram escolhidos 4 dos 16 projetos iniciais. A robustez do método foi testada para todos os conjuntos dos pesos dos critérios e diferentes níveis de concordância aplicados.

Sob o mesmo ponto de vista foi aplicado por ATICI et al., (2015) o SIG em conjunto com MCDA na pesquisa para escolher uma área que contenha os requisitos para localizar uma usina de energia eólica. A área de aplicação foi o ocidente da Turquia. A metodologia consistiu em duas fases: a primeira fase é a pré-eliminação de sítios inviáveis, e a segunda fase é a avaliação dos sítios disponíveis.

Sistemas de Informação Geográfica (SIG) foram usados para gerar camadas de dados e para aplicar os critérios de eliminação e restrições. Os locais ou sítios foram tratadas em termos de redes de porte idênticos, grandes o suficiente para instalar uma turbina eólica em cada uma. Vários Critérios de Análise de Decisão (MCDA) foram usados para classificar e ordenar as redes através dos critérios de avaliação identificados. O problema foi avaliado em 13 campos, que são um conjunto de várias redes a fim de avaliar as áreas de maior potencial para a construção de parques eólicos em vez de turbinas individuais (ATICI et al., 2015).

SMAA-TRI foi o primeiro método SMAA para o problema de classificação. SMAA-TRI gera um índice de aceitabilidade para todos os pares de alternativas e categorias. O índice da categoria descreve a estabilidade dos parâmetros que atribuem incerteza (TERVONEN et al., 2009).

## 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dessa forma, o referencial teórico e revisão da literatura mostram os conceitos aplicados nos aterros de resíduos não perigosos e esclarece as diferenças entre a destinação do lixo num aterro sanitário, aterro controlado e lixão. Além disso, indica os tipos de desapropriações que são realizadas pelo governo para transferência de uma propriedade para o poder público. Nesse contexto, é aplicado o SIG que apresenta a gestão dos dados baseados num conjunto de coordenadas específicas que podem determinar as características das diferentes áreas avaliadas.

Do mesmo modo, é aplicada a abordagem de decisão multicritério que revela o procedimento para encontrar a alternativa solução por meio dos métodos Electre IS e Electre II. Para finalizar, na revisão da literatura fica evidenciado que a combinação dos conceitos do SIG e abordagem de decisão multicritério podem gerar resultados com alto grau de robustez.

### 3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Este capítulo descreve a problemática atual do Recife com a gestão e controle da destinação final do RSU. Além disso, o capítulo esclarece os diferentes planos de resíduos sólidos, aplicados como diretrizes estabelecidas pelo governo e a estrutura administrativa para este tipo de atividade. Para finalizar, este capítulo também estabelece a delimitação da área de estudo e a estrutura político-administrativa da cidade.

#### 3.1 PLANOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com a Lei Federal N° 12305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), foram estabelecidas diretrizes para a gestão integral e o gerenciamento dos resíduos sólidos para enfrentar as dificuldades ambientais e socioeconômicas do país.

Essa política fundamentou a elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos que propõe a prevenção e redução da geração de resíduos por meio de uma metodologia prática de hábitos de consumo sustentável para fortalecer o processo da reciclagem dentro da cidadania. Desse modo, estabelece-se uma diferenciação de conceitos na reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que pode ser reutilizado ou reciclado, por exemplo, garrafas plásticas) e a destinação final dos rejeitos (aquilo que não é reutilizável ou reciclado).

Além disso, ela determina as responsabilidades dos geradores de resíduos como fabricantes, importadores, comerciantes, cidadãos e responsáveis pelo manejo de resíduos urbanos na logística reversa do pós-consumo de embalagens e produtos recicláveis. Nesse contexto do controle da geração de resíduos, também define metas de cumprimento que contribuem para a eliminação de lixões dando lugar a instrumentos de planejamento no nível intermunicipal, microrregional, estadual e nacional.

Dessa forma o Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Pernambuco e o Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana de Recife são instrumentos de diagnóstico, planejamento e controle da gestão de resíduos sólidos nesta área do país.

A figura a seguir descreve a caracterização dos diferentes planos de resíduos sólidos existentes:



Figura 3.1 - Planos de Resíduos Sólidos.  
Fonte: Machado, (2016).

Por outro lado, o diagnóstico gerado pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos estabelece que, no Brasil, em 2008, foram encaminhados para destinação final 188.815 toneladas por dia de resíduos sólidos domiciliares, urbanos e/ou públicos, gerando uma taxa de 1,2 quilogramas por habitante por dia (kg/hab./dia). De acordo com a tabela 3.1, o Nordeste é a segunda região com maior quantidade de resíduos:

Tabela 3.1 - Quantidade de resíduos destinados

<b>Unidade de análise</b>	<b>Quantidade de resíduos encaminhados para destinação final (t/dia)</b>	
	<b>2000</b>	<b>2008</b>
<b>Brasil</b>	<b>140.080,0</b>	<b>188.864,9</b>
<b>Norte</b>	10.929,0	14.229,2
<b>Nordeste</b>	<b>33.876,7</b>	<b>55.723,2</b>
<b>Sudeste</b>	67.656,1	84.277,0
<b>Sul</b>	16.893,2	21.929,3
<b>Centro-Oeste</b>	10.725,0	12.706,2

Fonte: Plano nacional de resíduos sólidos, (2012).

Do mesmo modo na análise detalhada do PNSB para o ano 2008, a destinação final dos RSU para cada região com presença de aterros sanitários, aterros controlados e lixões são liderados pelo Nordeste com 63% dos lixões, 13% dos aterros controlados e um desempenho regular dos 23% dos aterros sanitários do Brasil, sendo a segunda região com maior população do país:

Tabela 3.2 - Quantidade de resíduos encaminhados para lixão, aterro controlado e sanitário.

Unidade de análise	Quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição no solo, considerando somente lixão, aterro controlado e aterro					
	Lixão		Aterro Controlado		Aterro Sanitário	
	2000	2008	2000	2008	2000	2008
<b>PNSB</b>						
<b>Norte</b>	6.148,50	4.892,50	3.221,80	4.688,20	1.350,20	4.540,60
<b>Nordeste</b>	<b>20.579,60</b>	<b>23.461,50</b>	<b>6.113,10</b>	<b>6.819,00</b>	<b>6.714,90</b>	<b>25.246,60</b>
<b>Sudeste</b>	11.521,00	3.636,20	15.685,60	16.767,00	32.568,40	61.576,80
<b>Sul</b>	4.645,80	1.432,80	4.698,80	3.485,00	5.882,10	15.293,10
<b>Centro-Oeste</b>	2.589,80	3.937,80	4.135,00	4.914,00	3.098,90	3.387,30
<b>TOTAL</b>	<b>45.484,70</b>	<b>37.360,80</b>	<b>33.854,30</b>	<b>36.673,20</b>	<b>49.614,50</b>	<b>110.044,40</b>

Fonte: Plano nacional de resíduos sólidos, (2012).

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2008, mais de 90% dos resíduos em massa têm destinação final em aterros sanitários, aterros controlados e lixões e o restante distribuído entre unidades de compostagem, unidades de triagem e reciclagem, unidades de incineração, vazadouros em áreas alagadas e outros destinos. A partir desta análise, a quantidade de resíduos sólidos para disposição final é combinada com o tamanho da população. Essa conexão deu lugar à criação da taxa de geração per capita que associa a quantidade de resíduos sólidos gerados diariamente com o número de habitantes por cidade.

“Para os resíduos sólidos urbanos são avaliadas as produções domiciliares, ou seja, aquela resultante das atividades domésticas e comerciais e a produção de resíduos públicos referentes aos serviços de limpeza de vias e logradouros, capinação e podaço”. (Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. *Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Pernambuco*. Recife, 2012).

Dessa forma, no Plano Estadual de Resíduos Sólidos determina a média da taxa de geração *per capita* por região para calcular a quantidade de resíduos gerados. Nessa análise, a

taxa de geração *per capita* de Pernambuco é de 1,05 kg/hab.dia, que é próxima ao valor representativo do país 1,2 kg/hab.dia, definido pelo PNSB de 2008.

Relacionando essa taxa com tamanho da população, estabelece-se a produção de resíduos sólidos como mostra a tabela 3.3 a seguir. Recife é uma das cidades com maior taxa de geração de resíduos sólidos de 1,58 kg/hab.dia e produção total de resíduos sólidos de 2.462,15 ton./dia.

Tabela 3.3 - Taxa de Geração per capita e Produção de Resíduos Sólidos por Município.

RD <sub>s</sub>	MUNICÍPIO	TAXA DE GERAÇÃO PER CAPITA Kg/hab.dia	POPULAÇÃO 2012	PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS			PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO		PROJEÇÃO DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	
				2012			2014	2016	(t/ano)	
				(t/dia)	(t/mês)	(t/ano)			2014	2016
METROPOLITANA DO RECIFE	ABREU E LIMA	1,16	95.476	110,47	313,97	40.319,99	96.523	97.224	40.762,15	41.058,18
	ARAÇOIABA	0,62	18.867	11,75	352,62	4.290,15	19.577	20.056	4.451,71	4.560,63
	CABO DE SANTO AGOSTINHO	2,41	191.272	460,97	13.828,97	168.252,41	197.519	201.667	173.747,59	177.396,38
	CAMARAGIBE	1,01	147.533	149,30	4.476,10	54.495,74	150.600	152.639	55.628,63	56.381,79
	FERNANDO DE NORONHA	1,18	2.722	3,21	96,34	1.172,15	2.813	2.874	1.211,56	1.237,83
	IGARASSU	0,84	105.804	88,98	2.669,43	32.478,12	109.587	112.131	33.639,37	34.420,29
	ILHA DE ITAMARACÁ	2,28	22.921	52,17	1.565,01	19.040,98	23.957	24.462	19.902,04	20.321,56
	IPOJUCA	1,28	83.465	107,17	3.215,05	39.116,47	86.292	88.216	40.441,61	41.343,31
	ITAPISSUMA	0,70	24.543	17,18	515,40	6.270,74	25.317	25.850	6.468,49	6.604,68
	JABOATÃO DOS GUARARAPES	1,07	656.834	702,16	21.064,67	256.286,77	669.048	677.195	261.052,49	264.231,33
	MORENO	0,66	58.758	38,96	1.168,70	14.219,14	60.820	62.176	14.718,14	15.046,28
	OLINDA	0,92	378.146	346,76	10.402,78	126.567,19	378.512	379.500	126.689,86	127.020,55
	PAULISTA	1,07	307.937	327,95	9.838,59	119.702,81	315.408	320.360	122.606,97	124.531,94
	RECIFE	<b>1,58</b>	<b>1.559.305</b>	<b>2.462,14</b>	<b>73.864,25</b>	<b>898.681,00</b>	<b>1.580.905</b>	<b>1.595.618</b>	<b>911.130,88</b>	<b>919.610,50</b>
	SÃO LOURENÇO DA MATUA	0,98	105.346	103,13	3.097,01	37.643,81	107.797	109.417	38.519,64	39.098,52
	<b>TOTAL DA REGIÃO</b>	<b>1,18</b>	<b>3.758.926</b>	<b>4.982,3</b>	<b>146.468,9</b>	<b>1.818.538,2</b>	<b>3.824.675</b>	<b>3.869.385</b>	<b>1.850.971,1</b>	<b>1.872.863,77</b>

Fonte: Plano Estadual de Resíduos Sólidos, (2012).

### 3.1.1 Estrutura Administrativa para Coleta dos RSU em Recife

Na estrutura operacional atual das cidades, na execução de coleta realizam-se operações similares dependendo do tamanho de município. Se o município é pequeno, a coleta é realizada pela Prefeitura, mas se é mediano ou grande, a tarefa pode ser terceirizada ou feita por um consórcio entre prefeitura e/ou terceiros.

Na cidade de Recife a coleta de resíduos sólidos urbanos de origem doméstica ou comercial é terceirizada através de um contrato de prestação de serviços com empresas especializadas em parceria com a Prefeitura de Recife. Neste contexto foi criada a EMLURB (Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana do Recife), empresa pública vinculada à Secretaria

de Serviços Públicos da Prefeitura do Recife, cujo objetivo é a manutenção e conservação do sistema viário e das áreas verdes, a implantação e manutenção da rede de drenagem, a pavimentação e a iluminação pública, bem com a limpeza urbana. (Prefeitura de Recife, *Secretaria de Serviços Públicos do Recife*).

Na seguinte tabela o PMRS estabelece uma comparação de cenários que analisa os resultados obtidos ao instalar um aterro sanitário para cada município ou que seja em consórcio entre vários municípios.

Tabela 3.4 - Avaliação comparativa dos cenários.

