



Universidade de Cabo Verde
Projecto SuGIK - Sustainable Geographic
Information Knowledge Transfer for Post
Graduate Education
Pós-Graduação e Mestrado em Ciência e
Sistemas de Informação Geográfica



MODELAÇÃO CARTOGRÁFICA PARA LOCALIZAÇÃO ÓPTIMA DE UM ATERRO SANITÁRIO NA ILHA DE SANTIAGO

Domingos Tavares

**Relatório de projecto apresentado em cumprimento parcial dos requisitos para
obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica pela
Universidade Nova de Lisboa e Universidade de Cabo Verde**

Universidade de Cabo Verde (UniCV)

2012





Universidade de Cabo Verde
Projecto SuGIK - Sustainable Geographic
Information Knowledge Transfer for Post
Graduate Education
Pós-Graduação e Mestrado em Ciência e
Sistemas de Informação Geográfica



MODELAÇÃO CARTOGRÁFICA PARA LOCALIZAÇÃO ÓPTIMA DE UM ATERRO SANITÁRIO NA ILHA DE SANTIAGO

Domingos Tavares

**Relatório de projecto apresentado em cumprimento parcial dos requisitos para
obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica pela
Universidade Nova de Lisboa e Universidade de Cabo Verde**

Universidade de Cabo Verde (UniCV)

2012



**MODELAÇÃO CARTOGRÁFICA PARA LOCALIZAÇÃO ÓPTIMA DE UM
ATERRO SANITÁRIO NA ILHA DE SANTIAGO**

Trabalho de Projecto orientado pelo Professor Doutor
Nuno de Sousa Neves

Co-orientador: Professor Doutor
António Querido

Junho de 2012



Sustainable Geographic
Information Knowledge Transfer
for Post Graduate Education

MODELAÇÃO CARTOGRÁFICA PARA LOCALIZAÇÃO ÓPTIMA DE UM ATERRO SANITÁRIO NA ILHA DE SANTIAGO

Domingos Tavares

**Relatório de projecto apresentado em cumprimento parcial dos requisitos para
obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica pela
Universidade Nova de Lisboa e Universidade de Cabo Verde**

Universidade de Cabo Verde (UniCV)



MODELAÇÃO CARTOGRÁFICA PARA LOCALIZAÇÃO ÓPTIMA DE
UM ATERRO SANITÁRIO NA ILHA DE SANTIAGO

Trabalho de Projecto orientado pelo Professor Doutor
Nuno de Sousa Neves

Co-orientador: Professor Doutor
António Querido

Junho de 2012

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar os meus profundos agradecimentos ao orientador deste trabalho, Professor Doutor Nuno de Sousa Neves, ao Coorientador Doutor António Querido pela disponibilidade em aceitarem colaborar na realização deste trabalho, pela competência demonstrada e por todo o apoio e encorajamento prestados e sem os quais o trabalho não teria sido possível.

Um especial agradecimento ao colega de profissão – Mestre Romualdo Barros Correia por todo o apoio prestado de forma incondicional e incansável sobretudo nos meus primeiros momentos de contacto com os SIG. Ao colega Romualdo gostaria de manifestar a minha eterna gratidão.

Os meus agradecimentos são extensivos ao Coordenador do curso de Mestrado Professor Doutor Marco Painho, à Coordenadora do DCT – UNICV Doutora Judite Nascimento e a todos os professores do projecto SUGIK pela dedicação, profissionalismo e competência.

Agradeço aos colegas da 2ª edição do Curso de Mestrado em C&SIG – Cabo Verde pela companhia, pela colaboração e todo o apoio prestado.

Os meus agradecimentos às instituições pela disponibilidade manifestada, em particular ao Instituto Nacional de estatística (INE), Direcção Geral de Habitação e do Ordenamento do Território (DGHOT) Instituto Nacional dos Recursos Hídricos (INGRH) e Direcção Geral do Ambiente DGA).

Agradeço à minha família em particular a minha mãe e os amigos pela paciência compreensão e todo o apoio prestado.

Agradeço a minha querida filha Telma V. B. Tavares, a quem dedico este trabalho, pela compreensão demonstrada nos momentos da minha ausência e pelo apoio moral que tanto amenizou a dureza da caminhada.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho, queria manifestar a minha profunda gratidão.

MODELAÇÃO CARTOGRÁFICA PARA LOCALIZAÇÃO ÓPTIMA DE UM ATERRO SANITÁRIO NA ILHA DE SANTIAGO

RESUMO

A produção do lixo é um problema decorrente da dinâmica da sociedade. A recolha e tratamento do mesmo são imperativos que se impõem. Trata-se de uma questão de saúde pública para a garantia do bem-estar das pessoas, da preservação do meio ambiente e dos ecossistemas. Os mecanismos e processos que estão na base do tratamento do lixo são vários, desde a incineração, a reciclagem passando pelos aterros sanitários, entre outros. Neste trabalho pretende-se desenvolver um projecto capaz de fornecer subsídios e pistas seguras às autoridades competentes para a instalação de um aterro sanitário na ilha de Santiago, pois, devido às condições geomorfológicas, ambientais, económicas e sociais locais, a construção de aterro sanitário para destino do lixo parece ser a solução mais adequada. Porém, o processo de deposição do lixo em aterros acarreta consigo algum risco nomeadamente na poluição ambiental dado a diversidade do mesmo, ao processo de decomposição, pelo que, recomendam-se estudos multidisciplinares que, de uma forma articulada e fazendo uso de ferramentas de geoprocessamento, possam identificar locais com maior aptidão para instalação desse tipo de infraestrutura. Várias são as etapas, os processos e técnicas de modelação cartográfica em ambientes dos SIG conducentes a localização óptima do aterro sanitário. No presente trabalho pretende-se, com a elaboração e integração de mapas de ocupação do solo, mapas de relevo e mapas com informações sobre hidrologia, geologia, geomorfologia, realizar zoneamento de aptidão das áreas através da aplicação do método de análise multicritério para a ponderação dos critérios e à análise espacial com recurso a operações como *euclidean distance*, *overlay*, *álgebra de mapas* utilizando o software ArcGIS.

CARTOGRAPHIC MODELING FOR THE OPTIMAL LOCATION OF A LANDFILL ON THE SANTIAGO ISLAND

ABSTRACT

The production of waste is a problem due to the dynamics of society. The collection and processing of the same are the requirements that are imposed. This is a public health issue in ensuring the welfare of the people, the preservation of the environment and ecosystems. The mechanisms and processes that underlie the treatment of waste are various, from the incineration, recycling through the landfill, among others. In this work we intend to develop a project capable of providing subsidies and safe tracks to the competent authorities for the installation of a landfill on the Santiago Island, because, due to geomorphological conditions, environmental, economic and social in the Island, the construction of sanitary landfill for garbage disposal seems to be the most appropriate solution. However, the process of waste disposal in landfills carries with it particular risk in environmental pollution given the diversity of the same, the decomposition process, whereby, multidisciplinary studies are recommended in an articulated way and using geoprocessing tools, can identify locations with greater aptitude for installing this type of infrastructure. There are several steps, processes, and cartographic modeling techniques in GIS environments conducive to optimal location of the landfill. In the present work is intended, with the development and integration of land use maps, relief maps and maps with information on hydrology, geology, geomorphology, perform zoning of aptitude of areas through the application of multicriteria analysis method for weighting criteria and spatial analysis through operations such as euclidean distance, overlay, map algebra using the ArcGIS software.

PALAVRAS-CHAVE

Álgebra de Mapas

Análise Multicritério

Aterro Sanitário

Modelação Cartográfica

Sistemas de Informação Geográfica

Resíduos Sólidos

KEYWORDS

Map Algebra

Multicriteria Analysis

Landfill

Cartographic modeling

Geographic Information Systems

Solid Waste

ACRÓNIMOS

- A - Formação de Assomada
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AHP - *Analytical Hierarchy Process* (Processo Analítico Hierárquico)
- AS – Aterro Sanitário
- CA - Complexo Eruptivo Interno Antigo
- CB - Formação dos Órgãos
- CD – Carta de Distância
- DGHOT - Direcção Geral de Habitação e Ordenamento de Território
- ELECTRE - *Elimination et Choix Traduisant la Réalité*
- EROT – Esquema Regional de Ordenamento de Território
- ESRI – *Environmental Systems Research Institute*
- INE - Instituto Nacional de Estatística
- INGRH - Instituto Nacional de Gestão de Recursos Hídricos
- MACBETH - *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*
- MADM – *Multiattribute Decision Making*
- MCDA - *Multicriteria Decision Analysis*
- MCDM - *Multicriteria Decision Making*
- MODM – *Multiobjective Decision Making*
- MV - Formação do Monte das Vacas
- PA - Complexo Eruptivo de Pico de Antónia
- PANA II – Plano de Acção Nacional para o Ambiente
- PEAD - Polietileno de Alta Densidade
- PGRS - Plano de Gestão dos Resíduos Sólidos
- PROMETEE – *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*
- PVC - Policloreto de Vinila
- QUIBB - Questionário Unificado de Indicadores Básicos de Bem-Estar
- RS - Resíduos Sólidos
- RU - Resíduos Urbanos
- SIG – Sistemas de Informação Geográfica
- $\lambda\rho$ - Formação dos Flamengos

ÍNDICE DO TEXTO

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
PALAVRAS-CHAVE.....	VIII
KEYWORDS	VIII
ACRÓNIMOS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivo Geral.....	4
1.3 Objectivos Específicos.....	4
1.4 Perguntas de partida.....	5
1.5 Premissas/hipóteses de trabalho.....	5
2 Metodologia Geral.....	7
2.1 Modelo de Análise	10
3 Estado da arte	12
3.1 Caracterização da área de estudo	12
3.1.1 Localização Geográfica da ilha de Santiago.....	12
3.1.2 Geologia da Ilha de Santiago.....	13
3.1.3 Unidades Hidrogeológicas.....	15
3.1.4 Permeabilidade	17
3.1.5 População	18
3.2 A problemática do lixo e a evolução da sociedade.....	19
3.3 Resíduos Sólidos Urbanos	22
3.3.1 Conceitos	22

3.3.2	Enquadramento Legal dos Resíduos Sólidos em Cabo Verde.	22
3.3.3	Classificação dos Resíduos Sólidos.....	23
3.3.4	Situação dos Resíduos Sólidos em Cabo Verde.	24
3.3.5	Estratégia de Gestão dos Resíduos Sólidos	27
3.4	Deposição dos Resíduos Sólidos	28
3.4.1	Lixeira ou vazadouros	28
3.4.2	Aterro Controlado.....	29
3.4.3	Aterro Sanitário	30
3.4.4	Construção de um Aterro Sanitário	33
3.4.5	Dimensionamento do aterro sanitário para a ilha de Santiago	36
4	Materiais e Métodos	38
4.1	Critérios para a selecção de áreas para instalação de aterro sanitário.....	38
4.2	Dados de base utilizados na modelação cartográfica.....	41
4.3	Ponderação dos fatores	43
4.3.1	Justificação	43
4.3.2	Análise Multicritério	44
4.3.3	Determinação dos pesos dos fatores pelo método AHP	50
4.3.4	Análise dos resultados dos valores mais elevados dos pesos encontrados. 56	
5	Modelação Cartográfica em ambiente SIG	58
5.1	SIG – Alguns Conceitos Básicos	58
5.2	Recurso à álgebra de mapas como ferramenta para modelação cartográfica ..	61
6	Análise dos resultados.....	82
6.1	Localização do aterro sanitário em relação à distância da malha urbana e Cidade da Praia.	82
6.2	Localização do aterro sanitário em relação à proximidade do aeroporto.	83
6.3	Localização do aterro sanitário em relação à proximidade dos poços e das ribeiras.	84
6.4	Localização do aterro sanitário em relação à permeabilidade do solo.....	85
6.5	Localização do aterro sanitário em relação à ocupação do solo.	86

6.6	Acessibilidade ao local selecionado para instalação do aterro sanitário.....	87
6.7	Exposição das encostas para o local selecionado para instalação do aterro sanitário.....	88
	Conclusões e recomendações	90
	Bibliografia.....	92
	ANEXOS.....	98