MUNICÍPIOS	CUSTO DE IMPLANTAÇÃO			CUSTO DE OPERAÇÃO		
	Individualização	Consortiado	Redução/aumento no investimento	Individualização	Consortiado	Redução/aumento na despesa
Abreu e Lima	1.463.323,66	1.306.838,38	-156.485,28	80.800,00	54.944,00	-25.856,00
Araçoiaba	598.739,68	237.163,12	-361.576,56	11.060,00	5.372,00	-5.688,00
Cabo de Sto. Agostinho	2.768.528,88	2.352.662,64	-415.866,24	303.075,00	206.091,00	-96.984,00
Camaragibe	2.095.122,38	1.905.160,92	-189.961,46	105.225,00	84.180,00	-21.045,00
Igarassu	1.523.100,21	1.360.222,53	-162.877,68	61.175,00	41.599,00	-19.576,00
Ipojuca	1.182.083,24	1.055.673,32	-126.409,92	78.273,00	49.283,00	-28.990,00
Itamaracá	639.118,48	253.157,32	-385.961,16	43.120,00	20.944,00	-22.176,00
Ipatissuma	566.972,14	331.304,42	-235.667,72	14.880,00	8.432,00	-6.448,00
Jaboatão dos Guararapes	9.537.263,76	9.738.559,72	201.295,96	445.020,00	378.267,00	-66.753,00
Moreno	846.988,94	740.778,36	-106.210,58	28.944,00	21.440,00	-7.504,00
Olinda	4.956.444,32	5.589.944,84	633.500,52	241.252,00	186.422,00	-54.830,00
Paulista	999.733,68	4.510.953,66	511.219,98	225.962,00	174.607,00	-51.355,00
<b>Recife</b>	<b>21.981.558,62</b>	<b>21.830.091,80</b>	<b>-151.466,82</b>	<b>1.261.332,00</b>	<b>1.335.528,00</b>	<b>74.196,00</b>
São Lourenço da Mata	1.519.989,63	1.329.386,22	-190.603,41	71.075,00	56.860,00	-14.215,00
<b>TOTAL</b>	<b>50.678.967,62</b>	<b>52.541.897,25</b>	<b>-1.137.070,37</b>	<b>2.971.193,00</b>	<b>2.623.969,00</b>	<b>-347.224,00</b>

Fonte: Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos de Recife, (2013).

Nota-se que para a cidade de Recife o custo de implantação de um aterro sanitário individualizado é maior do que se fosse consorciado. Essa diferença acarreta em um valor negativo de R\$ 151.466,82, entretanto o custo de operação mensal individualizado é menor que o custo de operação consorciado por uma diferença positiva de R\$74.196,00. Na aplicação pode-se verificar que o custo de instalação só se aplica uma vez e o custo de operação é mensal. Construindo o aterro sanitário individualizado, a diferença positiva dos custos de operação em um ano que são R\$ 890.352,00 (74.196,00 x 12 meses) pode absorver os R\$ 151.466,82 que é sobrecusto por não ser consorciado.

Na tabela a seguir é feita uma comparação da recuperação dos custos obtida da gestão individualizada com as despesas de operação e destino final e de receitas do ICMS (Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação).

Tabela 3.5 - Comparação dos custos de operação vs ICMS.

<b>Tipo de Solução</b>	<b>Custo de Operação (Mensal)</b>	<b>Simulação de Receita do ICMS-Socioambiental (Mensal)</b>	<b>Diferença</b>
<b>Individualizada</b>	<b>R\$ 1.261.332,00</b>	<b>R\$ 1.244.447,36</b>	<b>-R\$ 16.884,64</b>
Consoiciada	R\$ 1.335.528,00	R\$ 1.244.447,36	-R\$ 91.080,64

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Bem como mostra a tabela anterior, os custos de operação são absorvidos pela receita do ICMS. Além disso, mostra que a diferença para atingir o custo de operação individualizado é muito menor comparado com o custo de operação consorciado.

### 3.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA

Atualmente a administração e controle dos resíduos sólidos urbanos e/ou públicos é uma tarefa com alto grau de dificuldade, pela tendência do crescimento da produção de resíduos por parte da sociedade. As pesquisas de proteção ambiental propõem a participação cultural das pessoas na criação de espaços ecológicos e treinamentos sobre resíduos sólidos para reduzir a geração de lixo nas cidades (PEREIRA & CURI, 2012).

Desse modo, as empresas, população e governo pensam em se livrar dos resíduos a qualquer custo pela qual a destinação final dos resíduos são lixões, aterros controlados ou, no melhor dos cenários, aterros sanitários. Conforme a Lei Federal 12.305/2010 não deve existir lixões até 2014 e as prefeituras das cidades devem assumir a gestão integral dos resíduos sólidos desde sua coleta até a destinação final.

Nesse contexto encontra-se a cidade do Recife, a terceira maior cidade do nordeste, com população estimada de 1.617.873 habitantes numa área de 218.435 km<sup>2</sup> (IBGE 2015). Assim Recife realiza a coleta de resíduos sólidos urbanos por meio de uma empresa pública da prefeitura que é a EMLURB em união com empresas de engenharia sanitária terceirizadas.

Os resíduos sólidos da cidade eram encaminhados para o lixão de Muribeca, que posteriormente foi transformado em aterro controlado e que se encontra numa etapa de saneamento ambiental. Por isso, Recife realizou um acordo de prestação de serviços com a prefeitura do Jaboatão dos Guararapes para destinar os resíduos sólidos urbanos da cidade e os rejeitos do aterro controlado da Muribeca para o CTR de Candeias.

Para um melhor uso, gestão e articulação dos recursos administrativos o município foi dividido em várias regiões, e estas em microrregiões de acordo com a Lei Municipal 16.293/97 do Recife no Art.1 “O Município do Recife é dividido em 6 Regiões Político-Administrativas - RPA’s, para efeito de formulação, execução e avaliação permanente das políticas e do planejamento governamentais.”

A figura 3.2 apresenta os bairros, as microrregiões que compõem cada uma das RPA do Recife:

**RPA 1**

- Microrregião 1.1  
 1. Recife  
 2. Santo Amaro

Microrregião 1.2

3. Boa Vista  
 4. Soledade  
 5. Paissandu  
 6. Ilha do Leite  
 7. Santo Antônio  
 8. São José  
 9. Cabanga

Microrregião 1.3

10. Coelhos  
 11. Ilha Joana Bezerra

**RPA 2**

Microrregião 2.1

12. Torreão  
 13. Campo Grande  
 14. Encruzilhada  
 15. Hipódromo  
 16. Rosarinho  
 17. Ponto de Parada  
 18. Arruda  
 19. Peixinhos  
 20. Campina do Barreto

Microrregião 2.2

21. Cajueiro  
 22. Fundão  
 23. Água Fria  
 24. Bomba do Hemetério  
 25. Alto Santa Teresinha  
 26. Porto da Madeira

Microrregião 2.3

27. Beberibe  
 28. Linha do Tiro  
 29. Dois Unidos

**RPA 3**

Microrregião 3.1

30. Derby  
 31. Graças  
 32. Espinheiro  
 33. Afritos  
 34. Jaqueira  
 35. Tamarineira  
 36. Pamamirim  
 37. Santana  
 38. Poço  
 39. Casa Forte  
 40. Casa Amarela  
 41. Monteiro  
 42. Alto do Mancú  
 43. Apipucos  
 44. Dois Irmãos  
 45. Sítio dos Pintos

Microrregião 3.2

46. Mangabeira  
 47. Alto José do Pinho  
 48. Morro da Conceição  
 49. Alto José Bonifácio  
 50. Vasco da Gama

Microrregião 3.3

51. Brejo do Beberibe  
 52. Nova Descoberta  
 53. Macaxeira  
 54. Córrego do Jenipapo  
 55. Brejo da Guabiraba  
 56. Passarinho  
 57. Guabiraba  
 58. Pau-Ferro

**RPA 4**

Microrregião 4.1

59. Ilha do Retiro  
 60. Prado  
 61. Madalena  
 62. Torre  
 63. Zumbi  
 64. Cordeiro  
 65. Iputinga

Microrregião 4.2

66. Torrões  
 67. Engenho do Meio

Microrregião 4.3

68. Cidade Universitária  
 69. Caxangá  
 70. Várzea

**RPA 5**

Microrregião 5.1

71. Afogados  
 72. Bongi  
 73. Mustardinha  
 74. Mangueira  
 75. San Martin

Microrregião 5.2

76. Jiquiá  
 77. Estância  
 78. Areias  
 79. Caçote

Microrregião 5.3

80. Curado  
 81. Totó  
 82. Coqueiral  
 83. Sancho  
 84. Tejipió  
 85. Jardim São Paulo  
 86. Barro

**RPA 6**

- Microrregião 6.1  
 87. Brasília Terosa  
 88. Pina  
 89. Boa Viagem  
 90. Imbiribeira  
 91. Ipsep

Microrregião 6.2

92. Ibura  
 93. Jordão

Microrregião 6.3

94. Cohab

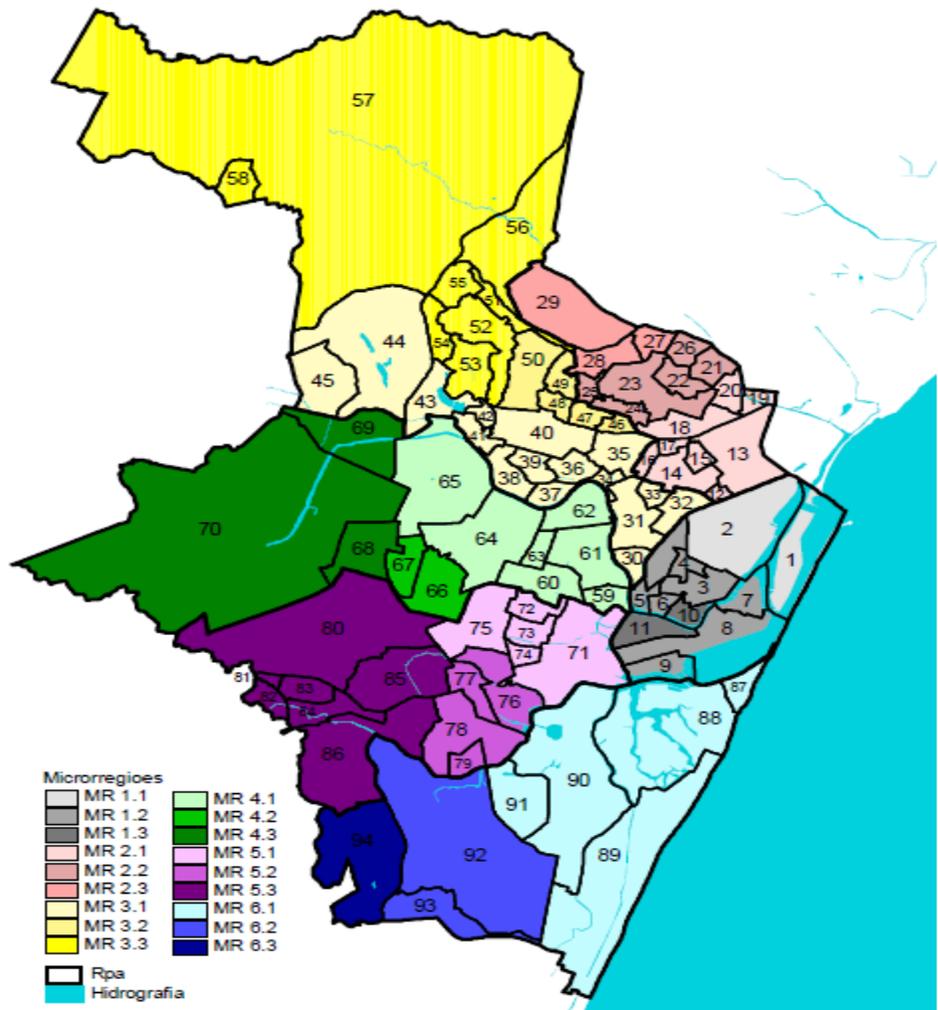


Figura 3.2 -Regiões Política Administrativas e Bairros do Recife.

Fonte: Mosaico Urbano de Recife, (2008).

RPA 1 é uma das regiões com menor tamanho da população com 78.114 habitantes numa área de 15.360.000 m<sup>2</sup>, subdivida em 11 bairros. Dispõe da maior quantidade de ZEPH (Zonas Especiais de Preservação Históricas Culturais), que são conjuntos antigos de relevante expressão arquitetônica, histórica e cultural por sua localização perto da desembocadura do rio Capibaribe.

A RPA 2 é composta por uma população de 221.134 habitantes numa área de 14.110.000 m<sup>2</sup>, subdividido em 18 bairros. Também dispõe da maior quantidade de ZEIS (Zonas Especiais de Interesse Social) que são assentamentos habitacionais da população de baixa renda, surgidos espontaneamente regulamentadas pela Lei de Uso e Ocupação do Solo da Cidade do Recife.

A RPA 3 é a região com maior tamanho populacional com 312.611 habitantes numa área de 77.350.000 m<sup>2</sup>, subdividido em 28 bairros. Nessa região tem a maioria das ZEPA (Zonas Especiais de Proteção Ambiental do Recife) que são áreas de interesse ambiental e paisagística única e apresentam características naturais excepcionais.

A RPA 4 formada por uma população de 278.947 habitantes numa área de 42.120.000 m<sup>2</sup> subdividido em 12 bairros. Essa região apresenta as ZEPA e ZEIS perto das fronteiras.

A RPA 5 está composta por uma população de 263.778 habitantes numa área de 29.960.000 m<sup>2</sup>, subdividido em 16 bairros. Dispõe de um sistema viário múltiplo porque é atravessada por várias faixas principais de rodovias e conta com uma ZEPA destinada para parques ecológicos.

A RPA 6 é a região com maior tamanho da população de 382.650 habitantes numa área de 38.920.000 m<sup>2</sup>, subdividido em 8 bairros. Tem a maior extensão de malha viária da cidade.

### 3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto da articulação dos recursos administrativos da cidade, a gestão e controle da destinação final do lixo é uma atividade primordial do serviço do saneamento básico da comunidade. A combinação do suporte estabelecido pelo governo nos planos de resíduos e a estrutura administrativa de prefeitura são as ferramentas principais para gerir a destinação final do lixo nas cidades. Além disso, a participação cidadão e a inclusão dos aterros sanitários dentro da cultura do lixo, são o suporte ideal para alcançar as diretrizes definidas do governo de finalizar a operação dos lixões.

## 4 PROPOSTA DE MODELO DE DECISÃO PARA LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

Neste capítulo, descreve-se a sequência de conceitos e ações para identificar os critérios principais para alocar um aterro sanitário dentro da cidade de Recife/PE por meio de Sistema de informação geográfica (SIG) em conexão com os métodos de sobreclassificação Electre que fazem parte da metodologia de decisão multicritério.

Desse modo, identifica-se a delimitação das áreas dentro da cidade que serão avaliadas por meio dos critérios para implantação e alocação de aterros descritos na norma NBR 13896 da ABNT (Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação). A partir dessa informação estabelece-se uma matriz de decisão que fornece os parâmetros iniciais para a aplicação dos métodos de decisão multicritério para determinar a melhor alternativa.

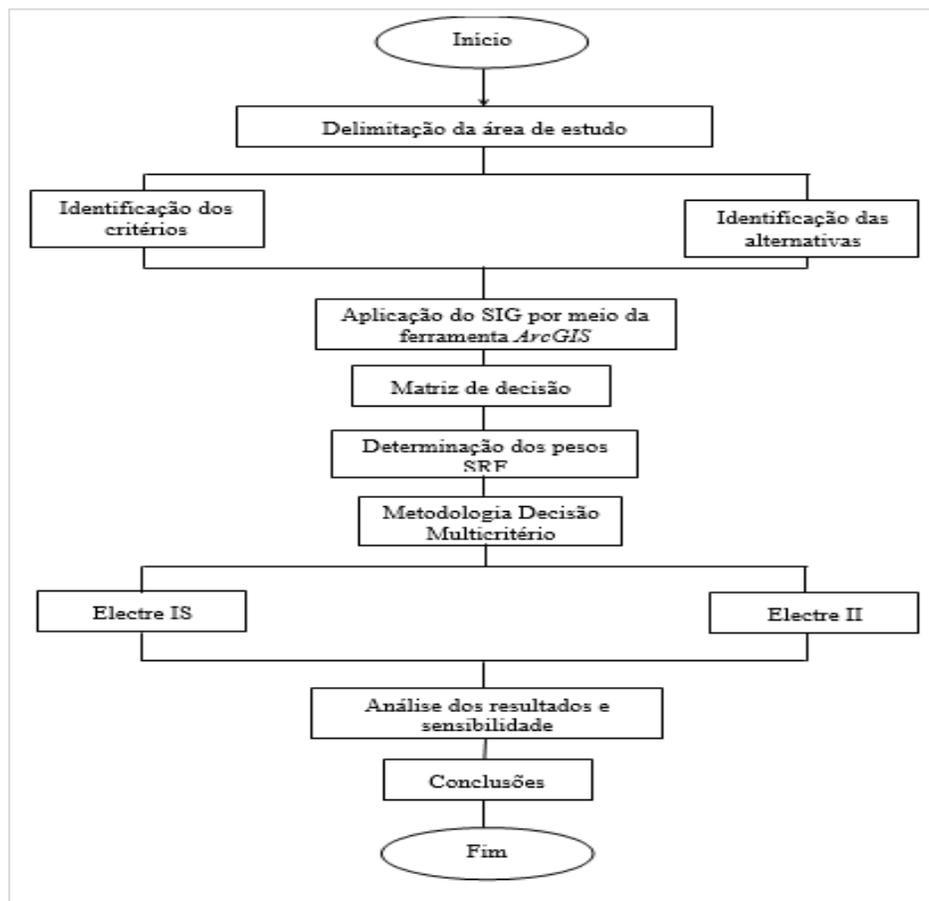


Figura 4.1- Fluxograma da sistemática implementada.  
Fonte: Esta pesquisa (2017).

#### 4.1 IDENTIFICAÇÃO DE ALTERNATIVAS

A delimitação da área de estudo é focada nas regiões político- administrativas do Recife. A ideia inicial era procurar uma área disponível para o aterro sanitário para cada uma das 6 RPA's e que cada uma fosse uma alternativa, mas pelo fato dos diversos condicionantes tais como: densidade demográfica, zonas de proteção ambiental, hidrografia, malha viária as alternativas foram reduzidas.

Consequentemente as RPA 1 e 4 não possuem áreas disponíveis, Recife passou de 6 para 4 alternativas, combinando as RPA pela proximidade das áreas como pode-se perceber na seguinte figura:

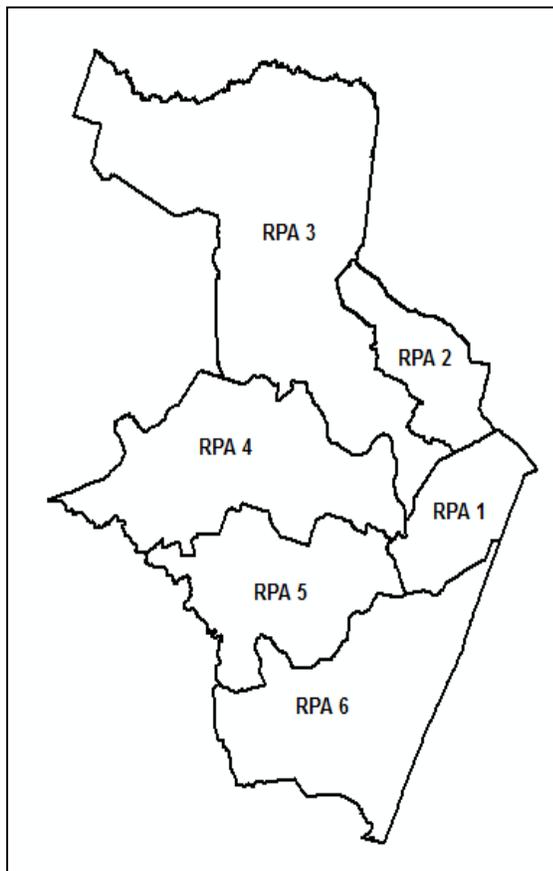


Figura 4.2- Modelo inicial das RPA  
Fonte: Esta pesquisa (2017).

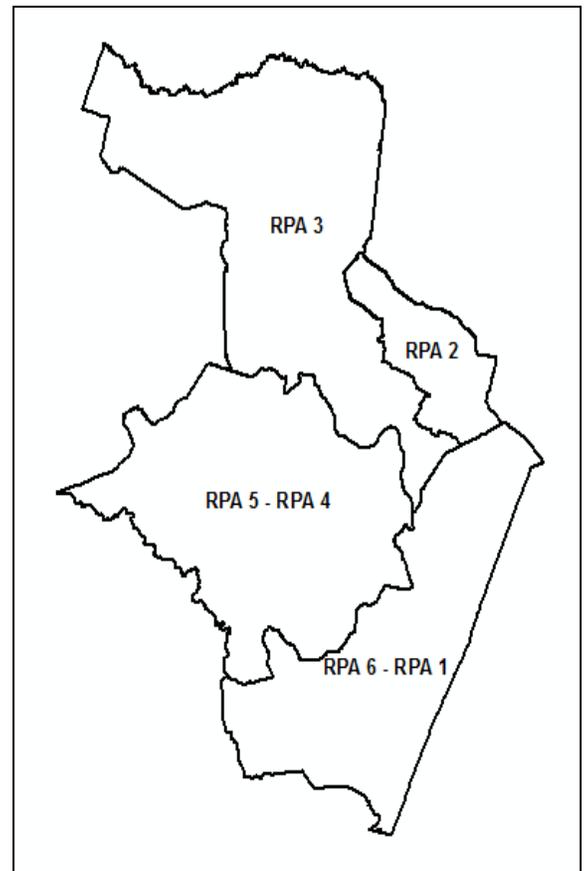


Figura 4.3 – Modelo com RPA combinadas.  
Fonte: Esta pesquisa (2017).

Desse modo estabelecem-se a união das RPA's para determinar as alternativas de escolha da seguinte forma:

Tabela 4.1 - Conjunto de alternativas.

<b>RPA´s</b>	<b>Alternativas</b>
<b>RPA 6 – RPA 1</b>	<b>1</b>
<b>RPA 2</b>	<b>2</b>
<b>RPA 3</b>	<b>3</b>
<b>RPA 5 – RPA 4</b>	<b>4</b>

Fonte: Esta pesquisa (2017).

## 4.2 IDENTIFICAÇÃO DE CRITÉRIOS

Estabelecida a delimitação da área de estudo e as alternativas, prossegue a identificação dos critérios principais para a valoração das alternativas de escolha. Desse modo Montañó *et al.* (2012) definem a integração de critérios técnicos, sociais, ambientais no conjunto de conceitos relevantes na investigação de alternativas locais de aterros sanitários.

Nesta pesquisa serão abordados os conceitos básicos na alocação dos aterros sanitários vinculados ao enfoque técnico, social e operacional encontrados na área de estudo e são objetivos de outro tipo de análise, fatores tais como: tipo de solo, vegetação, ventos predominantes, impactos visuais, entre outros. Além disso, a tabela 4.2 estabelece os parâmetros aplicados nesta pesquisa.

Tabela 4.2 - Descrição dos objetivos.

<b>PARÂMETROS</b>		
1	Inclinação da superfície do terreno em relação a horizontal. É dada em porcentagem e estabelece o tipo de relevo do terreno para a atividade de terraplenagem e estabilidade do material inconsolidado.	
2	Distância entre as áreas de avaliação e as unidades de reserva do patrimônio natural.	
3	Dimensões da superfície que é diretamente proporcional à vida útil do aterro.	
4	Distância entre as rodovias estaduais focado na facilidade de acesso.	
5	Distância entre as áreas disponíveis e os recursos hídricos para evitar a contaminação por efluentes e rede de drenagem da cidade.	

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Nessa mesma ordem de ideias baseadas nas normas NBR 13896 da ABNT (Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação), NBR 8419 da ABNT

(Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos) e apoio de funcionários de entidades públicas que estão envolvidas neste tipo de atividade como EMLURB e URB estabelecem-se os seguintes critérios:

Tabela 4.3 - Descrição dos critérios.

	ID			Descrição
<b>CRITÉRIOS</b>	<b>Cr1</b>	<b>Ambiental</b>	<b>Minimizar</b>	<b>Declividade</b> superior a 1% e inferior a 30%. NBR 13896/97.
	<b>Cr2</b>		<b>Maximizar</b>	<b>Distância das unidades de conservação.</b> Referência CTR de Candeias (maior a 150 m).
	<b>Cr3</b>	<b>Operacional</b>	<b>Maximizar</b>	<b>Tamanho</b> igual ou maior 20000 m <sup>2</sup> CTR de Candeias, aterro de referência.
	<b>Cr4</b>		<b>Minimizar</b>	<b>Distância das estradas</b>
	<b>Cr5</b>		<b>Maximizar</b>	<b>Distância de áreas de Drenagem</b> maior a 200m. NBR 13896/97

Fonte: Esta pesquisa (2017).

### 4.3 APLICAÇÃO DO ARCGIS

Depois de estabelecer as alternativas e os critérios prossegue-se com o uso da ferramenta computacional *ArcMAP* que permite definir as possível áreas de alocação do aterro para cada alternativa por meio do cruzamento dos mapas temáticos de cada restrição descrita previamente (GREGÓRIO *et al.* 2013). Conseqüentemente, determina-se a matriz de desempenho das alternativas para cada critério.

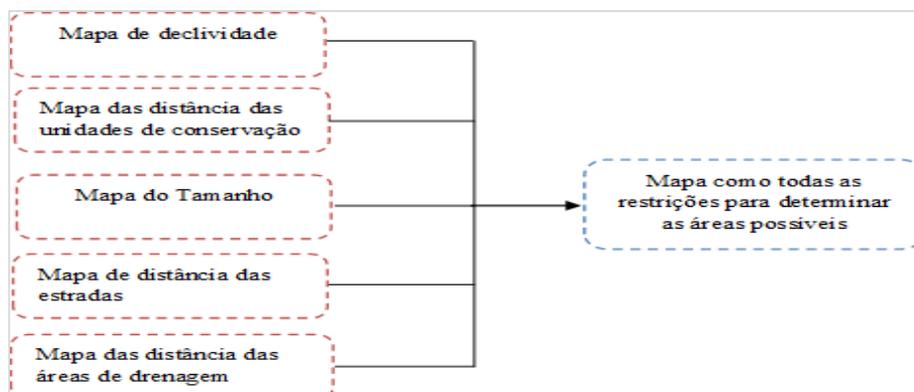


Figura 4.4 - Mapa com todas as restrições

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Desse modo, na criação dos diferentes mapas para cada critério, o primeiro passo foi determinar o sistema de coordenadas geográficas usado no Brasil SIRGAS 2000 (IBGE, 2015), sistema de coordenadas projetadas UTM SIRGAS 2000 nos fusos 24S e com a delimitação da cidade por meio de um mapa-base fornecido pelo conjunto de Shapefile disponibilizado pela Prefeitura do Recife e pela Secretaria de Mobilidade e Controle Urbano.