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Formas de Evacuação dos RSU em Cabo Verde.	24
Tabela 2- Evolução e comparação do RSU e população.....	25
Tabela 3 - Dados de base utilizados para determinação da área necessária para instalação do aterro sanitário na Ilha de Santiago.	36
Tabela 4 – Previsão do volume dos RU gerados pela população da ilha de Santiago de 2010 a 2025.	37
Tabela 5 – Estimativa da área mínima necessária para instalação do aterro sanitário na ilha de Santiago.	37
Tabela 6 - Principais Critérios técnicos para selecção de áreas para Aterro Sanitário... 39	
Tabela 7 - Critérios económicos para selecção de áreas para Aterro Sanitário.....	40
Tabela 8 - Critérios político-sociais para selecção de áreas para Aterro Sanitário.	41
Tabela 9 – Dados de base utilizados na modelação.....	42
Tabela 10 - Escala de valores utilizados na comparação par a par.....	43
Tabela 11 – Matriz de comparação par – par dos critérios seleccionados para a localização do aterro sanitário.	54
Tabela 12 - Índice aleatório (RI) em função da ordem (n) da matriz.	55
Tabela 13 - Variáveis utilizadas no cálculo da razão de consistência (CR).	56
Tabela 14 – Pesos dos critérios determinados utilizando a rotina WEIGHT do software IDRISI.	57
Tabela 15 – valores atribuídos na reclassificação dos critérios.....	70
Tabela 16 – Escala de valores utilizados na reclassificação dos atributos dos critérios ocupação de solo e declive e os respetivos pesos utilizados na determinação da superfície de custo.	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da metodologia geral.	9
Figura 2 - Modelo de Análise.	11
Figura 3 - Localização geográfica da Ilha de Santiago - Cabo Verde.	12
Figura 4 - Sequência Estratigráfica da Geologia da Ilha de Santiago.	15
Figura 5 – Unidades Hidrogeológicas da ilha de Santiago.	16
Figura 6 – Carta de Permeabilidade.	17
Figura 7 – Gráfico da População da ilha de Santiago, no ano 2010, segundo os dados do censo 2010 do INE – Cabo Verde.	19
Figura 8 – Gráfico da representação das formas de evacuação dos RSU em Cabo Verde em 2007 de acordo com os dados do QUIBB, INE (2007).	24
Figura 9 – Gráfico da comparação da evolução da população com os RSU.	26
Figura 10 – Gráfico da quantidade de RSU recolhidos na Ilha de Santiago no ano 2009 nos principais Municípios.	28
Figura 11 – Extractos da imagem da lixeira da Cidade da Praia com presença de animais e pessoas que sobrevivem da recolha de lixo.	29
Figura 12 - Desenho em corte do esquema de um aterro sanitário.	30
Figura 13 – Controlo das emissões gasosas e recolha do percolado para tratamento. ...	32
Figura 14 – Controlo dos resíduos sólidos antes da entrada no aterro sanitário.	32
Figura 15 – Fases da impermeabilização das células de um aterro sanitário.	33
Figura 16 – Aterro Sanitário em Rampa.	34
Figura 17 – Construção do aterro sanitário pelo método de área.	34
Figura 18 - Construção do aterro sanitário pelo método de trincheira.	35

Figura 22 – I - Cruzamento de informação célula a célula de temas <i>rasters</i> numa operação matricial local.....	64
Figura 23 – Fluxograma das principais operações de análise espacial realizadas na modelação cartográfica.....	66
Figura 24 – Diagrama de <i>model builder</i> ilustrando parte da modelação cartográfica executada.....	72
Figura 26 – Gráfico da percentagem da área da superfície da ilha de Santiago em função da aptidão para instalação do aterro sanitário.....	74
Figura 28 – Superfície de distância de custo.	76
Figura 29 - Superfície de direção de custo.	77
Figura 30 – Carta da superfície de custo.	79
Figura 31 – Identificação da área para instalação do AS através da determinação do caminho mais curto do centro da Cidade da Praia às superfícies de aptidão máxima. ..	80
Figura 32 – Gráfico da percentagem da área selecionada do total da área disponível para a instalação do aterro sanitário.	80
Figura 33 – Localização da superfície de aptidão máxima selecionada para instalação do aterro sanitário na ilha de Santiago entre os concelhos da Ribeira Grande, Praia e São Domingos.	81
Figura 34 - Localização do aterro sanitário em relação à malha urbana e Cidade da Praia.....	83
Figura 35 - Localização do aterro sanitário em relação à distância do aeroporto.	84
Figura 36 - Localização do aterro sanitário em relação aos corpos de água.	85
Figura 37 - Localização do aterro sanitário em relação à permeabilidade do solo.	86
Figura 38 - Localização do aterro sanitário em relação à ocupação do solo.	87
Figura 39 – Carta de acessibilidade ao local selecionado para instalação do aterro sanitário.	88

Figura 40 – Carta de orientação das encostas do local selecionado para instalação do aterro sanitário. 89

1 Introdução

1.1 Enquadramento

A gestão do espaço geográfico é uma questão que merece especial atenção por parte de toda a sociedade. Governos, Autarquias Locais e todas as instituições que, de alguma forma, lidam com a problemática do ordenamento do espaço geográfico e toda a população no geral residente ou não num determinado espaço geográfico. O progresso de uma sociedade depende, em grande medida, do desenvolvimento harmonioso na esfera económico-social e das políticas ambientais adotadas o que requer a implementação e manutenção de um plano de ordenamento do território que passa, necessariamente, pela identificação de locais ótimos para a instalação das diversas infraestruturas necessárias ao normal funcionamento das instituições. Desde logo, há uma necessidade imperiosa de uma definição clara e criteriosa das prioridades em termos de localização ótima de determinadas infraestruturas bem como a definição de regras inerentes à execução de projetos infraestruturais para fins específicos. A ilha de Santiago é um espaço geográfico com as suas particularidades em termos de organização e gestão territorial sobretudo no que diz respeito à ocupação do solo. A sua organização económica social e ambiental possui, igualmente, algumas particularidades sendo desejável que obedeça aos padrões organizacionais mundialmente aceites. Nesse sentido, esforços têm sido envidados no sentido da aproximação aos referidos padrões particularmente no que tange à procura de sítios adequados para levar a cabo projetos de infraestruturas de interesse público. Esses projetos incluem a construção de um Aterro Sanitário existindo, no entanto, alguma polémica sobre a sua localização geográfica algo passível de um estudo multidisciplinar e aprofundado por parte de especialistas nas questões ambientais, geográficas, sociais, antropológicas, geológicas, em fim, especialistas em fenómenos que envolvam as Ciências da Terra e dos Sistemas de Informação no geral e particularmente dos Sistemas de Informação Geográfica.

O trabalho que se propõe desenvolver enquadra-se no Curso de Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica do projeto SuGIK¹ e pretende corresponder à

¹ SuGIK (*Sustainable Geographic Information Knowledge Transfer for Post Graduate Education*) – Projecto de Pós-Graduação e Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica

necessidade de um estudo científico capaz de fornecer subsídios para a implementação técnica de um projecto com grande impacto social e ambiental para uma região. Pretende, igualmente, apresentar uma abordagem científica e pedagógica na articulação e interacção entre os vários factores a ter em conta na problemática da localização óptima de um aterro sanitário. Factores relacionados com os ecossistemas, actividades humanas, recursos naturais, etc., devem merecer uma análise científica criteriosa e um tratamento adequado no âmbito dos Sistemas de Informação Geográfica capaz de produzir modelos que conduzam a cenários de localização óptima que viabilizem os investimentos, com interesses económico-sociais acrescidos, salvaguardando os interesses ambientais através da protecção dos ecossistemas locais e da criação de condições conducentes à elevação da qualidade de vida das populações.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) tornam-se um dos maiores problemas das gestões públicas, uma vez que sua solução aborda diversas questões, de entre as quais as suas formas de tratamento e de disposição final (Samizava, Kaida, Imai, & Nunes, 2008). De facto, um dos grandes problemas urbanos atuais é a produção dos resíduos sólidos e a sua disposição final inadequada que se agrava em decorrência do crescimento da população urbana e das mudanças de hábitos de consumo introduzidas pela era industrial. O aumento da geração de lixo urbano não tem sido acompanhado por soluções satisfatórias de gestão resultando no seu destino final de forma incompatível com a preservação do ambiente e da saúde pública. Nas últimas décadas o aumento acentuado da produção de resíduos sólidos urbanos (RSU), como resultado de uma sociedade exageradamente consumista, tem constituído uma fonte de problemas para as entidades locais responsáveis pela sua gestão (Luz, Francés, Fernandes, & Dill, 2009). A sociedade caboverdeana não foje à regra. A recolha e tratamento do lixo são imperativos que se impõem. Trata-se de uma questão de saúde pública para a garantia do bem-estar das pessoas. Os mecanismos e processos que estão na base do tratamento do lixo são vários, desde a incineração, a reciclagem passando pela construção de aterros sanitários dependendo do tipo de lixo e da sua proveniência. Todos esses processos acarretam consigo algum risco nomeadamente na poluição ambiental dado a diversidade do lixo, ao processo de decomposição/deterioração, pelo que, estudos recomendam-se para se poder decidir qual o mecanismo mais eficaz a adotar no processo de tratamento do lixo. Potencialmente, os lixos domésticos (RSU) e resíduos

industriais são depositados em aterros sanitários. Os resíduos hospitalares normalmente são tratados numa incineradora. Porém, a deposição de resíduos sólidos em aterros deverá ser sempre implementada, uma vez que, qualquer outro sistema, como estações de tratamento ou centrais incineradoras, originam subprodutos, que deverão ter um destino final (Farinha e Barata, 1993 citado por Luz, Francés, Fernandes & Dill, 2009).

A produção de lixo em Cabo Verde é um processo inevitável que ocorre diariamente em quantidades e composições que dependem da densidade populacional e do desenvolvimento sócio – económico das Cidades. Acontece, porém, que o sistema de eliminação dos resíduos sólidos é pouco desenvolvido e os métodos de tratamento dos mesmos nem sempre atendem às conjunturas ambientais e técnicas. Em Cabo Verde de uma forma geral e particularmente na ilha de Santiago o lixo é depositado a céu aberto com todas as consequências que daí resultam. De acordo com Nunes, Samizava, Kaida, Imai, & Nunes (2008: 2) esta situação configura grandes impactos ambientais, bem como a poluição e contaminação das águas superficiais e de subsuperfície, do ar e do solo. Para o citado autor outro grande problema inerente é da população que vive ao entorno, além de sujeitas ao mau cheiro, infestação por moscas e roedores, corre grande risco de contrair doenças. Ainda, para os autores, deve-se mencionar a problemática da *catação* dos resíduos, onde se podem encontrar muitas crianças envoltas ao lixo. Efetivamente essa é a dura realidade que se constata um pouco por todas as lixeiras do Arquipélago de Cabo Verde e com uma afluência, particularmente, significativa na lixeira do Município da Praia cujo acesso é relativamente fácil.

Nesse sentido, cada vez mais nota-se a necessidade de métodos e técnicas para dispor adequadamente os resíduos. A Alternativa viável seja em termos económicos ou ambientais é a construção de aterros sanitários (*op. cit.*).

Na ilha de Santiago o aumento considerável da população, na última década, nos principais centros urbanos, alterou definitivamente o paradigma da ocupação do solo na medida em que para além da necessidade de dar respostas às demandas em termos do solo com perfil habitacional, inerente ao aumento populacional, surge ainda um conjunto de necessidades relacionadas com a procura de locais para a instalação de um conjunto de infraestruturas para atender às necessidades das pessoas. Este cenário torna muito complexa a tarefa de instalação de aterros sanitários, pois, este tipo de infraestrutura requerer solo com particularidades específicas o que nem sempre é

possível encontrar. Numa primeira abordagem, o solo para o efeito deve ser vago, ou seja, não deve estar ocupado e nem possuir aptidão para instalação de outras infraestruturas prioritárias para o perfil local. Acontece, porém, que esses terrenos residuais costumam localizar-se em zonas impraticáveis para a instalação de aterro sanitário devido a vários factores como sejam o relevo do terreno, a hidro-geologia, acessibilidades, etc. Nesse contexto, justifica-se plenamente a escolha do tema do projecto que se propõe desenvolver pela sua actualidade e pertinência sendo que se trata de um estudo técnico e científico muito importante e que pode auxiliar as autoridades nas tomadas de decisões quanto à identificação de locais seguros para instalação da referida infra-estrutura.

1.2 Objectivo Geral

- Seleccionar áreas com perfil adequado para a instalação de aterro sanitário na Ilha de Santiago – Cabo Verde

1.3 Objectivos Específicos

- Caracterizar a área de estudo do ponto de vista do aumento da produção dos resíduos sólidos;
- Analisar a problemática do lixo no contexto da Ilha de Santiago justificando a instalação de um aterro sanitário;
- Localizar áreas potenciais para aterro sanitário tendo em conta as orientações legais emanadas do plano nacional de ordenamento do território e do Ministério do Ambiente;
- Estabelecer critérios de selecção que preservem a saúde humana e protejam a flora e a fauna locais;
- Aplicar o princípio de exclusão na selecção de locais para aterro sanitário tendo em conta os espaços geográficos com particular interesse por parte dos investidores nas áreas, nomeadamente, do turismo, indústrias e agricultura;
- Definir prioridades em termos de áreas potenciais na localização do aterro sanitário tendo em conta os aspectos económicos, sociais e ambientais;
- Criar um modelo SIG, para selecção de locais para instalação de aterro sanitário, tendo em conta os critérios previamente estabelecidos;

- Produzir cartografia local para espaços geográficos com potencial para instalação de aterro sanitário com base em modelação em ambientes dos SIG.

1.4 Perguntas de partida

- Que factores condicionam a localização do aterro sanitário?
- Que prioridades devem ser estabelecidas na localização do aterro sanitário?
- Qual o perfil de terreno com potencial para instalação do aterro sanitário?
- Qual a localização da superfície da ilha de Santiago com aptidão para instalação de aterro sanitário?
- Existe na ilha de Santiago superfície com aptidão para instalação de aterro sanitário e com área necessária?