A seguir, descreve-se o processo de criação dos mapas para cada critério:

**Declividade:** Para determinar a declividade do Recife o primeiro passo é encontrar o mapa digital de elevação de Pernambuco para mapeamento e modelagem de terreno para calcular a declividade. Os resultados encontram-se no apêndice 1. Os parâmetros deste critério são categorizados em porcentagem como mostra a tabela 4.4 e foram levados numa faixa de valoração para uma melhor adaptação ao modelo como indica a tabela 4.5:

Tabela 4.4 - Categorização da declividade.

% de Declividade	Categorização
> 15	Declividade com áreas propícias de ocorrências de escorregamentos de massa
5-15	Áreas Onduladas
2-5	Áreas Planas
0-2	Áreas muito planas

Fonte: (ZUCUNI & TRENTIN, 2014).

Tabela 4.4 – Faixa de valoração da declividade.

Faixa de valoração	Categorização
4	Declividade de escorregamento
3	Ondulado
2	Plano
1	Muito Plano

Fonte: Esta pesquisa, (2017).

**Distância das unidades de conservação:** Foi construído baseado na lista de unidades de conservação do Recife publicado pela Diretoria de Meio Ambiente, Shapefile fornecido pelo Ministério do Meio Ambiente e algumas áreas construídas a partir das coordenadas descritas nos decretos regulamentados pela legislatura brasileira. Os resultados encontram-se no apêndice 2.

Tabela 4.6 - Lista das unidades de conservação do Recife.

Nº de Ordem	Denominação	Nº de Ordem	Denominação
01	UP Lagoa do Araçá	14	UCN Beberibe
02	Parque Natural Municipal dos Manguezais	15	UCN Caxangá
03	UCN Tamandaré	16	UCN Orla Marítima

04	UCN Jordão	17	UCN Sítio dos Pintos
05	UCN São Miguel	18	UCN Matas do Curado (abriga o RVS Mata São João da Várzea e parte do RVS Mata do Curado)
06	APA Campo do Jiquiá	19	UCN Mata das Nascentes
07	UCN Joana Bezerra	20	UCN Iputinga
08	UCN Mata do Barro	21	UCN Estuário do Rio Capibaribe
09	APA Mata do Engenho Uchôa (abriga o RVS Mata do Engenho Uchôa)	22	APA Açude de Apipucos
10	APA Mata da Várzea	23	UCN Sítio Grande
11	UCN Curado (abriga o Jardim Botânico do Recife e parte do RVS Mata do Curado)	24	APA das Capivaras
12	UCN Dois Unidos (abriga a RFU Mata de Dois Unidos)	25	UP Ilha do Zeca
13	UCN Dois Irmãos (abriga o Parque Estadual de Dois Irmãos)		

Fonte: Esta pesquisa (2017).

**Siglas:**

APA = Área de Proteção Ambiental

RFU = Reserva de Floresta Urbana

UP = Unidade Protegida

RVS = Refúgio da Vida Silvestre

UCN = Unidade de Conservação da Natureza

**Tamanho:** Baseado nas áreas possíveis definidas pela combinação dos outros critérios, pode-se realizar o dimensionamento das áreas por meio da ferramenta de *ArcMAP* (calcular geometria) que calcula o tamanho da área nas unidades desejadas que neste caso são metros quadrados (m<sup>2</sup>). Os resultados encontram-se no apêndice 3.

**Distância das estradas:** Construído a partir do Shapefile de Facequadra (cada uno dos lados da quadra) fornecido pela Prefeitura do Recife e Shapefile das rodovias do DNIT. Deste modo, podem-se determinar as rodovias que atravessam a cidade para determinar a aproximação destas áreas propostas. Os resultados encontram-se no apêndice 4.

**Distância das áreas de drenagem:** Baseado no Shapefile do Trechodrenagem da Prefeitura do Recife, Shapefile dos principais rios do Brasil da ANA. Além disso, foram agregados alguns rios como Tejipió, Pina, Jiquiá, Jordão que não estão descritos nos diferentes arquivos base dos órgãos governamentais. Os resultados encontram-se no apêndice 5.

Nessa mesma linha, realiza-se o cruzamento dos mapas por meio do SIG para gerar um mapa que englobe todos os critérios em procura de identificar as áreas possíveis para alocar um aterro, descritas no apêndice 3. Desse modo, encontram-se que pela geografia, hidrografia, relevo, concentração de núcleos populacionais, a cidade do Recife não dispõe de áreas livres para alocar este tipo de construção. Em síntese, pela dificuldade de identificar áreas disponíveis foi necessário utilizar áreas que tivessem menos restrições e uma baixa concentração de núcleos populacionais.

Em resumo, pelas condições argumentadas anteriormente, foi decidido aplicar o conceito de desapropriação pela lei federal 6766/79 que dispõe do uso de solo para diferentes tipos de construção de interesse público. Neste caso, o tipo de desapropriação proposta é por utilidade pública porque realizaram-se ações que irão gerar comodidade e utilidade ao coletivo com um bem comum que neste caso é a alocação de um aterro sanitário. Além disso, o decreto-lei federal 3365/41 determina e regula as disposições nas quais pode ser aplicada.

A partir dessa solução, foi gerada a matriz de decisão que é a valoração das alternativas com os critérios estabelecidos, descrita a seguir:

*Tabela 4.7 - Matriz de decisão*

<b>Alternativas</b>	<b>Declividade (%)</b>	<b>Distância das unidades de conservação (mts)</b>	<b>Tamanho (mil/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Distância das estradas (mts)</b>	<b>Distância das áreas de drenagem (mts)</b>
<b>Alternativa 1</b>	<b>3</b>	<b>358,59</b>	<b>546,90</b>	<b>1087,32</b>	<b>286,96</b>
<b>Alternativa 2</b>	<b>4</b>	<b>4,48</b>	<b>458,30</b>	<b>1175,57</b>	<b>126,66</b>
<b>Alternativa 3</b>	<b>4</b>	<b>304,00</b>	<b>880</b>	<b>271,26</b>	<b>131,96</b>
<b>Alternativa 4</b>	<b>4</b>	<b>177,89</b>	<b>280,90</b>	<b>83,36</b>	<b>166,88</b>

*Fonte: Esta pesquisa (2017).*

#### 4.4 FAMÍLIA DE MÉTODOS ELECTRE

Os métodos Electre desenvolvem duas fases principais: Construção de um ou várias relações de sobreclassificação seguido de um procedimento de exploração. O objetivo da construção de uma ou mais relações de sobreclassificação é comparar de uma forma analítica cada par de ações. O procedimento de exploração é usado para elaborar recomendações dos resultados obtidos na primeira fase. A natureza das recomendações depende do tipo de problemática aplicada (FIGUEIRA, 2005).

Além disso, na aplicação dos métodos Electre os pesos dos critérios, são um fator importante porque refletem a elicitación de preferências do decisor. Neste caso utilizamos o procedimento *Simos* com o apoio de uma engenheira da gestão de projetos urbanos da URB para definir os pesos dos critérios. O primeiro passo é carregar os critérios e o primeiro ranking proposto para o decisor no software SRF, descrito na seguinte tabela:

*Tabela 4.8 - Identificação e ranking dos critérios.*

<b>Descrição dos critérios</b>	<b>Ranking</b>
Cr 4 – Distancia das estradas	1
Cr 2 – Distancia das unidades de conservação	2
Cr 5 – Distancia de áreas de drenagem	3
Cr 3 - Tamanho	4
Cr 1 - Declividade	5

*Fonte: Esta pesquisa (2017).*

Depois o decisor estabelece uma nova sequência dos critérios por meio do procedimento de *Simos* e determina a importância entre critérios inserindo cartões brancos. Dessa forma o software SRF realiza os cálculos baseados nos parâmetros definidos pelo decisor e determina os pesos dos critérios, descritos na seguinte tabela:

Tabela 4.9 - Pesos não normalizados e normalizados dos critérios.

Descrição dos critérios	Ranking	Pesos Normalizados
Cr 4 – Distancia das estradas	1	0.104
Cr 2 – Distancia das unidades de conservação	2	0.138
Cr 5 – Distancia de áreas de drenagem	3	0.207
Cr 3 - Tamanho	4	0.241
Cr 1 - Declividade	5	0.31

Fonte: Esta pesquisa (2017).

#### 4.4.1 Electre IS

Em base dos conceitos desenvolvidos no método Electre IS, foram definidos e agregados os limiares de preferência ( $p$ ), indiferença ( $q$ ) e veto ( $v$ ) e os pesos estabelecidos pelo procedimento de Simos na matriz de decisão. O método é aplicado por meio de um programa do mesmo nome Electre IS, que é uma ferramenta informática desenvolvida pelo laboratório LAMSADE da Universidade Paris Dauphine.

Tabela 4.10 - Matriz de decisão para o método Electre IS

Alternativas	Declividade	Distância das unidades de conservação	Tamanho (mil/m <sup>2</sup> )	Distância das estradas	Distância das áreas de drenagem
<b>Pesos</b>	3	1,33	2,33	1	2
<b>Preferência</b>	Min	Max	Max	Min	Max
<b>Alternativa 1</b>	3	358,59	546,90	1087,32	286,96
<b>Alternativa 2</b>	4	4,48	458,30	1175,57	126,66
<b>Alternativa 3</b>	4	304,00	880	271,26	131,96
<b>Alternativa 4</b>	4	177,89	280,90	83,36	166,88

<b>Indiferença (<math>q</math>)</b>	0	10	50	10	25
<b>Preferência (<math>p</math>)</b>	1	50	100	75	100
<b>Veto (<math>v</math>)</b>	-	150	-	-	200

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Os valores dos limiares  $p$  e  $q$  representam os intervalos permissíveis nos quais o modelo torna-se útil para auxiliar ao decisor pelos valores de referencia definidos nos critérios, dado que

eles definem o intervalo onde se caracteriza a relação de preferência fraca. Caso contrário do veto ( $v$ ), que penaliza as alternativas com desempenho menor ou igual a esse limiar.

O próximo passo é inserir um nível de concordância definido pelo decisor para obter os resultados. No passo seguinte, é inserido um nível de concordância de 0.55 definido pelo decisor que reflete o nível de maioria requerida. Depois calcula-se a matriz de concordância baseada na comparação par a par entre as alternativas e um índice de concordância para cada critério compreendido entre 0 e 1 que mostra o argumento que  $a$  pelo menos tão boa quanto  $b$ . Do mesmo modo, calcula-se a matriz de discordância, mas este indicador aponta se os resultados das alternativas sobre um critério se opõem a afirmação  $a$  sobreclassifica  $b$  (BARBERIS & RÓDENAS, 2001).

Tabela 4.11 - Matriz de concordância.

	Alter. 1	Alter. 2	Alter. 3	Alter. 4
Alter. 1	1.00	1.00	0.66	0.90
Alter. 2	0.22	1.00	0.52	0.73
Alter. 3	0.36	1.00	1.00	0.89
Alter. 4	0.10	0.76	0.62	1.00

Fonte: Esta pesquisa, (2017).

Tabela 4.13 –Matriz de robustez

	Alter. 1	Alter. 2	Alter. 3	Alter. 4
Alter. 1	1.00	1.00	0.66	0.90
Alter. 2	0.00	1.00	0.00	0.12
Alter. 3	0.21	1.00	1.00	0.89
Alter. 4	0.00	0.75	0.35	1.00

Fonte: Esta pesquisa, (2017).

Tabela 4.12 - Matriz de discordância.

	Alter. 1	Alter. 2	Alter. 3	Alter. 4
Alter. 1	0	0	0	0
Alter. 2	*	0	*	1
Alter. 3	*	0	0	0
Alter. 4	*	0	0	0

Fonte: Esta pesquisa, (2017).

Tabela 4.14 –Matriz de sobreclassificação

	Alter. 1	Alter. 2	Alter. 3	Alter. 4
Alter. 1	1	1	1	1
Alter. 2	0	1	0	0
Alter. 3	0	1	1	1
Alter. 4	0	1	1	1

Fonte: Esta pesquisa, (2017).

O símbolo \* na matriz significa que o teste de não concordância não se realizou porque o teste de concordância não foi verificado. Para aceitar a relação  $a$  supera  $b$  só se satisfazem os testes de concordância e não-discordância (BARBERIS & RÓDENAS, 2001). Pode-se perceber que na matriz de discordância a interseção alternativa 1 e a alternativa 2 possuem o símbolo \*, que representa que não há uma relação de sobreclassificação.

Neste caso, pode-se perceber que a alternativa 1 se diferencia das outras pelo desempenho tanto na matriz de robustez como na de sobreclassificação e está vinculado com os resultados descritos no gráfico de sobreclassificação modificado.

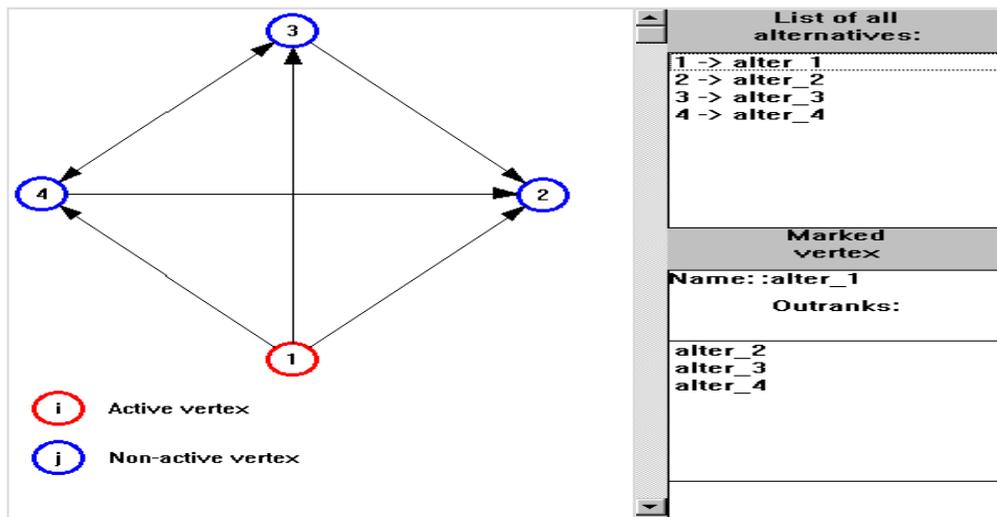


Figura 4.5- Grafo de sobreclassificação modificado.  
 Fonte: Esta pesquisa (2017).

O grafo de sobreclassificação indica que os vértices são um conjunto de todas as alternativas, e os arcos representam as sobreclassificações. Neste caso, não há diferença entre o grafo de sobreclassificação inicial e o grafo de sobreclassificação modificado. Isso quer dizer que um arco de  $a$  em direção de  $b$  indica que  $a$  sobreclassifica  $b$  (BARBERIS & RÓDENAS, 2001). Neste caso o grafo mostra que a alternativa 1 sobreclassifica ao resto de alternativas e representa o vértice ativo do conjunto.

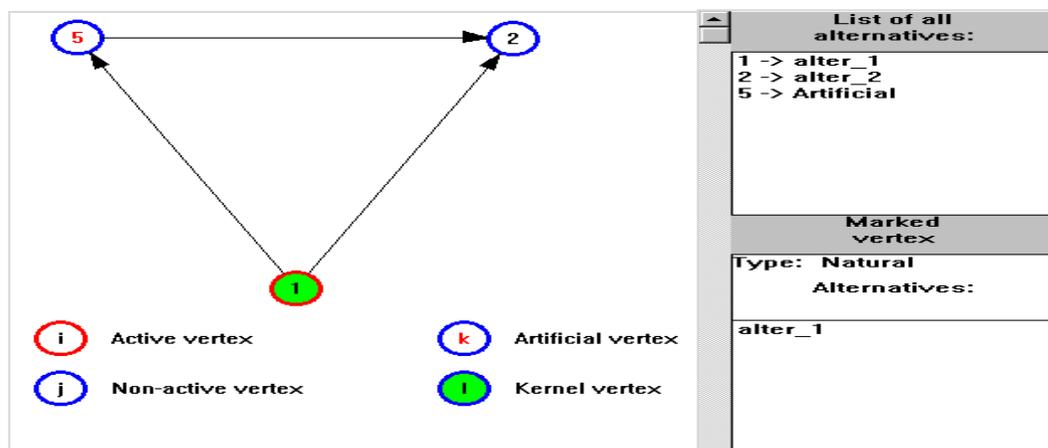


Figura 4.6 - Grafo final.  
 Fonte: Esta pesquisa (2017).

No grafo final dá para perceber que foi estabelecido um vértice artificial 5 para as alternativas 3 - 4 que possuem características semelhantes. A alternativa 2 permaneceu igual ao grafo de sobreclassificação modificado e a alternativa 1 ratifica o que é o núcleo ou kernel, ou seja, que é a alternativa que não é sobreclassificada por nenhuma outra alternativa do conjunto. Isto quer dizer que essa é a alternativa (solução) escolhida pelo programa Electre IS.

#### 4.4.2 Electre II

Nesse mesmo contexto do problema, com o fim de possibilitar a transparência e a sistematização do processo referente aos problemas de tomada de decisão foi utilizado o método Electre II. Dessa forma, foi analisado o assunto com parâmetros diferentes, como problemática de ranking ou ordenação, o método é aplicado pelo programa MCDA-Ulaval desenvolvido pela Universidade Laval.

Dessa forma, foi modificada a matriz de decisão de acordo com os parâmetros do método baseados nos limiares duplos de concordância e discordância. Na determinação do limiar de discordância ( $d^+$  e  $d^-$ ) foi estabelecido pela magnitude dos valores para cada critério. Nos limiares de concordância foi vinculada ao proposto pelo programa MCDA-Ulaval definido pela equação  $0.5 < c^- < c^0 < c^+$ . (eq. 4.1)

Tabela 4.15 - Matriz de decisão.

Alternativas	Declividade	Distância das unidades de conservação	Tamanho (m <sup>2</sup> )	Distância das estradas	Distância das áreas de drenagem
<b>Pesos</b>	<b>3</b>	<b>1,33</b>	<b>2,33</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Preferência</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>Alternativa 1</b>	<b>3</b>	<b>358,59</b>	<b>546,90</b>	<b>1087,32</b>	<b>286,96</b>
<b>Alternativa 2</b>	<b>4</b>	<b>4,48</b>	<b>458,30</b>	<b>1175,57</b>	<b>126,66</b>
<b>Alternativa 3</b>	<b>4</b>	<b>304,00</b>	<b>880</b>	<b>271,26</b>	<b>131,96</b>
<b>Alternativa 4</b>	<b>4</b>	<b>177,89</b>	<b>280,90</b>	<b>83,36</b>	<b>166,88</b>

<b>d<sup>1</sup></b>	<b>1</b>	<b>330</b>	<b>540</b>	<b>1100</b>	<b>150</b>
<b>d<sup>2</sup></b>	<b>0</b>	<b>300</b>	<b>500</b>	<b>900</b>	<b>110</b>
<b>C<sup>-</sup></b>	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>
<b>C<sup>0</sup></b>	<b>0,70</b>	<b>0,70</b>	<b>0,70</b>	<b>0,70</b>	<b>0,70</b>
<b>C<sup>+</sup></b>	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>

Fonte: Esta pesquisa, (2017).

Nessa sequência carrega-se a nova matriz de decisão no programa e se estabelecem os parâmetros para os critérios de acordo com o manual de usuário e o funcionamento do programa MCDA-Ulaval, descrito na figura a seguir:

Tabela 4.16 - Matriz de decisão no software.

	<b>Critério 1</b>	<b>Critério 2</b>	<b>Critério 3</b>	<b>Critério 4</b>	<b>Critério 5</b>
<b>Extent</b>	1,00	354,11	599,10	1092,21	160,30
<b>Alternativa 1</b>	3,00	358,59	546,90	1087,32	286,96
<b>Alternativa 2</b>	4,00	4,48	458,30	1175,57	126,66
<b>Alternativa 3</b>	4,00	304,00	880,00	271,26	131,96
<b>Alternativa 4</b>	4,00	177,89	280,90	83,36	166,88

Fonte: Esta pesquisa (2017)

**Criterion parameters**

[Parameter]	Criterion1	Criterion2	Criterion3	Criterion4	Criterion5
<b>k</b>	3.0	1.33	2.33	1.0	2.0
<b>d<sub>1</sub></b>	1.0	330.0	580.0	1040.0	150.0
<b>d<sub>2</sub></b>	0.0	280.0	480.0	850.0	130.0
<b>Direction</b>	Minimize	Maximize	Maximize	Minimize	Maximize

**Method parameters**

Concordance thresholds ( $0.5 < C_- < C_0 < C_+$ )

**C<sub>-</sub>** :

**C<sub>0</sub>** :

**C<sub>+</sub>** :

Figura 4.7 - Parâmetros de decisão.

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Desse modo, o método calcula a matriz de concordância global e matriz de sobreclassificação, descrito a seguir:

Tabela 4.17 - Matriz de concordância.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Alternativa 1	-	1,0	0,65527950	0,89648030
Alternativa 2	0,0	-	0,31055900	0,55175984
Alternativa 3	0,34472048	1,0	-	0,68944097
Alternativa 4	0,10351967	0,75879920	0,62111800	-

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Tabela 4.18 -Matriz de sobreclassificação.

	Q: weak outranking P:strong outranking R: incomparable			
[-]	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Alternativa 1	-	P	Q	P
Alternativa 2	R	-	R	R
Alternativa 3	R	P	-	Q
Alternativa 4	R	P	R	-

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Na matriz de concordância pode-se perceber que a alternativa 1 novamente tem o melhor desempenho dentro do conjunto de alternativas. Além disso, a alternativa 1 na matriz de sobreclassificação tem uma relação forte com a 2 e 4 que indica uma preferência da alternativa sobre as outras, e uma relação fraca com a alternativa 3 que mostra falta de razões para assegurar que uma alternativa seja preferível a outra (GALARZA, TORRES & MENDEZ, 2011).

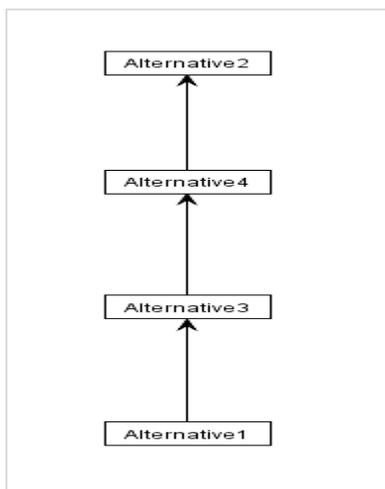


Figura 4.8 – Ranking descendente.

Fonte: Esta pesquisa (2017).

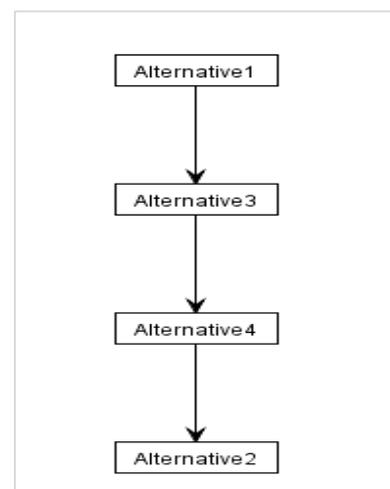


Figura 4.9 – Ranking ascendente

Fonte: Esta pesquisa (2017).

A análise do método realiza-se de duas formas. Neste caso, da forma ascendente que inicia desde a pior alternativa (alternativa 2) até a melhor alternativa (alternativa 1) e por outro lado a forma decrescente que vai da melhor alternativa até a pior. Para concluir, o ranking final é baseado na combinação de ambos os rankings, descrito a seguir:

Tabela 4.19 - Ranking Final.

<b>Ranking</b>	<b>Alternativas</b>
<b>1°</b>	Alternativa 1
<b>2°</b>	Alternativa 3
<b>3°</b>	Alternativa 4
<b>4°</b>	Alternativa 2

Fonte: Esta pesquisa (2017).

## 4.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Para verificar a robustez do modelo aplicado, foram modificados os parâmetros iniciais em procura da análise dos resultados encontrados. Dessa forma, estabelecem-se cenários para observar o funcionamento do modelo com parâmetros modificados.

### 4.5.1 Cenário 1

No cenário para os dois métodos de sobreclassificação Electre IS e Electre II modificaram-se os pesos iguais para todos os critérios ( $w_1=w_2=w_3=w_4=w_5$ ) e os outros parâmetros não foram alterados. Para o método Electre IS o resultado manteve a mesma escolha (alternativa 1) das alternativas e não representa uma troca significativa dentro do modelo, como descrevem os grafos de sobreclassificação:

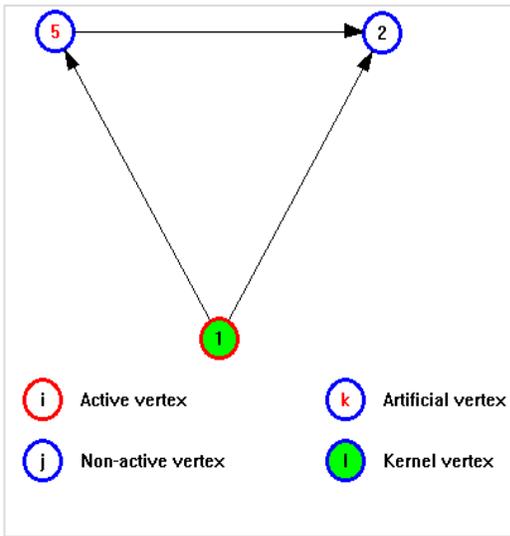


Figura 4.10- Grafo final do modelo inicial.  
 Fonte: Esta pesquisa (2017).