1.5 Premissas/hipóteses de trabalho

A localização de um aterro sanitário na Ilha de Santiago está condicionada aos factores económico-sociais, ambientais, geológicos e hidrológicos. Desde logo, põe-se a questão da protecção do meio ambiente no geral como um dos factores mais importantes a ter em conta. As questões relacionadas com a poluição do ar, contaminação dos poços de captação de água potável, desequilíbrio dos ecossistemas locais ocupam um lugar de destaque de entre as várias preocupações que merecem alguma prioridade na escolha de locais potenciais para aterro sanitário. O ar poluído proveniente do aterro e que atinge as populações com efeito nocivo directo sobre as pessoas poderá estar, de alguma forma, ligada ao declive do terreno e a sua exposição aos ventos. A Ilha de Santiago é, predominantemente, atingida por ventos que sopram na direcção nordeste/sudoeste. Nesta perspectiva, pressupõe-se localizar o aterro em locais posteriores às zonas habitacionais em termos de ordem de recepção dos ventos, ou, alternativamente, em sítios localizados a leste das áreas montanhosas permitindo, deste modo, o desvio das massas de ar para a atmosfera minimizando, deste modo, eventual efeito poluente proveniente do aterro sobre as populações. Outro factor a ter em conta é o geológico. Santiago é uma Ilha de formação vulcânica, entretanto, possui particularidades, no que

se refere às rochas que compõe o seu solo e subsolo, derivadas de efeitos erosivos. As formações de *Vertentes*, *Aluviões*, *Pico de Antónia (P. A.)*, *Complexos Antigos*, *Conglomerados*, entre outras particularidades em termos de formação geológica devem ser levadas em conta, pois, determinam, de certa forma a permeabilidade do solo que é um condicionante importante na localização do aterro sanitário. Espera-se que a localização do aterro se situe numa região onde, por um lado, o solo não seja muito permeável para não facilitar a contaminação das áreas circundantes e da parte mais profunda do subsolo sobretudo os recursos hídricos e por outro lado, sítios onde o terreno é formado por rochas muito duras (e.g. formação basáltica) não são muito atraentes do ponto de vista económico devido ao elevado custo exigido na construção do aterro.

Finalmente, aplicando o critério de exclusão por imperativos legais e tendo em conta as reservas naturais, zonas residenciais, poços de captação de água potável, a geologia da Ilha, etc., as áreas residuais para instalação de aterro devem localizar-se relativamente próximas ao concelho da Praia em detrimento dos outros concelhos, pois, sendo Praia o concelho mais populoso da Ilha, espera-se que seja o maior produtor de lixo. Deste modo, justifica-se plenamente a proximidade do aterro por uma questão de economia na recolha e transporte dos resíduos.

2 Metodologia Geral

A elaboração deste trabalho de investigação comporta, essencialmente, duas vertentes metodológicas de acordo com o esquema da figura 1.

- vertente de carácter teórico com base em pesquisa bibliográfica procurando enquadrar o tema nas principais correntes teóricas que explicam a problemática do lixo a par dos conceitos básicos inerentes ao seu tratamento e conservação destacando o aterro sanitário como a infraestrutura de eleição para o depósito final dos resíduos sólidos. Neste capítulo, merece também, destaque, uma reflexão crítica do ponto de vista da situação actual da problemática em questão na ilha de Santiago bem como a perspectiva futura.

- vertente prática visando a utilização dos softwares de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na manipulação de dados gráficos e alfanuméricos para a elaboração de um conjunto de cartas em formato digital dos vários factores em análise para a área de estudo e a concepção e execução de modelos cartográficos para determinação de graus de aptidão dos locais para a instalação de aterro sanitário.

Com efeito, a modelação cartográfica com vista à identificação de sítios óptimos para a instalação de aterro sanitário requer a articulação de um conjunto de procedimentos e uma abordagem metodológica coerente na realização de análise espacial tendo em conta a complexidade do problema. Numa primeira abordagem realiza-se uma análise detalhada dos vários factores levados em conta no processo. De entre eles destacam-se os económico-sociais, ambientais, geológicos e hidrológicos. Para uma correcta articulação entre esses e outros factores propõe-se a realização de um estudo multidisciplinar nas áreas do impacto ambiental (avaliação dos riscos para o meio ambiente e a saúde pública), da economia (custo relacionado com a instalação do aterro e o retorno económico que representará para a sociedade), da geologia (avaliação dos riscos relacionados com a estrutura e estabilidade do solo), da hidrologia (avaliação do risco de contaminação dos recursos hídricos). No essencial, esses estudos permitem inferir a cerca da importância relativa das variáveis no contexto da instalação de um aterro sanitário. Este é o aspecto crucial no processo da identificação de locais óptimos que passa pela selecção das variáveis e determinação criteriosa da ponderação das mesmas na certeza de que agindo desta forma consegue-se eliminar, ou pelo menos

minimizar a síndrome “NIMBY² (*not in my back yard*)” (Cummins, O’Donnell, Allen, Donnelly, & Koukoulas, 1992). Isto é, espera-se que do ponto de vista técnico e científico se consiga identificar locais para a instalação de aterro sanitário que não sejam incómodos para as populações. As pessoas desejam ver resolvida a questão do lixo, mas, ao mesmo tempo não querem ter por perto uma instalação que poderá trazer algum desconforto. A grande questão é encontrar um local adequado que salvasse o conforto das pessoas, a saúde pública e o meio ambiente. Vários são os métodos de inferência espacial que se utilizam para aumentar as possibilidades na construção de cenários como, por exemplo a lógica *fuzzy* que permite mapear continuamente toda a variabilidade no espaço de cada variável. No presente trabalho, para diminuir a subjectividade na análise, propõe-se a aplicação da análise multicritério ou *Analitycal Hierarchy Process* (AHP) proposta por Saaty (1990) uma vez que os pesos de cada variável são julgados numa matriz de comparação par a par das variáveis.

A aplicação dos critérios de exclusão a áreas geográficas consideradas inaptas, quer devido aos constrangimentos legais quer devido aos riscos para o ambiente e/ou saúde pública (Costa, et al., 2003) constitui um dos procedimentos de extrema importância na resolução do problema de identificação de locais para instalação de aterro sanitário. Essas áreas inaptas são, normalmente determinadas a partir de operações de análise espacial como: sobreposição, união e aplicação de distâncias de protecção (*buffering*) (*op. cit.*). Nesta etapa do processo os dados devem estar em formato *vectorial* pelo que a inexistência de dados neste tipo de formato, exige a digitalização dos mesmos. Para as áreas restantes consideradas aptas para instalação de aterro sanitário, há necessidade de se proceder à avaliação do grau de aptidão com base na definição de um conjunto de parâmetros e na atribuição de pesos aos mesmos. Trata-se, pois, de uma etapa de modelação em que, preferencialmente, trabalha-se com dados em formato *raster* fazendo uso de operadores, funções e modelos disponíveis em ambientes SIG para a modelação de dados. A realização da operação de *Álgebra de Mapas* com recurso a *Model Builder* e utilização da ferramenta *weighted overlay* é apenas um exemplo de modelação que será realizada com dados *raster*, utilizando o *software ArcGIS 9.3.1*, no caso concreto do projecto instalação do aterro sanitário em causa.

² NIMBY - do inglês “Not In My Back Yard” (não no meu quintal)

A decisão em optar por uma ou outra área concreta para a instalação de um aterro sanitário na Ilha de Santiago vai ser fortemente condicionada à proximidade do concelho da Praia que, pela sua densidade populacional, é o maior produtor do lixo e pelas acessibilidades precavendo-se um mínimo de custo com a deslocação do lixo. Neste particular a determinação do *caminho mais curto* será decisivo para seleção de locais para instalação do aterro sanitário que represente o menor custo em termos de transporte de resíduos. Portanto, numa fase final de análise, estes são os aspetos que permitirão chegar à conclusão final a cerca do local mais apropriado para a instalação do aterro sanitário.

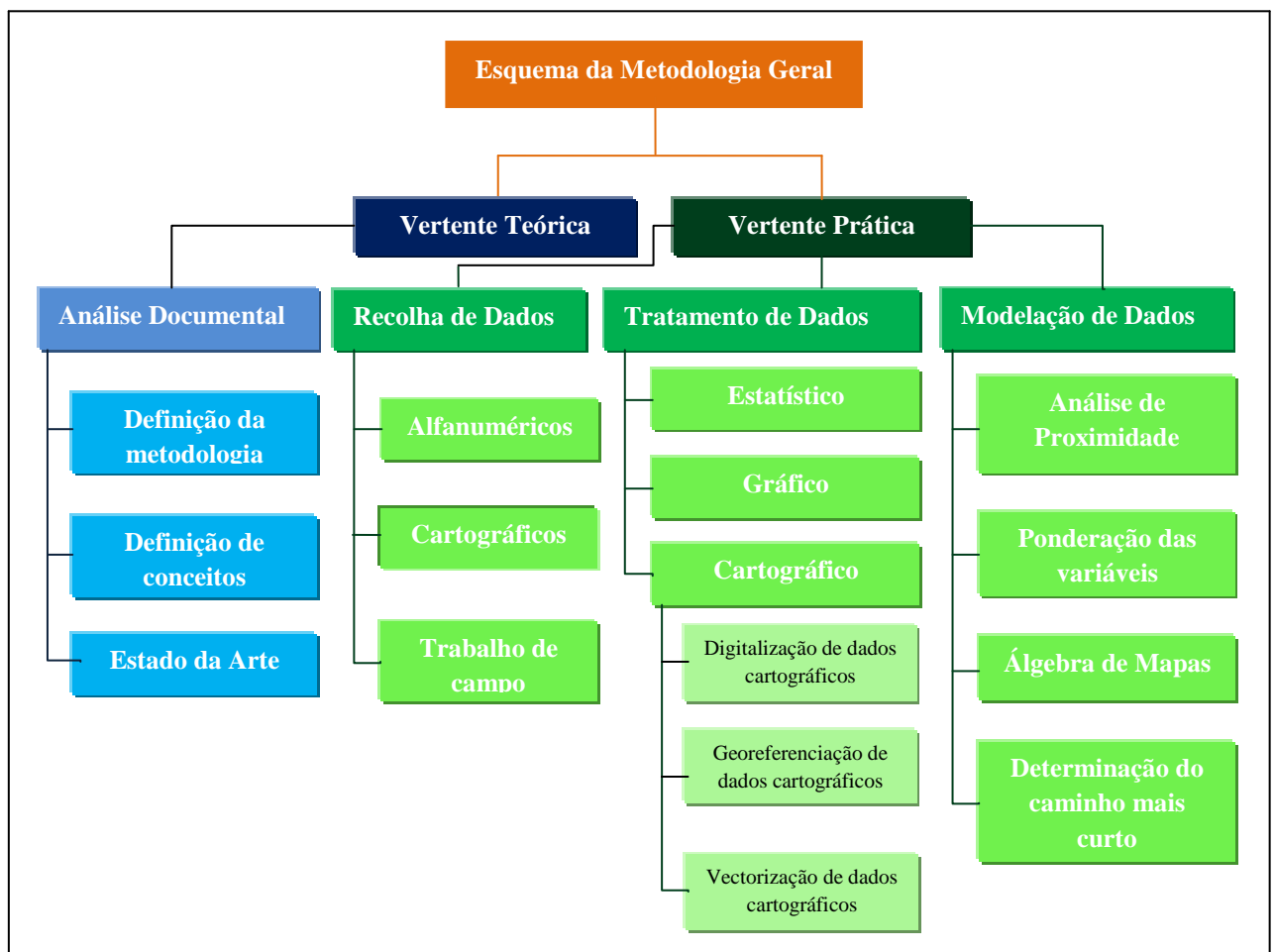


Figura 1 - Esquema da metodologia geral. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

2.1 Modelo de Análise

O modelo de análise representado através do esquema da figura7 foi uma forma encontrada para sistematizar as grandes etapas de desenvolvimento deste projecto. Pretende-se com este modelo apresentar de forma sucinta a estrutura global do trabalho onde se evidenciam as etapas de definição dos conceitos fundamentais, critérios/variáveis mais relevantes a ter em conta, factores, restrições, ponderação dos factores e análise dos resultados.

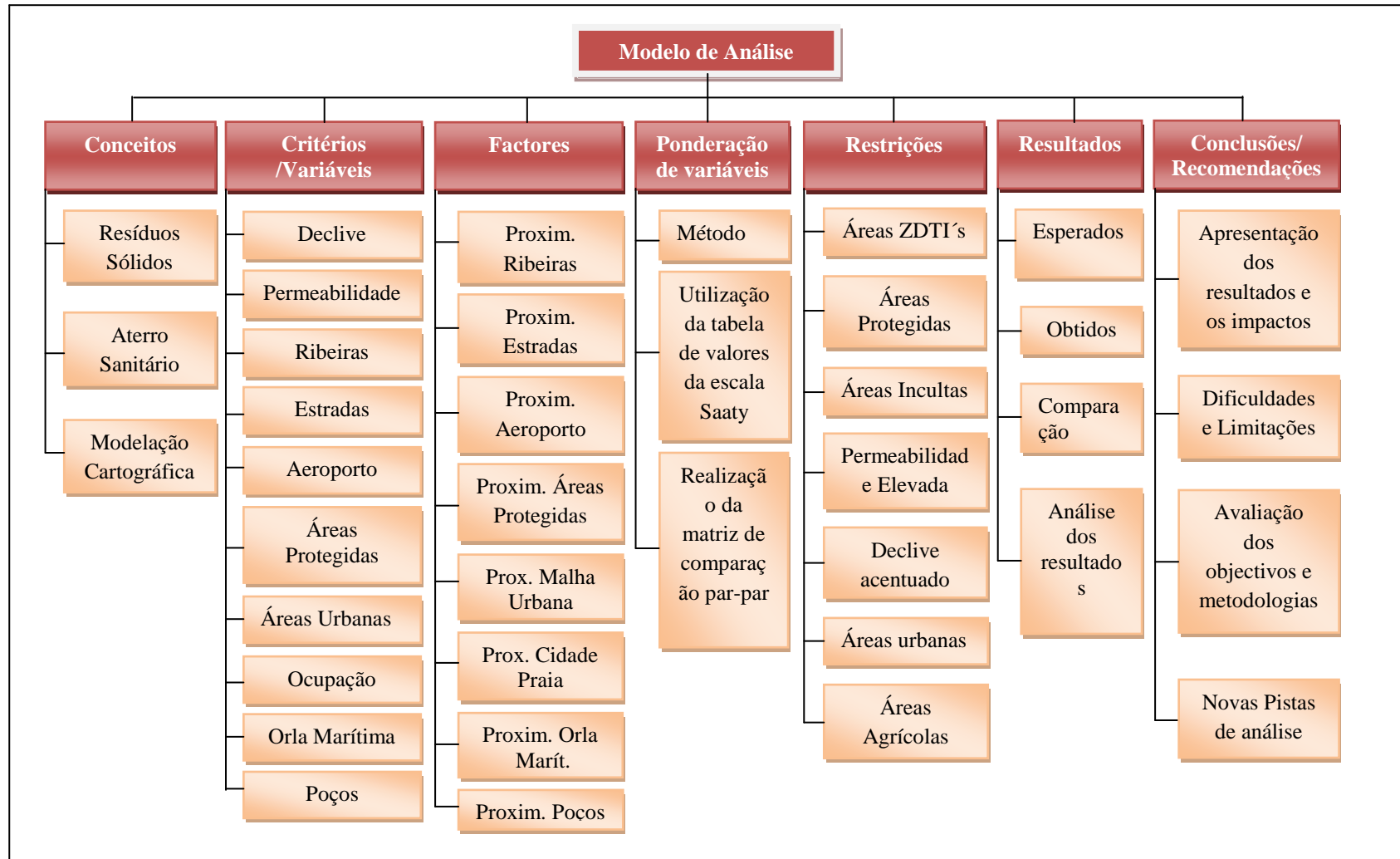


Figura 2 - Modelo de Análise. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

3 Estado da arte

3.1 Caracterização da área de estudo

3.1.1 Localização Geográfica da ilha de Santiago

A ilha de Santiago pertence ao arquipélago de Cabo Verde que possui uma área de 4033 km², está situado em pleno Oceano Atlântico a Oeste do cabo africano que lhe deu o nome, distando cerca de 500 km da costa (Amaral, 1964). Faz parte do denominado espaço macaronésio que inclui, também, os arquipélagos dos Açores, Madeira e Canárias, estando situado 1400 km a SW deste último. É constituído por dez ilhas e cinco ilhéus principais, de origem vulcânica. Santiago, pertence a um grupo constituído por 4 ilhas localizadas ao Sul do Arquipélago, que pela orientação geral em relação aos ventos alísios, se designa por Sotavento. A ilha estende-se entre os paralelos 14° 50' e 15° 20' N e os meridianos 23 ° 20' e 23° 50' W (Figura 2). Apresenta um comprimento máximo de 54,9 km, entre a Ponta Moreira e a Ponta Temerosa, e uma largura máxima de 28,8 km, entre a Ponta Coroa e a Ponta Janela. Tem uma superfície de 991 km² e uma altitude máxima de 1394 m (Pico de Antónia), pelo que é a de maior extensão e a terceira mais elevada do arquipélago.

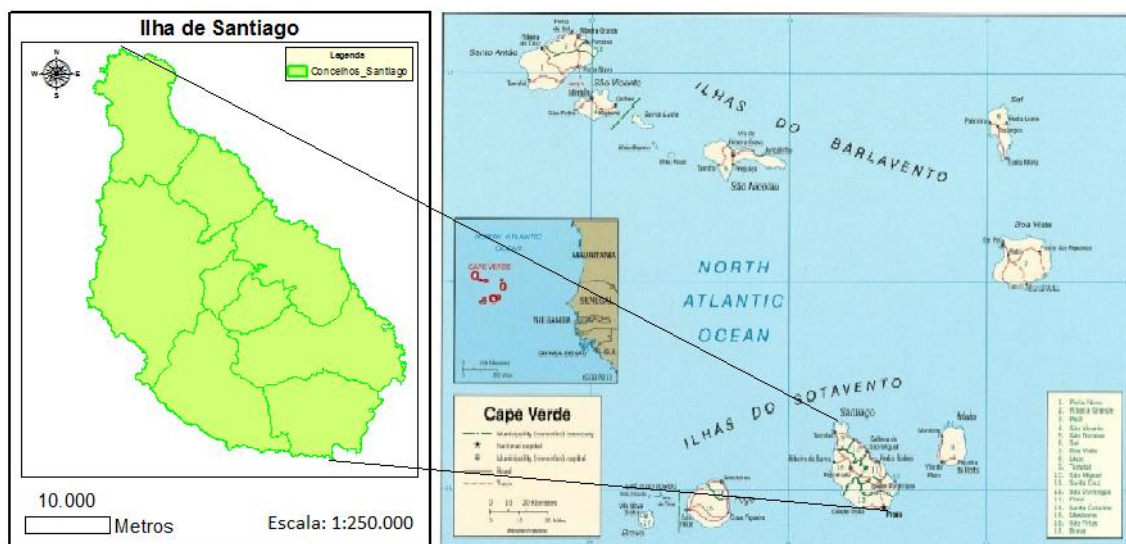


Figura 3 - Localização geográfica da Ilha de Santiago - Cabo Verde. Fonte: Adaptado de Wikipédia (2008).

3.1.2 Geologia da Ilha de Santiago

A ilha de Santiago é formada quase na totalidade por formações eruptivas, com predominância de rochas basálticas e produtos piroclásticos (brechas, *lapilli*, tufo). As rochas eruptivas deram origem a formações geológicas de idades diferenciadas. As mais antigas encontram-se em áreas desnudadas, com especial realce nos leitos das ribeiras (Serralheiro, 1976). As rochas afaníticas ocupam a maior parte da ilha e as faneríticas pequenas áreas. Dentro das rochas afaníticas os produtos de origem explosiva têm pouca importância, caracterizados por derrame na maior parte. Os filões encontram-se por toda a ilha; todavia, é de realçar a sua presença na formação mais antiga da ilha (CA).

Em virtude de oscilação do nível do mar encontram-se derrames que se deram debaixo da água. Caracterizando o aparecimento das diversas formações, pode-se afirmar que os derrames basálticos foram os primeiros a serem projectados. Em seguida, houve uma fase de rochas fonolíticas e traquíticas, formando chaminés, domas, *necks* e filões. A essa fase seguiu-se uma nova erupção de rochas basálticas. As rochas calcárias foram depositadas sobre a parte litoral ocupada por rochas basálticas que se encontravam submersas. Com posterior levantamento da ilha, houve actividade vulcânica manifestada pela presença de mantos basálticos que repousam sobre as rochas calcárias e de filões que as cortam. As formações sedimentares não constituem elementos essenciais à geologia de Santiago. Contudo, se têm muita importância, principalmente às marinhas, pelo facto de conterem fósseis.

3.1.2.1 Sequência Estratigráfica

A partir dos trabalhos de Serralheiro (1976), estabeleceu-se a sequência estratigráfica da ilha de Santiago (figura 3), da formação mais recente (7) à mais antiga (1).

7 - **Formações Sedimentares Recentes**, com as duas fácies, em que na marinha se encontra areias da praia (*ap*) e cascalheiras da praia (*cp*), e a terrestre com aluviões, areias, dunas, depósitos de vertente e depósitos de enxurrada.

6 - **Formação do Monte das Vacas (MV)**, formado por cones de piroclastos e escoadas lávicas associadas.

5 - **Formação de Assomada (A)**, possui somente a fácies terrestre com mantos e piroclástos basálticos intercalados.

4 - **Complexo Eruptivo de Pico de Antónia (PA)**, apresenta as duas fácies, a terrestre, com piroclástos e escoadas intercaladas; mantos e alguns níveis de piroclástos Tufo – Brecha (TB); fonólitos, traquitos e rochas afins; série espessa de mantos e alguns níveis de piroclástos. A marinha, com conglomerados e calcarenitos fossilíferos, mantos basálticos superiores; conglomerados calcários e calcarenitos, mantos basálticos inferiores, conglomerados e calcarenitos fossilíferos.

3 - **Formação dos Órgãos (CB)**, apresenta as duas fácies, a marinha com conglomerados, calcários e calcarenitos fossilíferos, e a terrestre, com depósitos de enxurrada, tipo *lahar*, com mantos intercalados.

2 - **Formação dos Flamengos ($\lambda\rho$)**, possui apenas uma fácies, a marinha, com mantos, brechas e piroclástos.

1 - **Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA)**, possui apenas fácies terrestre, constituída por fase lávica, basáltica (filões, chaminés e mantos); fonólitos traquitos (chaminé e filões) brechas profundas; rochas granulares, complexo filoniano de natureza basáltica.

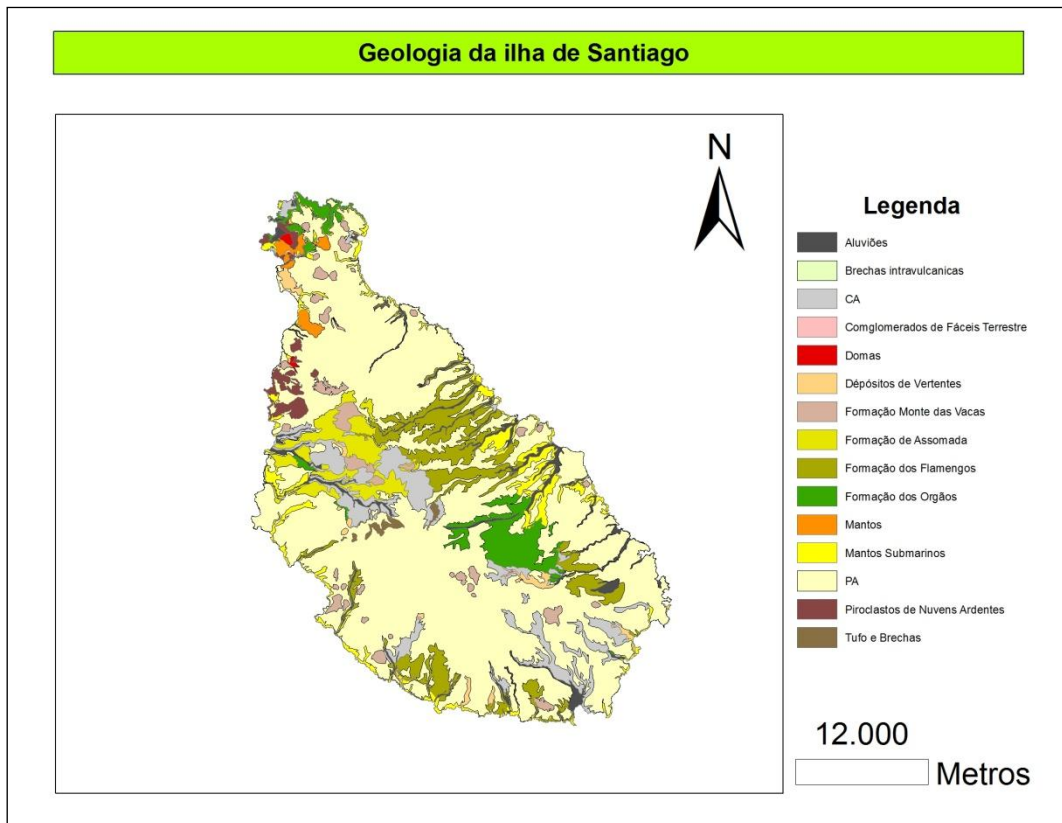


Figura 4 - Sequência Estratigráfica da Geologia da Ilha de Santiago. Fonte: elaborado pelo autor, 2011

3.1.3 Unidades Hidrogeológicas

Estudos hidro-geológicos realizados na ilha de Santiago, com base no estudo das formações geológicas e tendo como suporte as perfurações, ensaios de bombagem e inventários de pontos de água, tornaram possível o estabelecimento do modelo hidro-geológico conceptual da ilha de Santiago (figura 4), subdividido pelas unidades de Base, Intermédia e Recente segundo Serralheiro (1976).

Unidade de base - constituída pelo Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA), pela Formação dos Flamengos ($\lambda\rho$) e pela Formação dos Órgãos (CB). Essas formações são caracterizadas por possuírem alto grau de alteração, bastante argilosas, por conseguinte, a permeabilidade é relativamente baixa.

Unidade Intermédia - constituída pelo Complexo Eruptivo de Pico da Antónia e da Assomada (A). É formada essencialmente pelos mantos basálticos subaéreos, com intercalação de material piroclástico e mantos basáltico submarino.

Essa é a formação mais extensa e mais espessa, possuindo um coeficiente de armazenamento relativamente elevado devido a fracturação, porosidade e permeabilidade muito superiores às de unidade de base, permitindo a circulação e retenção das águas constituindo, assim, o aquífero principal da ilha de Santiago. Possui melhor qualidade de água para as necessidades populacionais.

Unidade Recente - inclui os aluviões e integra a formação de Monte das Vacas que é constituída por cones de piroclastos e alguns derrames associados. Trata-se de uma unidade geológica muito permeável e que, por isso, não permite a retenção de água, que se dirige para o aquífero.