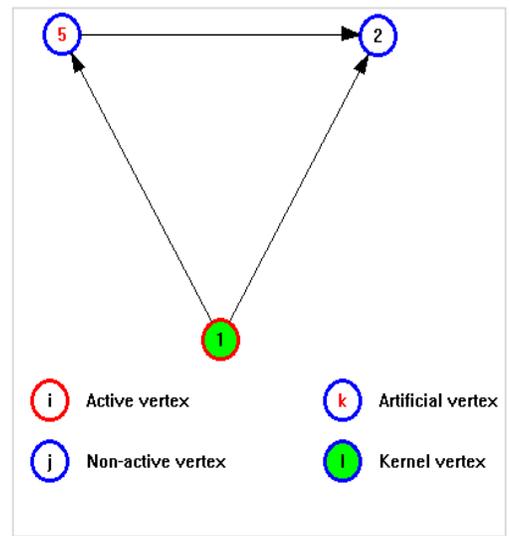


Figura 4.11 – Grafo final do cenário 1.  
 Fonte: Esta pesquisa (2017).

Para o método Electre II aconteceu uma situação similar, manteve-se a mesma ordem das alternativas e não representa uma mudança significativa dentro do modelo, como descrevem os grafos de sobreclassificação:

Tabela 4.20 - Ranking modelo inicial.

Ranking	Alternativas
1°	Alternativa 1
2°	Alternativa 3
3°	Alternativa 4
4°	Alternativa 2

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Tabela 4.20 – Ranking cenário 1.

Ranking	Alternativas
1°	Alternativa 1
2°	Alternativa 3
3°	Alternativa 4
4°	Alternativa 2

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Finalmente pode-se concluir que ao igualar os pesos dos critérios, o modelo não apresenta mudanças significativas dentro da solução ótima no Electre IS e no ranking estabelecido no Electre II.

### 4.5.2 Cenário 2

Neste cenário para os dois métodos de sobreclassificação Electre IS e Electre II estabeleceram-se como prioridade, um critério de enfoque ambiental (distância das unidades de conservação) e um critério de enfoque operacional (tamanho). Dessa forma, a distribuição dos pesos dos critérios ficou da seguinte forma:

Tabela 4.22 - Pesos Cenário 2.

	<b>Descrição</b>	<b>Pesos</b>
<b>Ambiental</b>	Declividade	<b>1</b>
	<b>Distância das unidades de conservação.</b>	<b>3</b>
<b>Operacional</b>	<b>Tamanho</b>	<b>3</b>
	Distância das estradas	<b>2</b>
	Distância de áreas de Drenagem	<b>1</b>

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Verificou-se que o método Electre IS apresentou mudanças representativas nas soluções obtidas no modelo inicial, pois a alternativa 3 ficou dentro do kernel e pode ser escolhida como solução junto com a alternativa 1, isso quer dizer que tem duas soluções ótimas para o problema, a alternativa 1 e 3. Como o método Electre IS trabalha com problemática de escolha e só pode indicar um resultado, a solução para este caso é a alternativa 3. Além disso, pode acontecer que o desempenho das alternativas seja próximo porque o decisor pode realizar a escolha através da valoração do critério que considere mais relevante.

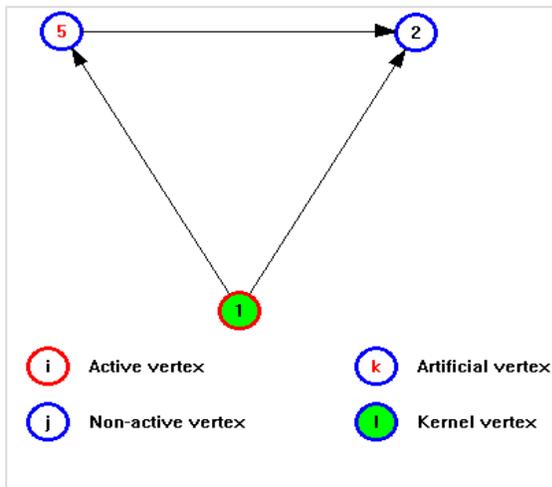


Figura 4.12- Grafo final do modelo inicial.  
 Fonte: Esta pesquisa (2017).

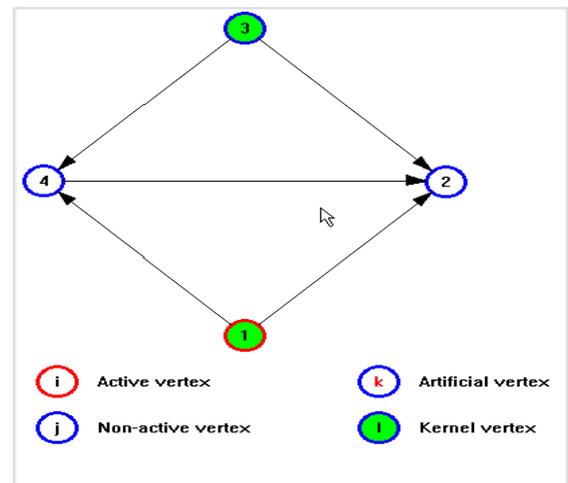


Figura 4.13 - Grafo final do cenário 2.  
 Fonte: Esta pesquisa (2017).

O método Electre II confirma os resultados obtidos no Electre IS, pois modifica o ranking definido pelos parâmetros iniciais e determina um novo ranking, descrito na seguinte comparação:

Tabela 4.23 - Ranking modelo inicial.

Ranking	Alternativas
1°	Alternativa 1
2°	Alternativa 3
3°	Alternativa 4
4°	Alternativa 2

Fonte: Esta pesquisa (2017).

Tabela 4.24 - Ranking cenário 2.

Ranking	Alternativas
1°	Alternativa 1 – Alternativa 3
2°	Alternativa 4
3°	Alternativa 2

Fonte: Esta pesquisa (2017).

## 4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi descrito no início do capítulo, foi aplicado o SIG e a abordagem de decisão multicritério para encontrar a melhor alternativa para alocar o aterro sanitário, obtendo como resultados a alternativa 1. Além disso, é realizada uma análise de sensibilidade em dois cenários. No primeiro cenário os pesos dos critérios são iguais e no segundo estabelece-se como prioridade um critério de enfoque ambiental e um critério de enfoque operacional. Como resultado, verificou-se que no primeiro cenário não houve mudanças, mas no segundo as alternativas 1 e 3 apresentaram equivalência entre si, estando de acordo com os resultados do modelo inicial.

## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Atualmente, as diretrizes estabelecidas para a gestão integral dos resíduos sólidos urbanos apresentam dificuldades na destinação final dos RSU nas cidades. Além disso, a limpeza urbana faz parte do conjunto de responsabilidades que pertencem às prefeituras, nessa procura do desenvolvimento das cidades em enfoque social, econômico e ambiental.

Dessa forma, determinam-se planos dos resíduos sólidos para diferentes níveis de hierarquias, como estaduais, regionais, microrregionais, intermunicipal, entre outros. Através dessas diretrizes, as prefeituras agem para a administração e controle da limpeza urbana e destinação final dos resíduos sólidos urbanos gerados pela população.

Neste caso, este trabalho analisou critérios para promover a destinação final dos resíduos sólidos urbanos, em entidades estruturadas para este tipo de tarefa, como são os aterros sanitários e não em lugares a céu aberto como os lixões, que posteriormente irão gerar impactos ambientais irreversíveis para a natureza e a sociedade.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, foram descritos vários tipos de conceitos do sistema de informação geográfico como georreferenciamento, geoprocessamento, sistemas de coordenadas, dados geográficos. Além disso, foram estudados os conceitos mencionados anteriormente, como métodos de decisão multicritério que facilitaram o processo de tomada de decisão, com um conjunto de alternativas contrastantes e critérios conflitantes entre si.

Para determinar as possíveis áreas para alocar um aterro sanitário, devem-se identificar um conjunto de critérios técnicos, operacionais, sociais, ambientais entre outros. Neste caso os fatores principais analisados para este tipo de estrutura foram fatores ambientais e operacionais. Dessa forma, foi selecionado um grupo de critérios que realizam uma valoração das diferentes alternativas para este tipo de problemática. Por outro lado, o conjunto de critérios principais foi determinado por meio do marco teórico e estudos de caso que faziam referência ao mesmo assunto.

Além disso, os parâmetros desenvolvidos nesta pesquisa são derivados do sistema atual de gestão de resíduos sólidos urbanos que funcionam em conjunto entre a Prefeitura do Recife e CTR de Candeias. Por outro lado, o ciclo de vida útil do CTR de Candeias está definido como até 2022, o que indica que precisam ser tomadas ações para dar solução a uma problemática futura.

Da mesma forma, foi desenvolvida a metodologia de decisão multicritério aplicada pelos métodos Electre IS e Electre II. Através dos métodos não compensatórios que não permitem compensar um menor desempenho de uma alternativa em um dado critério por meio de um melhor desempenho em outro critério. Também se pode dizer que é um modelo robusto, pois os resultados obtidos demonstram que, indistintamente do tipo de método aplicado, os resultados são similares.

Dentro deste contexto, aparece a ferramenta tecnológica do sistema de informações geográficas *ArcGIS* que por meio do geoprocessamento, análises espaciais e administração dos dados é fundamental para alocação de áreas com alto grau de precisão. Além disso, esta ferramenta foi determinante no cálculo da matriz de decisão que reflete o desempenho das alternativas nos diferentes critérios de análise. Dessa forma, a combinação dos conceitos de sistema de informações geográficas com decisão multicritério é um suporte fundamental nos estudos de caso para garantir resultados com alto grau de precisão.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Podem-se acrescentar os critérios de características físicos e geológicos, tais como tipo de solo, direção do vento, vegetação, coeficiente de permeabilidade e áreas sujeitas a inundações com o fim de reduzir a margem de erro na escolha da melhor alternativa. Além disso, facilitará o desenvolvimento das atividades realizadas no aterro pelas características geológicas do terreno.

Por outro lado, está o estudo financeiro que deve ser desenvolvido pela aplicação da desapropriação das áreas para proteger e salvaguardar o bem-estar das pessoas envolvidas neste processo. Além do mais, é importante suportar as atividades por meio de ferramentas educacionais no enfoque social e legal para realizar os trâmites de transferência de propriedades para o poder público.

Para finalizar, a administração e controle do aterro sanitário na destinação final do lixo deve criar indicadores de desempenho focados em sustentabilidade ambiental da cidade, analisar os dados encontrados e realizar benchmarking com outras entidades que desenvolvem este tipo de tarefa (CARVALHO *et al.* 2011).