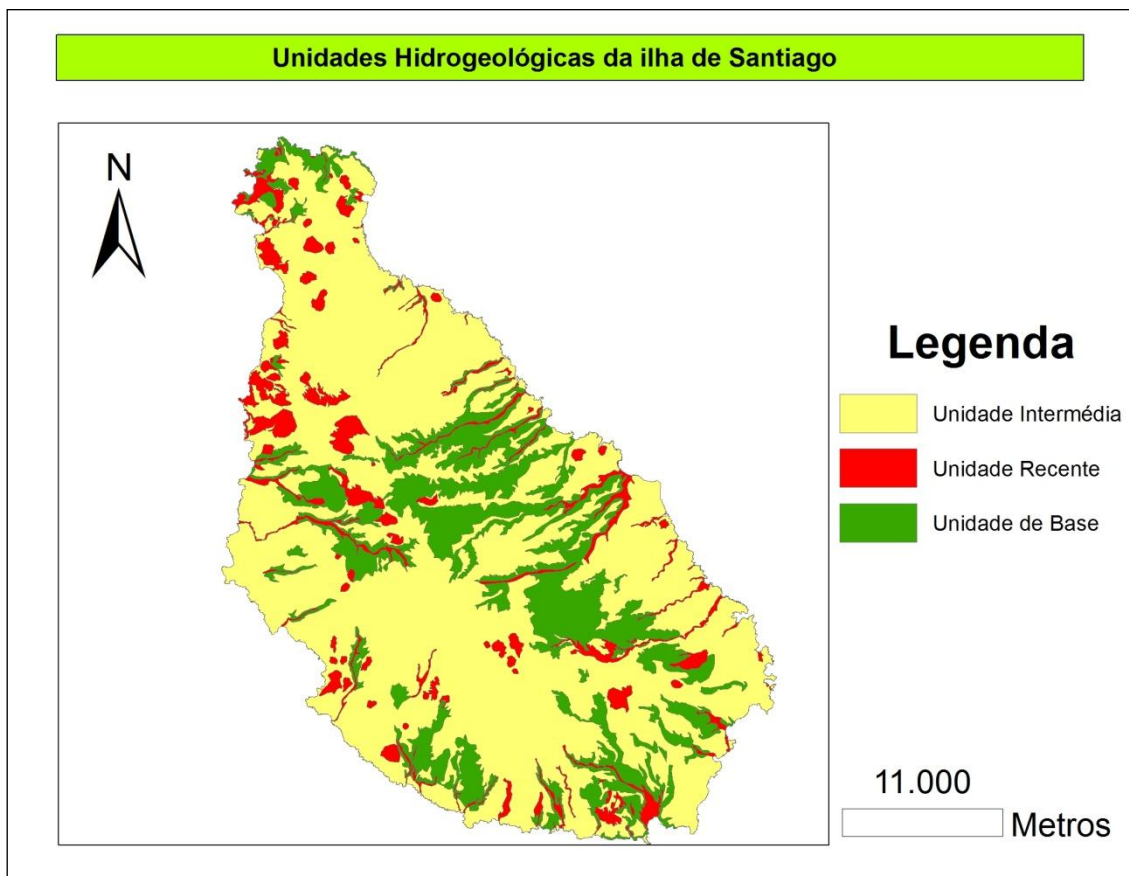


Figura 5 – Unidades Hidrogeológicas da ilha de Santiago. Fonte: elaborado pelo autor, 2011

3.1.4 Permeabilidade

A carta de permeabilidade natural (figura 5) foi produzida a partir das várias camadas geológicas de cada unidade hidro-geológica. Através da carta pode-se perceber que o terreno está inserido em três grandes tipos de unidade hidro-geológicas (unidade de base com grau de permeabilidade baixo, unidade intermédia com permeabilidade média e a unidade recente com alto grau de permeabilidade). Para a construção do aterro sanitário o solo deve ser impermeável ou muito pouco permeável, pois, a produção dos lixiviados (líquidos altamente poluentes que formam durante a decomposição dos resíduos normalmente constituídos por matérias orgânicas e ácidos inorgânicos) podem contaminar os aquíferos.

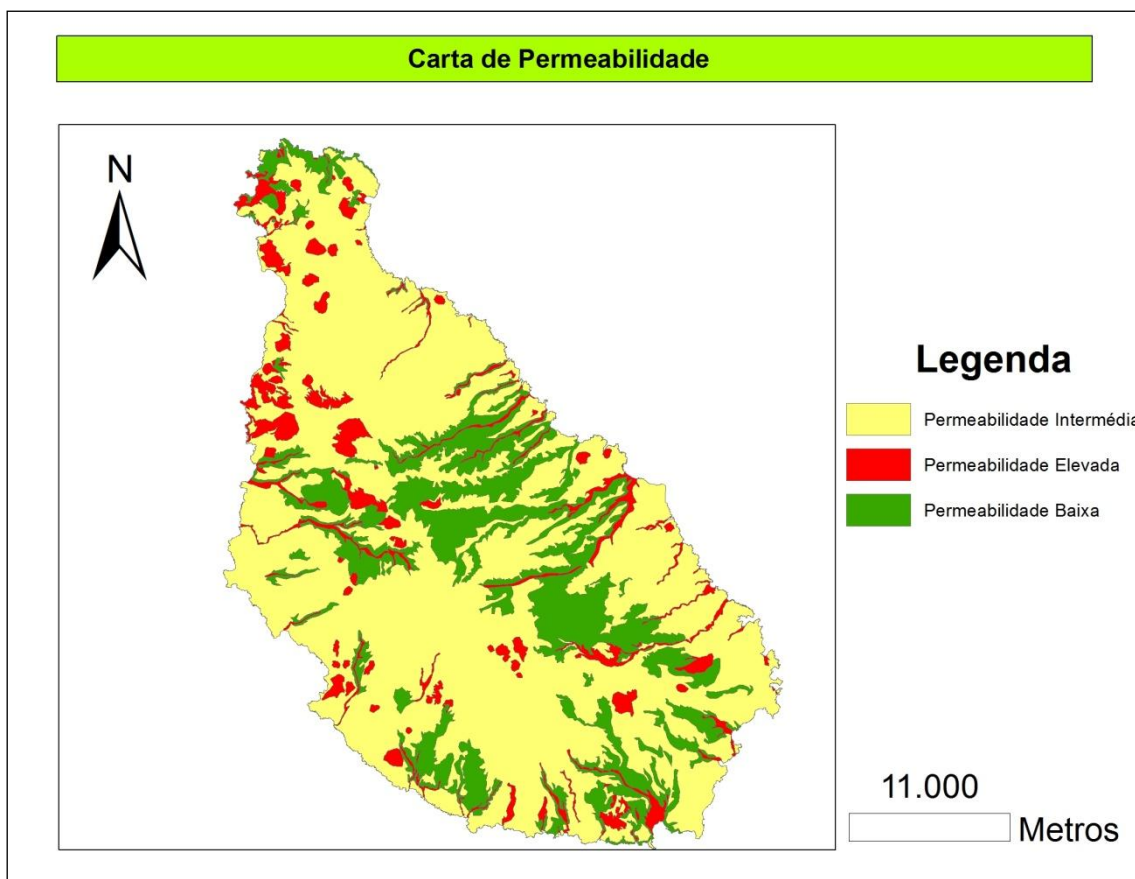


Figura 6 – Carta de Permeabilidade. Fonte: elaborado pelo autor (2011)

A permeabilidade do solo está diretamente associada à sua capacidade de infiltração. Uma elevada capacidade de infiltração torna o terreno impróprio para a instalação do aterro sanitário. A capacidade de infiltração do solo pode ser inferida a partir da análise geológica o que permite identificar unidades geológicas com maior ou menor

capacidade de infiltração e também, desta forma, restringir áreas cujas formações geológicas se manifestem impróprias para a instalação do aterro sanitário. Soares, *et. al.* (2007) usando uma escala de valores de 1 a 5 por ordem crescente do peso, classifica as rochas quanto à infiltração em:

- ❖ rochas arenitas com melhores condições para a infiltração (peso de infiltração 5);
- ❖ substrato granítico com manto de alteração composto de sedimentos arenosiltosos (peso de infiltração 4);
- ❖ migmatitos homogêneos com manto de alteração arenoargilosos (peso de infiltração 3);
- ❖ aluviões (peso de infiltração 1).

De acordo com Soares, *et. al.* (2007), os latossolos vermelho-amarelo são os que apresentam as melhores condições de infiltração (peso 5) em virtude de serem bem desenvolvidos, não apresentarem minerais primários e terem boa condição de drenagem. Os cambissolos háplicos e húmicos receberam, respectivamente, pesos de infiltração 4 e 3. Um aspecto que facilita o processo de infiltração é a presença de minerais primários facilmente alteráveis. Os argissolos vermelho-amarelo enriquecidos em argila são considerados como tendo baixa condição de infiltração (peso 2). Os gleissolos melânicos, ricos em matéria orgânica e com nível freático próximo a superfície representam as condições menos favoráveis à infiltração (peso 1).

3.1.5 População

A ilha de Santiago tem tido um papel determinante no crescimento demográfico de Cabo Verde. Aliás desde 1950 que se tem assumido como o principal polo de crescimento populacional. No período de 1990-2000, a população de Santiago cresceu 60.661 indivíduos, ou seja, cerca de 55% do crescimento absoluto total, correspondendo a uma taxa de variação de 34,5%. Em 2000, Santiago tinha 236.352 habitantes e segundo dados do censo 2010, no ano 2010 a ilha de Santiago contou com 273, 919 habitantes, correspondendo a 55,7% da população de Cabo Verde. Entretanto, dentro da ilha há uma enorme disparidade distributiva da população. Pois, a cidade da Praia, alberga quase metade dessa população (figura 6). Isso significa que em termos da

produção do lixo, decorrente da dinâmica das actividades que ali se desenvolvem, o concelho da Praia é o local onde se deve dar uma atenção especial quanto à problemática do lixo.

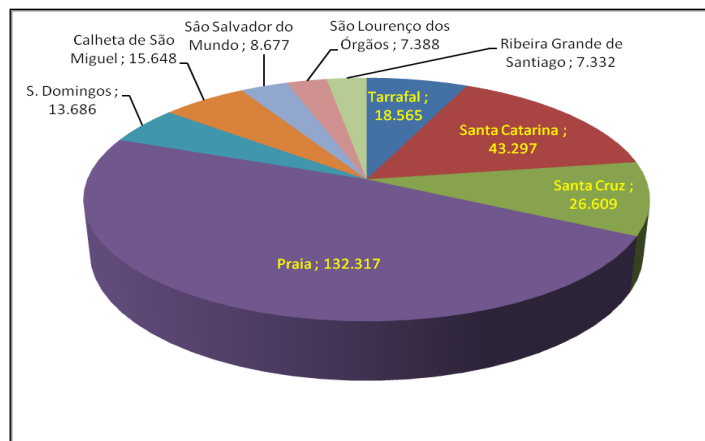


Figura 7 – Gráfico da População da ilha de Santiago, no ano 2010, segundo os dados do censo 2010 do INE – Cabo Verde. Fonte: elaborado pelo autor, 2011

3.2 A problemática do lixo e a evolução da sociedade

Desde o surgimento do homem, até meados da Idade Média, o lixo produzido pelas sociedades era constituído principalmente por matéria orgânica, que não causava grandes problemas ambientais, pois era degradado mais rapidamente. A produção de lixo também era pequena, se comparada à produção actual no mundo, já que a população mundial aumentou muito significativamente nos últimos 200 anos após Revolução Industrial segundo Ferreira (2004) citado por Arruda (2007). A geração de resíduos sólidos sempre esteve intrínseca ao quotidiano das pessoas. Antes da Revolução Industrial, a produção de resíduos era muito menor e a composição menos nociva ao meio ambiente. Após o evento da revolução industrial as empresas precisavam vender seus produtos e, então, a crescente população consumidora começou a produzir quantidades de resíduos cada vez maiores, sem haver uma preocupação com a forma de disposição dos mesmos. Além disso, após a II Guerra Mundial, o rápido crescimento populacional e a urbanização acelerada resultaram na inadequada utilização dos recursos naturais e na degradação do meio ambiente de acordo com Santos (2005) citado por Laureano, A. (2007). O surgimento do lixo está intrinsecamente ligado ao surgimento do homem, só que o lixo era constituído basicamente de matérias orgânicas,

porém com as profundas transformações e o explosivo desenvolvimento das forças produtivas que ocorrem nos finais do século XIX e início do século XX, foi o elemento chave no desenvolvimento das áreas urbanas, no incremento da população e, por conseguinte no aumento do lixo. O modelo actual de sociedade massifica o ser humano pelo excesso de consumo, impulsionado não só pelo incremento populacional e aumento das concentrações urbanas, mas também pelos avanços tecnológicos e produção em larga escala. A população mundial cresce, assim como a produção total de lixo (Saroldi, 2005) citado por (Arruda, 2007). Os problemas ambientais são consequência de um modelo de sociedade individualista, fragmentada, consumista e desigual. A população necessita alterar seus comportamentos, ter um consumo sustentável e se aceitar como integrante da problemática ambiental, para que assim possa reverter o quadro actual de degradação ambiental. As soluções para o lixo não podem ser pontuais nem isoladas, devendo as comunidades serem tratadas como um todo integrado quanto à questão sanitária do lixo (Costa et. al., 2003). O aterro sanitário é considerado o melhor meio de deposição do lixo. Segundo Silva e Zaidam (2004) citados por Santos & Girardi (2007) o aterro sanitário é a forma de dispor o lixo sobre o solo, compactando-o com tractor, reduzindo-o ao menor volume permissível e recobrando-o com camada de terra compactada, na frequência necessária (ao menos, diariamente), de modo a ocupar a menor área possível. Para Fonseca (1999) citado por Santos & Girardi (2007), o principal objectivo do aterro sanitário é dispor os resíduos sólidos no solo, de forma segura e controlada, garantindo a preservação do meio ambiente, a higiene e a saúde pública. Mas, sem dúvida, os aterros também servem para recuperar áreas deterioradas, tais como: pedreiras abandonadas, grutas, escavações oriundas de extracção de argila e areia e regiões alagadiças. Quando se tratar de áreas para atender aos dois objectivos citados, devem ser feitos estudos apropriados para garantir as condições sanitárias do aterro e o não comprometimento do lençol freático da área em questão.

A disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários constitui a solução mais económica e tecnicamente menos complicada, sendo o método mais aconselhado ao nível municipal, em especial para aglomerados populacionais pouco densos ou dispendo de verbas escassas (Farinha & Barata, 1995).

Segundo Philippi (1979) citado por Neto (2009) somente em meados do século XIX, em decorrência de padrões de vida criados pela nova ordem social decorrente da Revolução

Industrial, é que começaram a se destacar os problemas provenientes dos resíduos sólidos, dentro do contexto ambiental. A situação vem-se agravando ao nível global, e particularmente, em determinadas regiões, dado o aumento da população e um acentuado crescimento urbano. Tais factos, associados à evolução dos costumes, criação ou mudança de hábitos, melhoria do nível de vida, desenvolvimento industrial dentre outros factores, têm provocado crescente ampliação no poder aquisitivo, com consequência directa na quantidade e no tipo de resíduos sólidos produzidos particularmente nas cidades. Uma das principais dificuldades encontradas na implantação de aterro sanitário é, sem dúvida, a escolha de uma área que reúna as condições ambientais, técnicas e económicas. Esta é, normalmente, feita a partir de critérios favoráveis, seguindo o processo de hierarquização, para poder orientar uma melhor escolha. No entanto, a avaliação da aptidão de locais para instalação de aterros sanitários constitui-se num complexo processo de análise uma vez que envolve conhecimentos multidisciplinares, nas áreas da geologia, geomorfologia, hidrologia hidrogeologia, climatologia, etc. Os aspectos sociais, económicos e políticos também devem ser considerados no processo dessa análise. A dificuldade de análise leva à necessidade da integração das informações por meio de Sistemas de Informação Geográfica. A análise de dados espaciais, em ambiente SIG, pode fornecer subsídios ao processo decisório, por se constituir numa ferramenta ágil, capaz de integrar dados espaciais relacionados com diversas variáveis, minimizando a subjectividade da análise e aumentando, deste modo, as possibilidades e cenários nas análises ambientais (Samizava, Kaida, Imai, & Nunes, 2008). Um modelo SIG, para a escolha de locais para a instalação de aterros sanitários requer a consideração de uma complexa série de critérios legais, e exclusões, bem como de uma enorme quantidade de dados. A abordagem adotada neste trabalho fornece um método através do qual os riscos para o ambiente e para a saúde pública, estão entre os principais factores considerados. Outros factores são os geológicos, hidro-geológicos, topográficos, económicos, entre outros. A motivação para o desenvolvimento de um modelo SIG, com vista à localização de aterros sanitários, reside numa combinação de factores que incluem a necessidade de uma abordagem científica na escolha de locais de aterro e a necessidade de se garantir a confiança por parte do público numa base científica credível e transparente em todo o processo de escolha do local.

3.3 Resíduos Sólidos Urbanos

3.3.1 Conceitos

Os termos “lixo” e “resíduos sólidos”, segundo Monteiro *et al* (2001) citado por Bardini, Gentil, Oliveira, Antunes, Fernandes, & Heidemann (2002), são normalmente utilizados indistintamente, sendo assim, consideramos resíduo sólido ou simplesmente “lixo” como todo material sólido ou semi-sólido indesejável e que necessita ser removido por ter sido considerado inútil por quem o descarta em qualquer recipiente destinado a este acto. Os resíduos sólidos são definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da Norma Brasileira de Resíduos - NBR 10.004, de 2004, como sendo os resíduos nos estados sólido e semi-sólido que resultam de actividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de *varrição*. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controlo de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004). Resíduos sólidos ou simplesmente lixo, é todo o material sólido ou semi-sólido indesejável e que necessita ser removido por ter sido considerado inútil por quem o descarta em qualquer recipiente destinado a este acto (Arruda, 2007).

3.3.2 Enquadramento Legal dos Resíduos Sólidos em Cabo Verde.

O *Decreto-lei nº 28, de 1 de Setembro de 2003*, estabelece os requisitos essenciais a considerar na eliminação de resíduos sólidos urbanos, industriais e outros, e respectiva fiscalização, tendo em vista a protecção do meio ambiente e a saúde pública em Cabo Verde. A eliminação dos resíduos sólidos urbanos, industriais e hospitalares, é sem dúvida, um dos grandes problemas que o país enfrenta, tendo em consideração não só os riscos ambientais decorrentes de uma deficiente eliminação dos mesmos, como também a vocação de Cabo Verde para o desenvolvimento do turismo, sector que, por um lado, pressiona o ambiente, mas que, por outro lado, requer um ambiente sadio e equilibrado.

A estrutura dos resíduos sólidos urbanos em Cabo Verde é conhecida e trata, essencialmente, de: papel, latas, embalagens, garrafas de vidro, vasilhames e outros produtos de plástico, trapos, ossos, metais, sucatas de viaturas, madeiras, aparas, terras e outros restos de materiais de construções, resíduos hospitalares e industriais diversos. Os problemas causados pelos resíduos sólidos são essencialmente a ocupação do espaço, o incómodo pelo cheiro, o problema da saúde pública e no ambiente. Apesar de Cabo Verde ser um país que enfrenta problemas económicos, constata-se que não tem permitido a mobilização dos recursos técnicos para a eliminação e gestão eficiente dos resíduos sólidos. A responsabilidade pelo destino final dos resíduos é de quem os produz, sem prejuízo da responsabilidade de cada um dos operadores no circuito da eliminação dos resíduos e salvo o disposto em legislação especial. Os municípios ou as associações municipais são responsáveis pela eliminação dos resíduos urbanos; as empresas pelos resíduos industriais que produzem; as unidades de saúde pelos resíduos hospitalares e quando os resíduos são provenientes do estrangeiro, a responsabilidade pelo seu destino final, incluindo os custos da respectiva eliminação, cabe à entidade responsável pela sua introdução no território nacional.

3.3.3 Classificação dos Resíduos Sólidos

Existem diversos critérios para a classificação dos resíduos sólidos. O principal elemento para a sua classificação é a sua origem. Os diferentes tipos de lixo podem ser agrupados nas seguintes classes descritas abaixo, conforme referenciado no *Decreto-lei n.º 28, de 1 de Setembro de 2003* que regula a eliminação dos resíduos sólidos em Cabo Verde:

- ❖ Lixos domésticos ou residenciais – os que são produzidos nas habitações ou os que a eles se assemelham;
- ❖ Lixos comerciais – os produzidos em estabelecimentos comerciais, escritores e similares;
- ❖ Lixos industriais – os resíduos produzidos em indústrias integradas nas comunidades;
- ❖ Lixos Hospitalares – os resíduos produzidos em unidades de prestações de cuidados de saúde.

3.3.4 Situação dos Resíduos Sólidos em Cabo Verde.

Segundo o QUIBB-2007, realizado pelo Instituto Nacional de Estatística, as formas de evacuação dos resíduos sólidos são as seguintes: contentores, carro de lixo, enterrados/queimados, ao redor da casa e depositados na natureza, de acordo com a tabela 1.

Formas de Evacuação dos RSU (%)	QUIBB-CV 2006			QUIBB-CV 2007		
	Cabo Verde	Urbano	Rural	Cabo Verde	Urbano	Rural
Contentores	47,5	68,3	16,7	47,7	67,0	18,7
Carro de lixo	12,2	17,5	4,3	15,2	21,5	5,6
Enterrados/Queimados	6,4	2,3	12,6	7,8	2,5	15,8
Redor da Casa	6,3	2,0	12,8	7,5	1,8	15,9
Natureza	27,3	9,7	53,4	21,5	7,0	43,1
Outro	0,3	0,3	0,2	0,4	0,0	0,9

Tabela 1 - Formas de Evacuação dos RSU em Cabo Verde. Fonte: INE (2007)

De acordo com o QUIBB-2007, em Cabo Verde apenas 48% dos lixos são depositados em contentores, 21% são lançados na natureza, 15% são recolhidos através dos carros de lixo, 8% são enterrados ou queimados e 8% são colocados ao redor das casas (Figura 8).

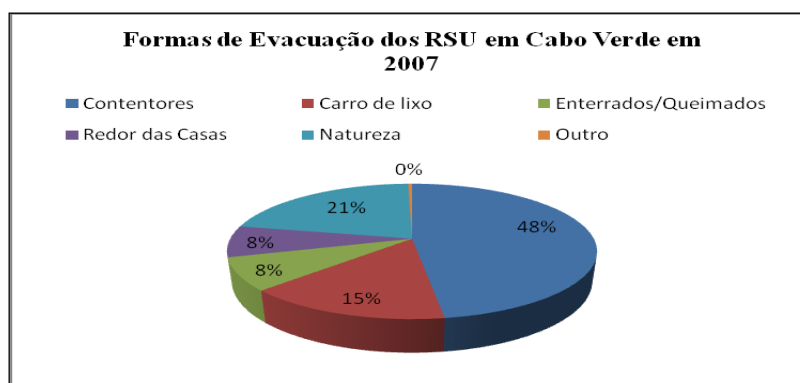


Figura 8 – Gráfico da representação das formas de evacuação dos RSU em Cabo Verde em 2007 de acordo com os dados do QUIBB, INE (2007). Fonte: elaborado pelo autor (2011)

Segundo o Plano de Gestão dos Resíduos Sólidos (PGRS) elaborado pelo Ministério do Ambiente, Agricultura e Pesca no âmbito do segundo Plano de Acção Nacional para o Ambiente (PANA II) em Dezembro de 2003, a quantidade de resíduos recolhidos na

totalidade dos municípios é cerca de 66.386 toneladas ao ano, o que corresponde a uma taxa média nacional de cobertura dos serviços de recolha dos RSU de 66%. Os serviços de recolha não abrangem todas as localidades e lugares, pois apenas 66% da população dispõe desses serviços. No entanto, os restantes 34% dos habitantes produzem resíduos a um ritmo semelhante ao dos 66%. A quantidade de RSU produzida a nível nacional é estimada em cerca de 101.000 toneladas/ano. Esta quantidade equivale a uma produção de resíduos de 600 gramas/habitante x dia. Segundo esse mesmo plano, as quantidades de RSU produzidas no país são significativamente inferiores em relação àquelas estimadas na literatura existente em Cabo Verde até à data (160.000 e 240.000 toneladas/ano). Segundo a mesma fonte, de uma forma geral, a taxa de cobertura pode ser considerada como insuficiente. Tendo em conta que os resíduos produzidos nos lugares não servidos pelo sistema de recolha são rejeitados nas lixeiras selvagens, é possível estimar que a quantidade de RSU aí presente seja de cerca de 35.000 toneladas. De acordo com o PGRS, o Ministério do Ambiente é o departamento governamental responsável com competência para a gestão nacional dos resíduos em Cabo Verde. Essa gestão é efectuada de forma descentralizada uma vez que são as câmaras municipais as responsáveis pela recolha, transporte e destino final dos resíduos municipais. Quanto aos restantes tipos de resíduos, cabe aos seus produtores a responsabilidade pela sua recolha, transporte e destino final segundo a legislação da eliminação dos RSU. Segundo esse plano, a descentralização de competências na área da gestão de resíduos implicaria a existência de uma ligação funcional entre os serviços de gestão de resíduos das câmaras municipais, os produtores sectoriais e a instituição central responsável pela gestão nacional para uma melhor implementação das políticas e estratégias nacionais, fiscalização, avaliação e monitorização do estado do território quanto à problemática de resíduos.

Ano	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Quantidade (toneladas)	66386	71753	77498	83649	90233	97275	104813
População (Projecções, INE)	302773	317721	333164	349132	365641	382696	400342

Tabela 2- Evolução e comparação do RSU e população. Fonte: PANA II (2003)

Analisando o gráfico da figura 9, pode-se constatar que o aumento da quantidade de RSU produzidos a nível nacional acompanha o crescimento demográfico. Tal situação é

justificável pelo facto da produção desses resíduos estar intrinsecamente ligada ao aumento das populações e à melhoria das suas condições socioeconómicas.

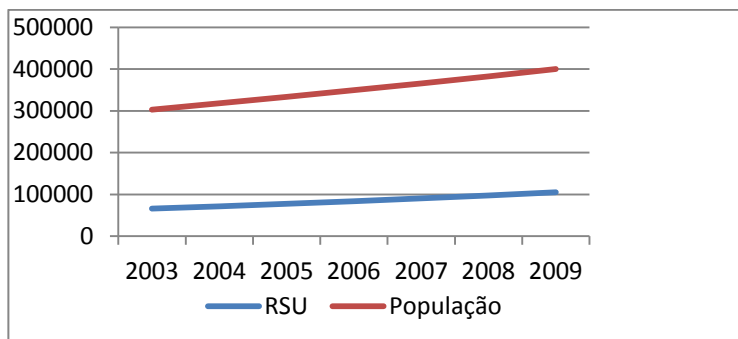


Figura 9 – Gráfico da comparação da evolução da população com os RSU. Fonte: PANA II (2003)

Nos principais centros urbanos do País, Praia e Mindelo, existe um sistema centralizado municipal de recolha de resíduos sólidos por camiões a partir de contentores espalhados pela cidade sem, contudo, haver verdadeiros aterros sanitários. Enquanto que em Mindelo o lixo recolhido é encaminhado a lixeira municipal, onde existe um sistema de membranas e drenagens no qual o lixo é diariamente compactado e coberto com terra, na cidade da Praia o lixo recolhido continua a ser depositado numa lixeira improvisada com consequências nefastas do ponto de vista higiénico e paisagístico.