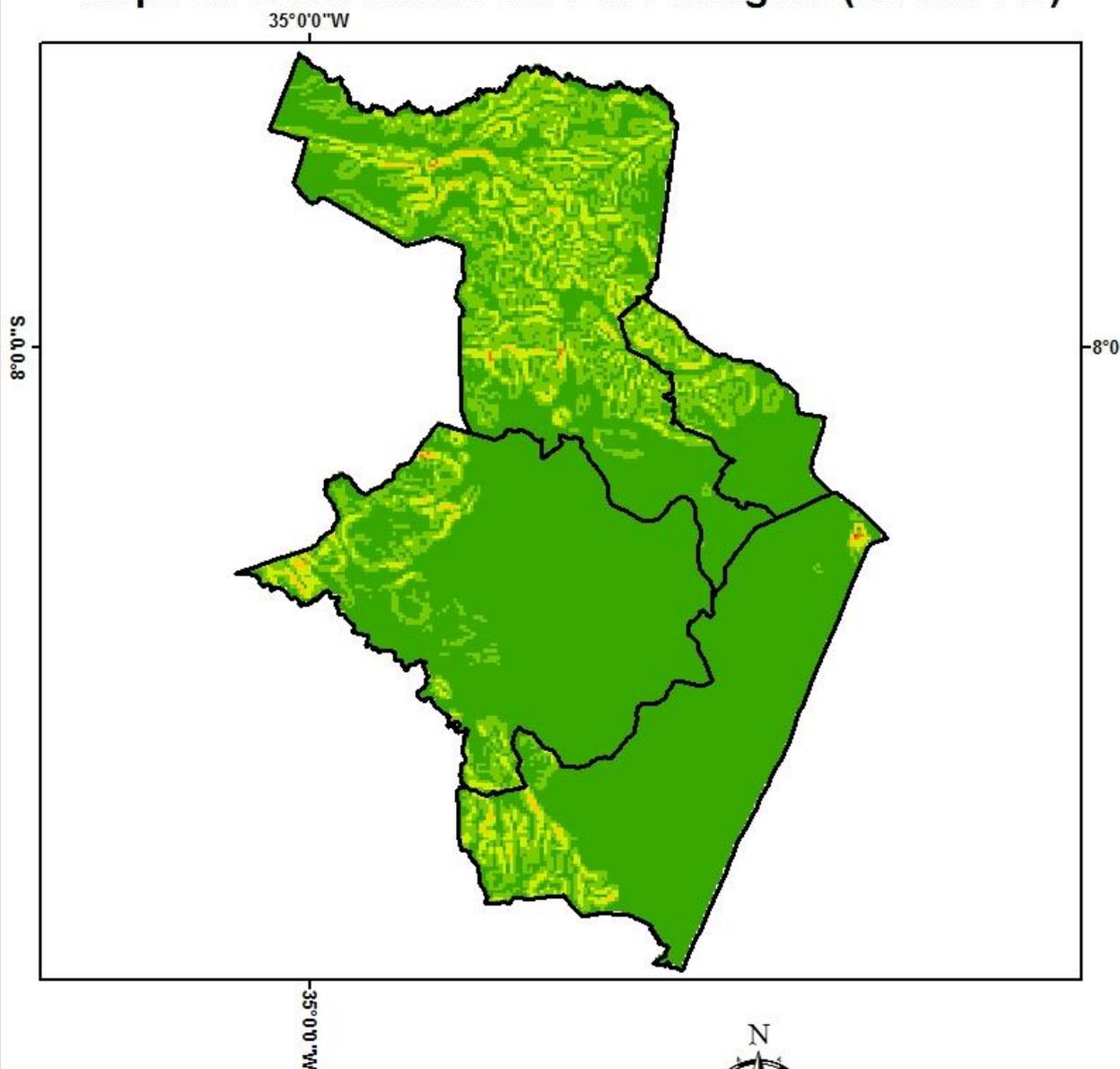
## REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13896 – Aterros de resíduos não perigosos – Critérios de para projeto, implementação e operação. Brasil. 1997.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8419 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Brasil. 1992.
- ALMEIDA, A. T. *O Conhecimento e o Uso de Métodos Multicritério de Apoio a Decisão*. 2. ed. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2011.
- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. Aplicações multicritério de apoio à decisão. Recife: UFPE, 2003.
- ALMEIDA, T. A. Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério. - São Paulo: Atlas. 2013.
- ATICI, K.B. SIMSEK, A.B. ULUCAN, A. TOSUN, M.U. A GIS-based Multiple Criteria Decision Analysis approach for wind power plant site selection. *Utilities Policy*, 37:86-96, 2015.
- BARBERIS, G. M.F. RÒDENAS, M.D.C.E. La ayuda a la decisión multicriterio en la valoración y selección de alternativas de inversión utilizando métodos aproximados y cronológicos. *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, Actas\_10. p 37, 2002.
- BRASIL. Lei federal nº 12305/2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Último acesso em: 16 fev. 2016.
- CASTILHO. Desapropriação. Disponível em:<<https://mcristina.jusbrasil.com.br/artigos/146506504/desapropriacao>>. Último acesso: 19 out. 2016.
- CARVALHO, J.R.M; W.F. CURI; CARVALHO, E.K.M; R.C. CURI. Metodologia para Avaliar a Sustentabilidade Ambiental de Municípios Utilizando Análise Multicritério. *REUNIR – Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade*. Vol. 1, no 1, p.18-34, 2011.
- EMMERT, F. PEREIRA, R.S. REZENDE, A.V. ENCINAS, J.M.I. Geoprocessamento como ferramenta de apoio à gerência de pavimentos em estradas florestais. *Ciência Florestal, Santa Maria*, v. 20, p. 81-94, mar., 2010.
- FARIAS, R.F. SILVEIRA, J.C. RODRIGUES, C.C. ARAUJO, A.G. COLOMBO, C.R. *Modelo Multicritério de Apoio á Decisão no Processo de Seleção de Fornecedores. XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO*. Salvador, 2013.
- FONTANA, M.E.;MORAIS, D. C. ; Almeida, Adiel T. . A MCDM Model for Urban Water Conservation Strategies adapting Simos procedure for evaluating alternatives intra-criteria. In: Takahashi, R.H.C.; Deb, K.; Wanner, E.F.; Greco.. (Org.). *Lecture Notes in Computer Science - Evolutionary Multi-Criterion Optimization.. Berlin: Springer, 2011, v. 6576, p. 564-578.*

- GOMES, C.F.S. COSTA, H.G. Aplicação de métodos multicritério ao problema de escolha de modelos de pagamento eletrônico por cartão de crédito. *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL (SBPO)*. Vol. 43. 2011.
- GONÇALVES. Definição do lixão, aterro controlado, aterro sanitário. Disponível em:< <http://www.lixo.com.br/content/view/144/251/>>. Último acesso: 19 out. 2016.
- GOODCHILD. SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TRATAMENTO DE DADOS ESPACIAS, 4. Zurique, 1991.
- Governo do Estado de Pernambuco, Prefeitura de Recife. *Lei 16.293/97, Regiões Político-Administrativas do Município do Recife*. Recife, 1997.
- Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. *Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Pernambuco*. Recife, 2012.
- Gregório, B.S. Azevedo, G.M. Souza, J.L. Santos, P.S. Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário no município de Barreiras, Bahia. *Anais XVI. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - (SBSR)*. Foz de Iguaçu, 2013.
- HAURANT, P. OBERTI, P. MUSELLI, M. Multicriteria selection aiding related to photovoltaic plants on farming fields on Corsica island: A real case study using the ELECTRE outranking framework. *Elsevier Science Publisher*, 39.676 – 688, 2011.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. – *Pesquisa Nacional do Saneamento Básico – PNSB – 2008*. Brasília, 2010.
- IBGE. Infográficos: dados gerais do município. Disponível em:< <http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=261160>>. Último acesso em: 20 nov. 2015.
- J. Figueira, S. Greco, M.Ehrogott. Electre Methods. In: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer New York, J. Figueira, V. Mousseau, B. Roy 2005. 78, p 133-153.
- J. FIGUEIRA. B. ROY. Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. *Elsevier Science Publisher*. 139, p. 317 - 326, 2002.
- Machado. Lixão x Aterro. Disponível em:< <http://www.lixo.com.br/content/view/144/251/>>. Último acesso: 30 jan. 2016.
- Machado. Planos Estaduais de Resíduos Sólidos – PERS. Disponível em:< <http://www.portalresiduossolidos.com/planos-estaduais-de-residuos-solidos-pers/>>. Último acesso: 30 jan. 2016.
- Ministério do Meio Ambiente – *Plano Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS – 2012*. Brasília, 2012.
- MONTAÑO, M.; RANIERI, V. E. L.; SCHALCH, V.; FONTES, A. T.; CASTRO, M. C. A. A.; SOUZA, M. P. Integração de critérios técnicos, ambientais e sociais em estudos de alternativas locais para implantação de aterro sanitário. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 17. n.1. pp. 61-70, 2012.

- Mosaico Urbano do Recife. Regiões Político Administrativas e Bairros do Recife.. Disponível em:< [http://www.fundaj.gov.br/geral/observanordeste/livro%20MUR/livro\\_mur.pdf/](http://www.fundaj.gov.br/geral/observanordeste/livro%20MUR/livro_mur.pdf/)>. Último acesso: 19 out. 2016.
- NAGASHIMA, L.; BARROS, C.; ANDRADE, C.; SILVA, E.; HOSKIKI, C.; Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos-uma proposta para o município de Paranavaí Estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum Technology*, 33: 39-47, 2011.
- OLAYA, V. *Sistemas de Información Geográfica – Versión 1.0*. Open Source, 2011.
- PEREIRA, S. S.; CURI, R. C. Modelos de gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos: a importância dos catadores de materiais recicláveis no processo de gestão ambiental. *Engenharia Ambiental*, v. 9, p. 118-138, 2012.
- Presidência da República, Casa Civil. *Lei 3365/41, Dispõe sobre desapropriações por utilidade pública*. Brasília, 1941.
- Presidência da República, Casa Civil. *Lei 4132/62, Define os casos de desapropriação por interesse social e dispõe de sua aplicação*. Brasília, 1962.
- Presidência da República, Casa Civil. *Lei 6766/79, Dispõe sobre o parcelamento do Solo Urbano e da outras providencias*. Brasília, 1979.
- PRINA, B.Z. TRENTIN, R. Metodologia para mapeamento de áreas suscetíveis à inundação: estudo de caso para o município de Jaguari/RS. *XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento XXV Expositiva*. Gramados, 2014.
- SILVA, V.C.; MACHADO, P.S. Trabalhando no ArcMAP. In: *Iniciando no ArcGIS*. 1. Centro Universitário do Belo Horizonte, 2010. 1, 10.
- TAVARES, M.; CARISSIMI, E.; Materiais e Métodos. In: *Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente*, 3, Bento Gonçalves, 2012. Seleção de áreas para implantação de um aterro sanitário em Porto Velho/RO utilizando geoprocessamento.1.
- TERVONEN, T.; FIGUEIRA, J.R.; LAHDELMA, R; DIAS, J.A.; SALMINEN, P.; A stochastic method for robustness analysis in sorting problems. *European Journal of Operational Research*, 192: 236-242, 2009.
- TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. *Metodologia da pesquisa em Engenharia de Produção*. Minas Gerais: UNIFEI, 2012.

### Mapa de Declividade em Porcentagem (Recife-PE)

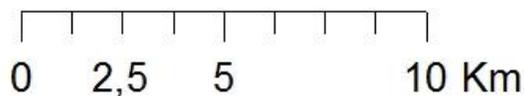


#### Legenda

 Delimitação Alt

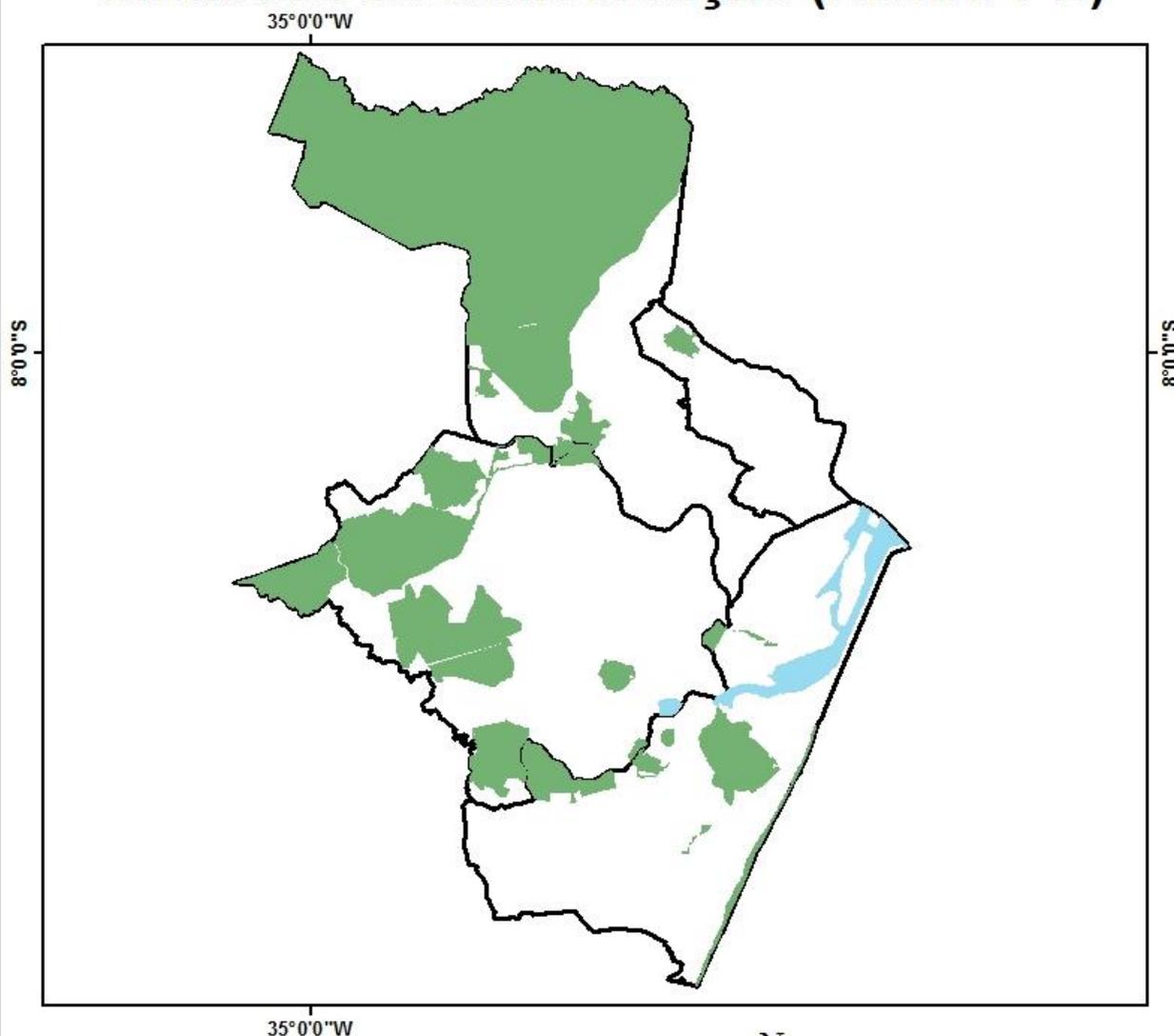
#### Declividade em Porcentagem

-  0 - 6,9
-  6,9 - 13,8
-  13,9 - 20,7
-  20,8 - 27,7
-  27,8 - 34,7
-  34,8 - 41,7