Não há uma prática de recolha selectiva generalizada para determinadas substâncias tóxicas ou perigosas, nomeadamente óleos usados, metais pesados, sucata, entre outras. Com o financiamento foram construídas estações de depósitos de Resíduos Sólidos Urbanos nos municípios de Santa Catarina e de Tarrafal. Porém, em Santa Catarina o equipamento fornecido para operar na estação é utilizado para outros fins o que levou a um acumular descontrolado do lixo. No município de Tarrafal a estação entregue à Câmara Municipal em Outubro de 2002 não funciona. O lixo recolhido é despejado no exterior da estação, à frente do portão de entrada e incinerado. Nos restantes municípios, os resíduos sólidos ainda não constituem grandes problemas. No entanto, de acordo com os respectivos Planos Ambientais Municipais, em todos esses municípios, a gestão dos resíduos sólidos é amplamente afectada pela escassez de meios e equipamentos, pela falta de um programa de gestão, bem como pela ausência de fiscalização. Isto tudo faz com que os municípios continuem a enfrentar problemas de recolha de deposição dos

resíduos sólidos, baixo nível de organização do sistema de recolha, deficientes condições de recolha e inexistência de espaços adequados para a deposição do lixo. Entretanto, no caso particular da ilha de Santiago decorre a construção de um aterro sanitário central.

3.3.5 Estratégia de Gestão dos Resíduos Sólidos

Com o aumento progressivo e a complexidade da composição dos resíduos sólidos provocada pelo crescimento demográfico, torna-se necessário promover uma política adequada para a gestão dos resíduos sólidos a fim de reduzir os possíveis efeitos sobre o ambiente e a saúde pública. Segundo o Plano de Gestão dos Resíduos Sólidos do PANA II (2003), a solução dessa problemática consiste em procurar alterar os padrões de produção e de consumo, conciliando o desenvolvimento com a protecção do ambiente. Segundo a referida fonte a estratégia para a gestão de resíduos em Cabo Verde, de modo a contribuir para criar as condições de sustentabilidade do desenvolvimento do país, deve centrar-se em duas linhas mestras de actuações:

3.3.5.1 Acções para reduzir os efeitos negativos e a quantidade de resíduos.

O Plano de Gestão dos Resíduos Sólidos considera ser importante realçar o facto de que só é possível uma gestão eficiente e eficaz dos resíduos quando se centrar a atenção, primeiramente, na redução dos efeitos negativos (alterações nos fluxos de resíduos) e, posteriormente, nas acções para reduzir a quantidade (alterações nas fontes de resíduos). Neste contexto, a prevenção e valorização dos resíduos apresentam-se como algumas soluções estratégicas na luta contra o aumento destes. Ou seja, torna-se necessário: impedir que na produção ou no consumo sujam resíduos evitáveis; aplicar técnicas preventivas orientadas para a reciclagem e reutilização de produtos como matérias-primas; valorizar materialmente os resíduos desde que haja condições técnicas para o efeito e que os custos sejam razoavelmente suportáveis.

3.3.5.2 Situação dos Resíduos Sólidos nos Concelhos da Ilha de Santiago

De acordo com o gráfico da figura 10, 48% da recolha dos lixos a nível da ilha de Santiago é feita na cidade da Praia, pois, é o meio urbano onde se concentra a maior parte da população da ilha e, por conseguinte, a maior produção de lixo. Este fenómeno deve-se ao facto de esta cidade ser o centro político, económico e demográfico do país. Em segundo lugar encontra-se o concelho de Santa Catarina, com 20% de RSU recolhidos em 2009 seguido do concelho de Santa Cruz com 13%. Nos restantes municípios a percentagem varia entre 5% e 8%.

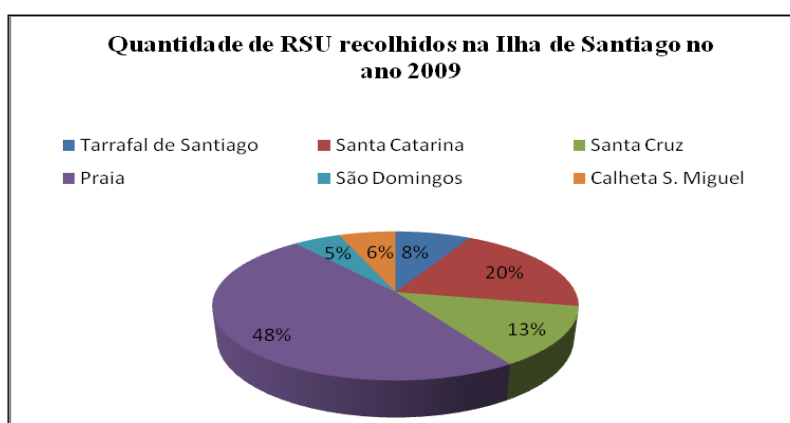


Figura 10 – Gráfico da quantidade de RSU recolhidos na Ilha de Santiago no ano 2009 nos principais Municípios. Fonte: INE (2007)

3.4 Deposição dos Resíduos Sólidos

Historicamente existem três formas básicas adoptadas pela sociedade urbana para disposição dos resíduos sólidos: lixeiras ou vazadouros, aterro controlado e aterro sanitário (Charnock & Wells, 1985 citado por Muñoz, 2002).

3.4.1 Lixeira ou vazadouros

A abordagem lixeira continua a ser a alternativa predominante para a disposição de resíduos em países em desenvolvimento (Tubtimthai, 2003). Este é um problema com consequências gravosas tanto do ponto de vista do efeito paisagístico como da saúde pública. Nas lixeiras o lixo é depositado a céu aberto sem levar em consideração, a contaminação do solo e dos aquíferos por parte do líquido resultado da degradação dos

resíduos, a libertação dos gases para a atmosfera e a proliferação de insectos, roedores e outros animais que podem transmitir doenças ao homem (Serra et. Al., 1998 citado por Muñoz, 2002). Além dos problemas já citados, também se regista um grave problema social com o surgimento de indivíduos que sobrevivem graças à recolha, das lixeiras, de materiais passíveis de serem vendidos para posterior reciclagem. Um outro problema igualmente grave prende-se com a presença, nas lixeiras, de alguns animais domésticos que ali procuram alimento conforme as imagens da figura 11.



Figura 11 – Extractos da imagem da lixeira da Cidade da Praia com presença de animais e pessoas que sobrevivem da recolha de lixo. Fonte: Cancela (2011).

3.4.2 Aterro Controlado

O aterro controlado também é uma forma de se confinar tecnicamente o lixo colectado sem poluir o ambiente externo, porém, sem promover a colecta e o tratamento do chorume, líquido resultante da decomposição da matéria orgânica, e a colecta e queima do biogás (Arruda, 2007). Portanto, o aterro controlado diferencia-se da lixeira pelo facto do lixo não se permanecer exposto a céu aberto por ser periodicamente coberto com terra, contudo, o solo não é impermeabilizado e, por isso, fica muito vulnerável à contaminação por resíduos tóxicos.

3.4.3 Aterro Sanitário

3.4.3.1 Conceito

O Aterro Sanitário é um equipamento projectado para receber e tratar o lixo produzido pelos habitantes de uma cidade, com base em estudos de engenharia, para reduzir ao máximo os impactos causados ao meio ambiente (Purificação, et al., sd). Actualmente é uma das técnicas mais seguras e de mais baixo custo.

No processo de decomposição dos resíduos sólidos, ocorre a liberação de gases e líquidos (chorume ou percolato) muito poluentes, o que leva um projecto de aterro sanitário (figura 12) a exigir cuidados como impermeabilização do solo, implantação de sistemas de drenagem eficazes, entre outros, evitando uma possível contaminação da água, do solo e do ar. Preferencialmente deve possuir uma vida útil superior a 10 anos, prevendo-se ainda o seu monitoramento por alguns anos após o seu fechamento (*op. cit.*).

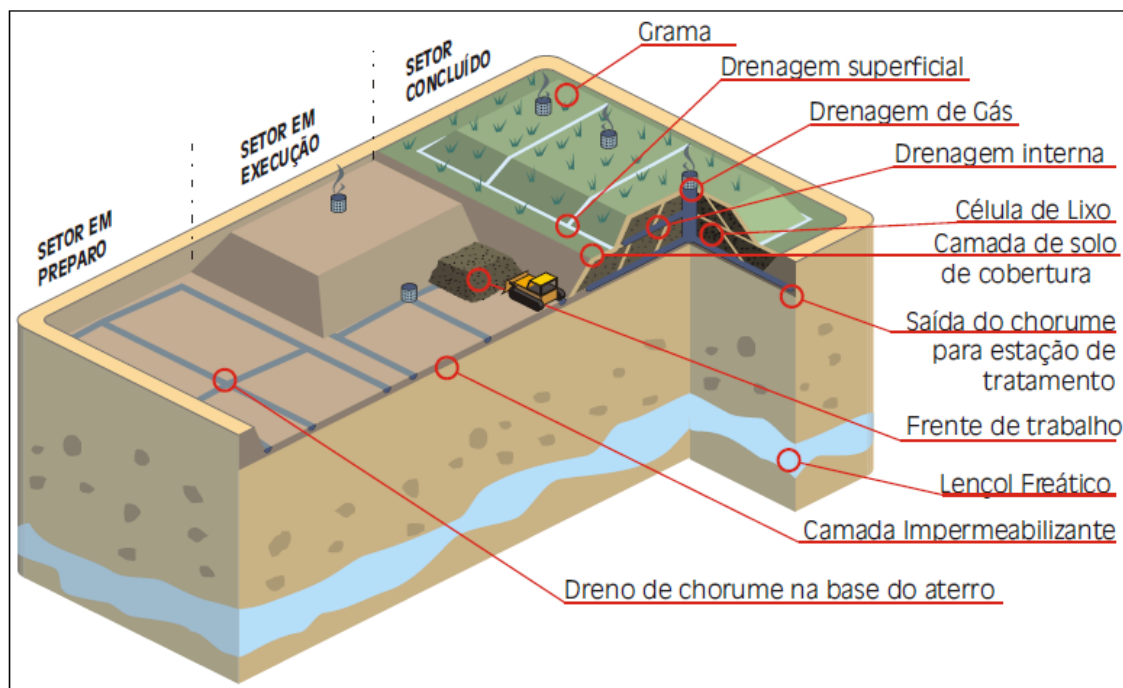


Figura 12 - Desenho em corte do esquema de um aterro sanitário. Fonte: Purificação, et al. (sd)

De acordo com Obladen (2009), Os aterros sanitários convencionais ou mecanizados são os que se aplicam em todas as localidades com resíduos suficientes para justificar

economicamente o uso de máquinas para as operações de escavação, preparo do terreno, corte de material de cobertura, movimentação, espalhamento, compactação e recobrimento do lixo.

O aterro sanitário para se poder ser considerado como tal, deverá reunir as seguintes características mínimas:

- evitar a proliferação de vetores, riscos à saúde pública e a degradação ambiental.
- a área do aterro deverá ser perfeitamente delimitada e cercada.
- deverá ser estabelecido um controle de acesso de veículos e pessoas.
- em todos os casos em que o nível do lençol freático for muito elevado, o subsolo constituído por um material muito permeável ou as condições climáticas forem insatisfatórias, será necessária uma impermeabilização do aterro o que passa pela colocação, nas células³, de solo argiloso e/ou geomembranas sintéticas conhecidas por mantas impermeabilizantes de PVC ou PEAD.
- não se queima o lixo, nem se produzem maus odores, devendo o lixo, para o efeito, ser coberto diariamente.
- deve existir um sistema de drenagem das águas pluviais.
- existência de obras de engenharia para o controlo das emissões gasosas, para a central e tratamento do percolado (Figura 13).
- existência de um programa de monitoramento ambiental e do seu encerramento.
- aplicam-se aos resíduos domésticos, entulhos, podas, resíduos de saúde e resíduos industriais quando devidamente autorizados.

³ Células – Área de terreno previamente impermeabilizado para disposição de resíduos que posteriormente são compactados e cobertos com argila ou geomembrana. As células possuem, ainda, um sistema de drenagem de chorume, águas pluviais e de colecta e queima de biogás.

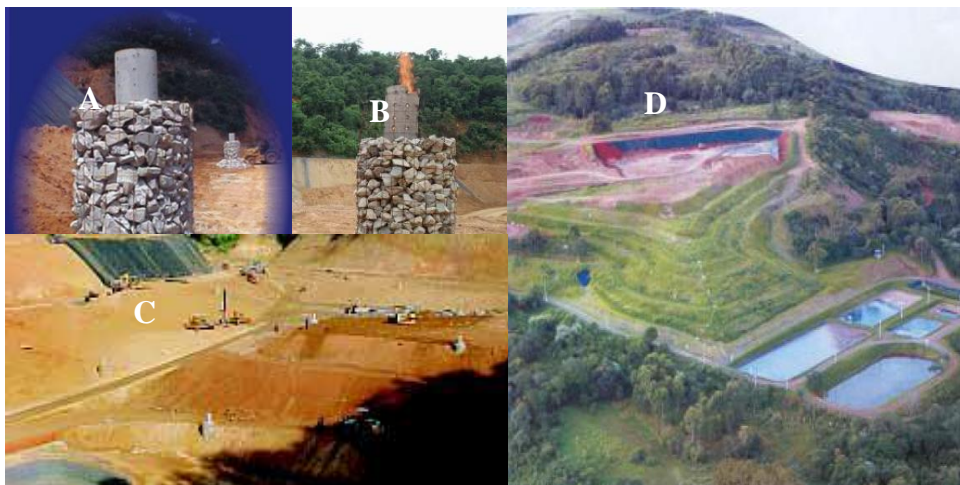


Figura 13 – Controlo das emissões gasosas e recolha do percolato para tratamento. A e B – Drenagem vertical e queima de biogás. Fonte: Oliveira (sd). C – Aterro Sanitário onde se pode ver o sistema de drenagem vertical do biogás e chorume. Fonte: Oliveira (sd). D – Aterro sanitário de Chapecó onde são visíveis as lagoas de recolha e tratamento do percolato. Fonte: Obladen (2009)

Com efeito, só é permitida entrada restrita a veículos devidamente cadastrados desde que contenham apenas resíduos permitidos para aquele aterro (figura 14), pois, existem resíduos que precisam de um tratamento prévio antes da sua disposição final em aterro sanitário. Deste modo, o controlo do lixo deve ser rigoroso e contempla a fase de pesagem (o que permite a entidade responsável pelo aterro uma correcta gestão dos resíduos), verificação da procedência e composição do lixo de modo a evitar que materiais perigosos tenham um destino inadequado.