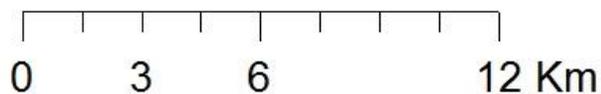
Sistema de Coordenadas Geográficas  
 Datum SIRGAS 2000  
 Fonte: UFPE-PPGEP

## Unidades de Conservação (Recife-PE)



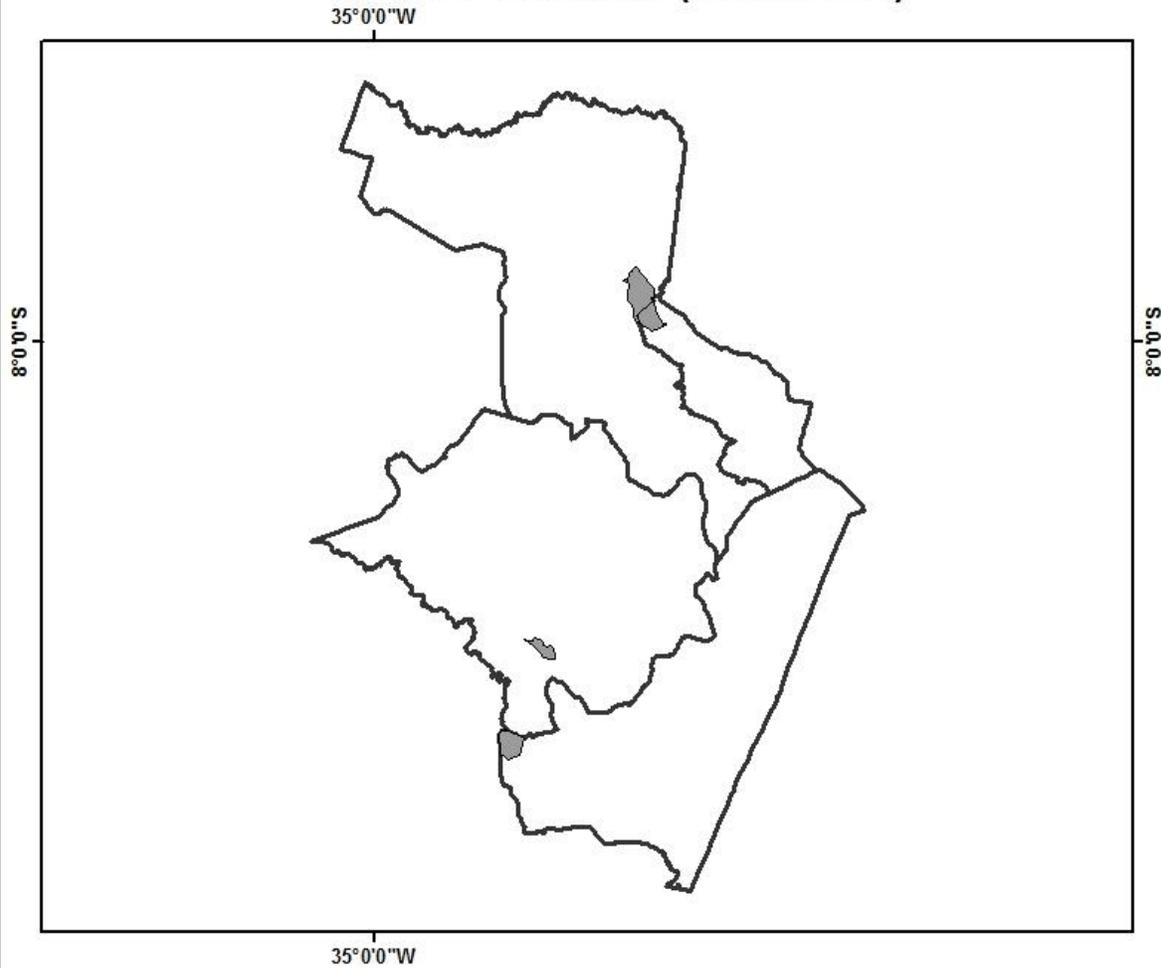
### Legend

- Bacia do Pina
- Unidades Conservação
- Delimitação Recife



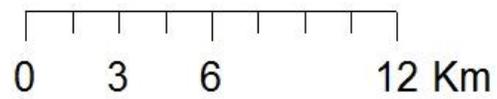
Sistema de Coordenadas Geográficas  
 Datum SIRGAS 2000  
 Fonte: UFPE-PPGEP

### Áreas Possíveis (Recife-PE)



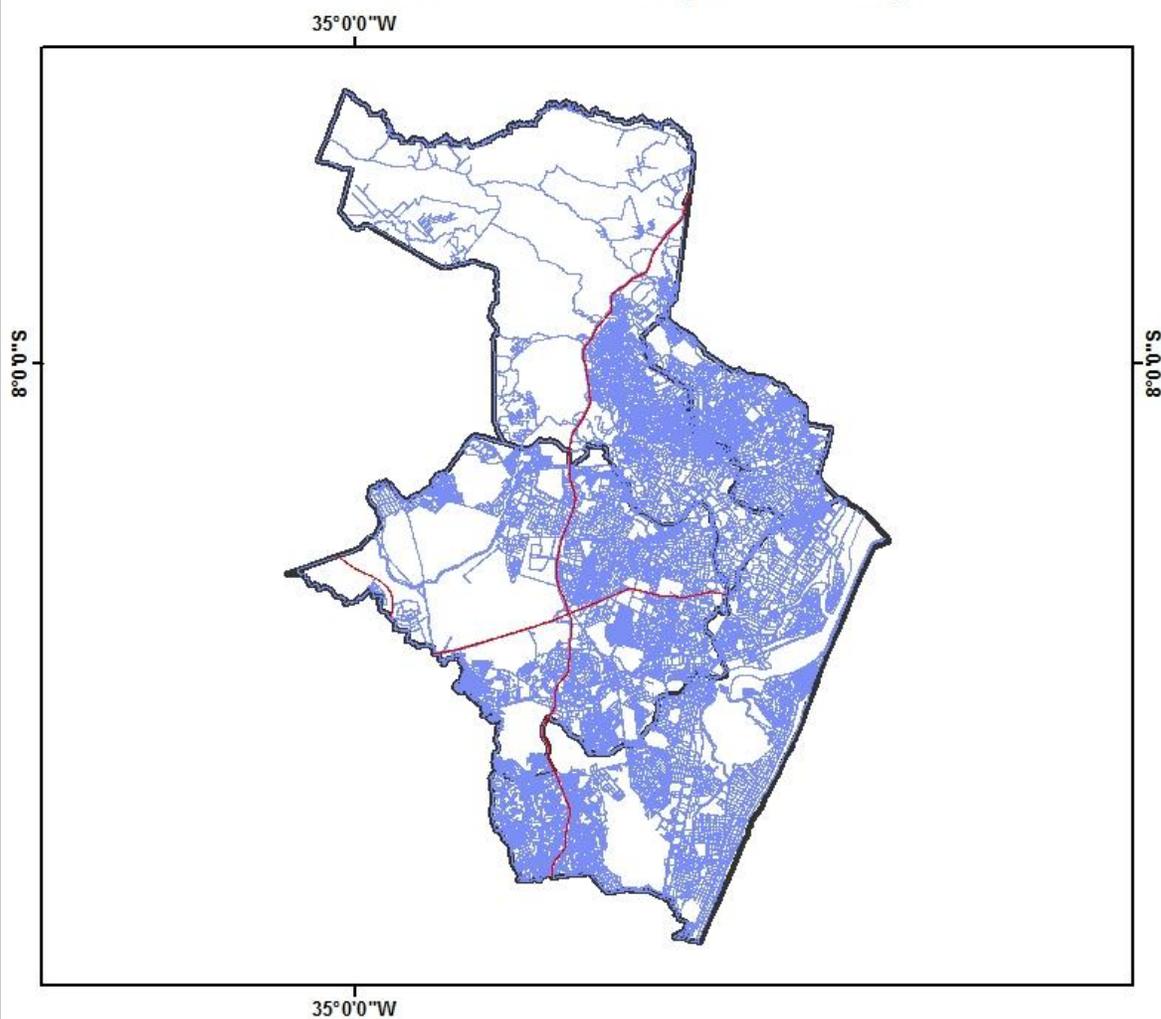
### Legend

-  Areas Definidas
-  Delimitação Recife



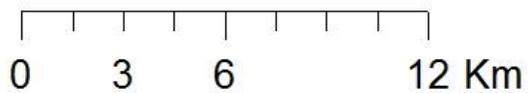
Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum SIRGAS 2000  
Fonte: UFPE-PPGEP

## Malha Rodoviária (Recife-PE)



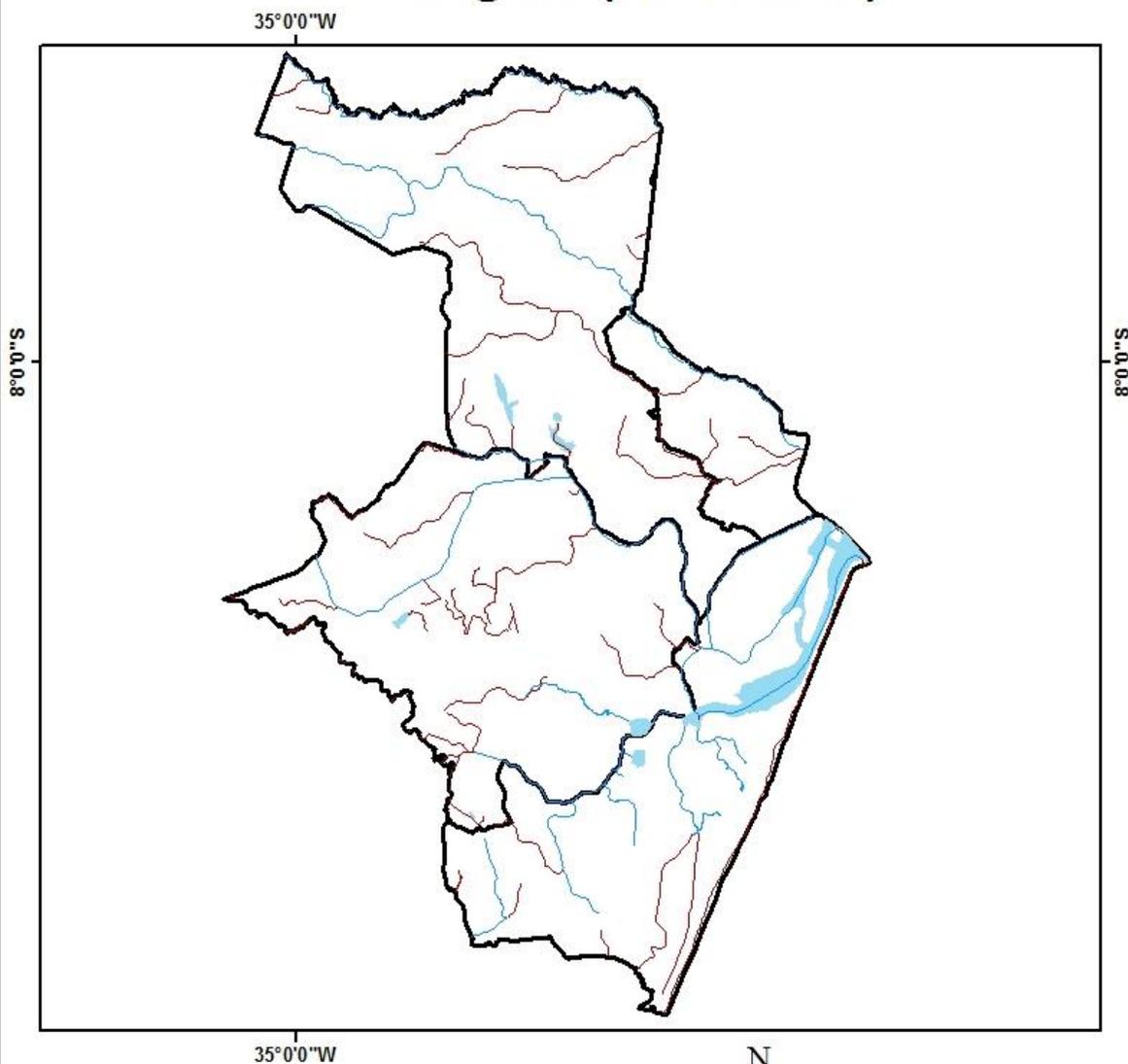
### Legend

- ST\_NIT\_Rodovias
- FaceQuadraSargas2000
- Delimitação Recife



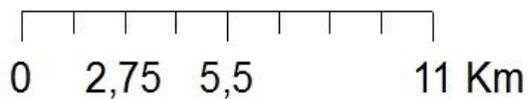
Sistema de Coordenadas Geográficas  
 Datum SIRGAS 2000  
 Fonte: UFPE-PPGEP

# Drenagem (Recife-PE)



## Legend

-  Rio Jiquiá
-  Rio Tejipió
-  Rio Pina
-  Rio Jordão
-  Shape Trechodrenagem
-  Shape Rio
-  Lagoas
-  Bacia do Pina
-  Delimitação do Recife



Sistema de Coordenadas Geográficas  
 Datum SIRGAS 2000  
 Fonte: UFPE-PPGEP