Figura 14 – Controlo dos resíduos sólidos antes da entrada no aterro sanitário. A - Operação de pesagem e controlo da procedência e tipo de resíduo. Fonte: Rumpke (2010); B - Laboratório de análise de resíduos. Fonte: Oliveira (sd)

No que diz respeito à impermeabilização (figura 15), antes da utilização da célula, o local deve ser devidamente impermeabilizado seguindo critérios que vão depender das

características do solo e do clima. Nesta perspectiva, caso o solo for pouco permeável (solo argiloso) e o nível do lençol freático tiver a uma profundidade considerável (distância mínima recomendada entre a profundidade da célula e o nível do lençol freático é de três metros segundo Luz, et. al. (2009)) pode ser que o trabalho de impermeabilização seja desnecessário. A disposição deve ser feita seguindo critérios técnicos definidos, tais como: resíduos dispostos em camadas compactadas, com espessura controlada, frente de serviço reduzida, taludes com inclinação definido. O aterro deve possuir dispositivos para captação e drenagem do líquido resultante da decomposição dos resíduos (chorume), evitando a sua infiltração no local e o livre escoamento para os corpos receptores (riacho, rios, etc.).



Figura 15 – Fases da impermeabilização das células de um aterro sanitário. I - Compactação da célula para colocação de geomembranas. Fonte: Adaptado de Rumpke (2010); II - Colocação de geomembranas nas paredes laterais da célula. Fonte: Adaptado de RMB (2011); III - Colocação de geomembranas na base da célula. Fonte: Adaptado de RMB (2011); IV - Cobertura das geomembranas com uma camada de solo impermeável. Fonte: Adaptado de Eng (2011)

3.4.4 Construção de um Aterro Sanitário

3.4.4.1 Método de rampa

O método de rampa, também, conhecido pelo método de escavação progressiva (Junior, sd), consiste na formação de camadas de resíduos compactados, que são sobrepostas acima do nível original do terreno. É o tipo convencional de aterro sanitário com uma configuração em escada (figura 16). Este método é geralmente empregue em locais

onde o terreno apresenta topografia acidentada e em áreas planas onde o solo apresenta boas condições para ser escavado e utilizado como material de cobertura dos resíduos.



Figura 16 – Aterro Sanitário em Rampa. Fonte: Júnior (sd)

3.4.4.2 Método de área

Assim como no método de rampa, neste método as camadas de resíduos compactados são, igualmente, sobrepostas acima do nível original do terreno. O método de área é empregado, geralmente, em locais de topografia plana e lençol freático raso. Nessas situações, devem ser criados desníveis com os próprios resíduos (figura 17).



Figura 17 – Construção do aterro sanitário pelo método de área. Fonte: Júnior (sd)

3.4.4.3 Método de trincheira

Os aterros sanitários podem também ser construídos abaixo do nível original do terreno (figura 18), aproveitando escavações já existentes (pedreiras ou minas abandonadas) ou preenchendo valas especialmente escavadas para receber determinados tipos de resíduos como, por exemplo, entulhos provenientes de obras de construção civil. Este método, também, conhecido pelo método de valas é empregado nos locais onde o terreno é plano ou pouco inclinado e onde o lençol freático esteja situado a uma profundidade maior em relação aos dois métodos, anteriormente, citados. Devido ao elevado custo de escavação das células, o método de trincheiras ou valas para além das razões já apontadas, só se justifica quando não se pretende alterar a topografia original do terreno e quando se pretende colocar no aterro resíduos especiais, seja pelo estado físico, seja pela sua composição química ou biológica, que pode torná-los perigosos à saúde pública e ao meio ambiente (*op. cit.*).

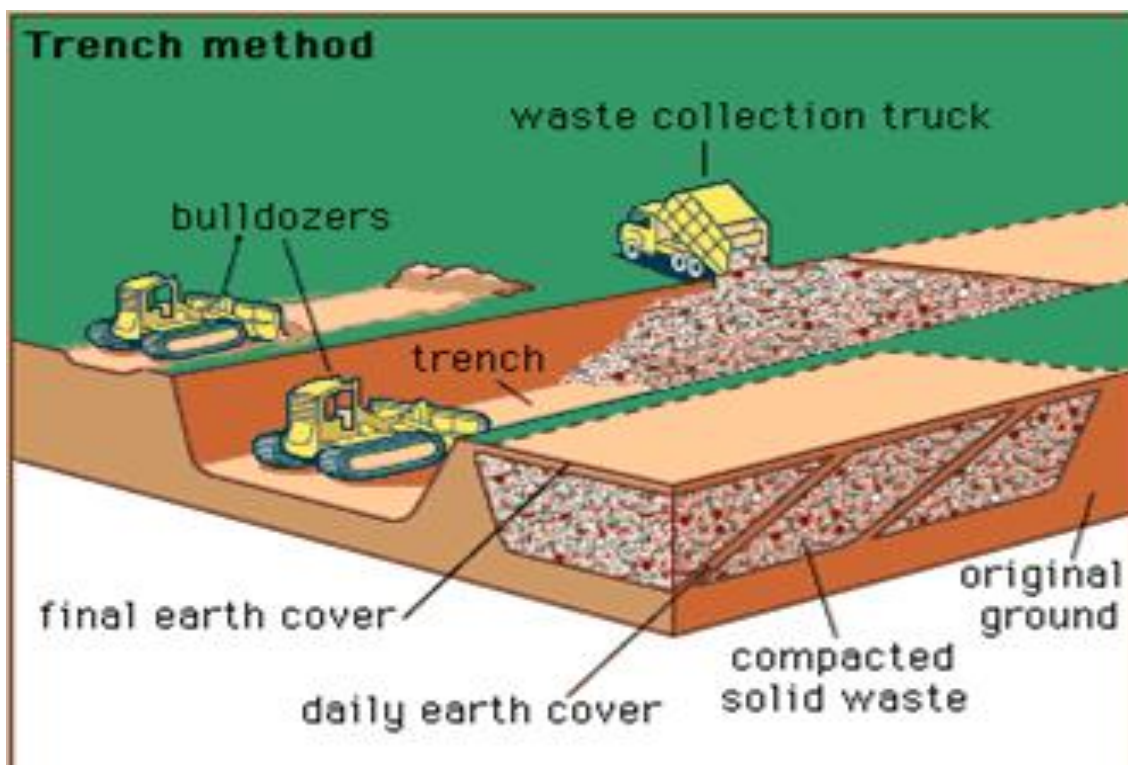


Figura 18 - Construção do aterro sanitário pelo método de trincheira. Fonte: Enciclopédia Britânica (2012)

3.4.5 Dimensionamento do aterro sanitário para a ilha de Santiago

A instalação de um aterro sanitário requer a priori uma selecção criteriosa de locais cujas características geográficas, hidrológicas, geológicas e climáticas não apresentem riscos graves para o ambiente e, conseqüentemente, para as populações. Desde logo, os critérios ambientais como por exemplo, distância dos corpos de água, estradas e núcleos populacionais devem ser respeitados tendo em conta os pressupostos técnicos e legais existentes localmente. A par dos critérios mencionados, o dimensionamento do aterro é um factor importante a ter em conta. O aterro sanitário é uma infra-estrutura que mobiliza avultados recursos financeiros para a sua construção, manutenção, operação e monitorização. Sendo assim, durante o período útil de funcionamento, o aterro sanitário deve dar resposta às demandas populacionais em termos de disposição dos resíduos de forma que deve ser projectado de modo a ter capacidade para receber o volume de resíduos produzidos pelas populações que, na ilha de Santiago, têm aumentado ano após ano. Com base nessa lógica, a área seleccionada para instalação do aterro sanitário é uma função da taxa de crescimento populacional (Martinho & Gonçalves, 2000). Para além do volume dos resíduos produzidos, há que ter em conta outros parâmetros como a densidade dos resíduos, o volume de terra de cobertura dos resíduos, a altura do aterro, entre outros, conforme os dados da tabela 3.

Dados de base	Valores
População servida por recolha de RU (2010 - ano zero)	273919 Habitantes
Produção <i>per capita</i> dos RU	0,6 Kg/habitante x dia
Taxa aritmética de crescimento da população	1,6 %
Taxa de crescimento anual da produção dos RU	3,5 %
Tempo de vida útil do aterro sanitário	15 anos
Peso específico dos RU em AS	800 kg/m ³
Volume ocupado com terras de cobertura	10 % do volume ocupado pelos RU
Altura média do AS	10 m
Área para instalações de apoio	25 % da área ocupada pelos RU

Tabela 3 - Dados de base utilizados para determinação da área necessária para instalação do aterro sanitário na Ilha de Santiago. Fonte: Adaptado de Martinho & Gonçalves (2000)

Os dados de base da tabela 3, permitem determinar o volume necessário para a disposição dos resíduos urbanos e a área necessária para a instalação do aterro sanitário. Para isso, constrói-se uma tabela de cálculo (tabela 4) de modo a determinar o volume

total necessário no horizonte do projecto, neste caso, os RU produzidos ao longo de 15 anos (Martinho & Gonçalves, 2000).

Ano Projecto	Projeção Popul. (hab.)	Prod. per capita RU (kg/hab.dia)	Prod. total (kg/dia)	Peso espec. em aterro (kg/m ³)	Vol. em aterro (m ³)	Volume RU + terra cobertura (m ³)	Volume anual (m ³)	Volume acumulado (m ³)
2010	273919	0,60	164351	800	342	377	137563	137563
2011	278302	0,62	172825	800	348	383	139765	277328
2012	282684	0,64	181483	800	353	389	141966	419294
2013	287067	0,66	190325	800	359	395	144167	563460
2014	291450	0,68	199352	800	364	401	146368	709828
2015	295833	0,71	208562	800	370	407	148569	858396
2016	300215	0,73	217956	800	375	413	150770	1009166
2017	304598	0,75	227535	800	381	419	152971	1162136
2018	308981	0,77	237297	800	386	425	155172	1317308
2019	313363	0,79	247244	800	392	431	157373	1474681
2020	317746	0,81	257374	800	397	437	159574	1634254
2021	322129	0,83	267689	800	403	443	161775	1796029
2022	326511	0,85	278188	800	408	449	163976	1960005
2023	330894	0,87	288871	800	414	455	166177	2126181
2024	335277	0,89	299738	800	419	461	168378	2294559
2025	339660	0,92	310788	800	425	467	170579	2465138

Tabela 4 – Previsão do volume dos RU gerados pela população da ilha de Santiago de 2010 a 2025. Fonte: Adaptado de Hasan, Tetsuo, & Islam (2009)

A área mínima necessária para instalação do aterro sanitário calcula-se, nesse caso, com base no volume total dos RU depositados durante o tempo de vida útil do aterro, altura do aterro e a área destinada a instalações de apoio conforme a tabela 5.

DETERMINAÇÃO DA ÁREA PARA INSTALAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO NA ILHA DE SANTIAGO	
Volume de RU acumulado – (VAC)	VAC = 2465138 m ³
Altura média do aterro - (H)	H = 10 m
Área total para disposição de RU - (AT)	AT = 2465138 m ³ /10 m = 24,7 ha
Área destinada a instalações de apoio - (AIA)	AIA = 25% de AT = 6,2 ha
Área para instalação de Aterro Sanitário – (AS)	AS = AT + AIA = 30,9 ha

Tabela 5 – Estimativa da área mínima necessária para instalação do aterro sanitário na ilha de Santiago. Fonte: Elaboração própria (2012)

4 Materiais e Métodos

4.1 Critérios para a selecção de áreas para instalação de aterro sanitário

Após uma estimativa preliminar da área mínima necessária para a instalação do aterro sanitário (tabela 5), fica-se com uma ideia geral dos possíveis locais (terreno preferencialmente vago) que, em termos da área, oferece condições para construção da referida infra-estrutura. A próxima etapa fundamental na selecção das áreas para instalação do aterro sanitário passa, necessariamente, pela definição de um conjunto de critérios de natureza técnica, económico-financeira e político-sociais (Monteiro, et al., 2001) de acordo com as tabelas 6, 7 e 8, respectivamente. Esses critérios, do ponto de vista técnico, permitem encontrar áreas cujo solo oferece condições adequadas para instalação de uma infra-estrutura causadora de impactos visuais sobre a paisagem e, sobretudo, impacto ambiental. Uma infra-estrutura capaz de provocar contaminação do solo, ameaçar o ecossistema local e pôr em perigo a salubridade do meio ambiente para o ser humano. A viabilidade do projecto depende tecnicamente, também, da sua localização em relação a determinadas infra-estruturas locais cujo normal funcionamento pode ficar ameaçado com a proximidade do aterro sanitário como é o caso dos aeroportos e dos corpos de água. A localização do aterro sanitário é, igualmente, importante se pensarmos na rapidez da remoção dos resíduos de modo a manter as cidades e os aglomerados populacionais livre desse mal. Nesta perspectiva, a localização do aterro sanitário deve levar em conta a densidade populacional e a distância em relação à rede viária.

CRITÉRIOS TÉCNICOS	
CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
Uso do solo	As áreas devem estar localizadas fora dos limites das áreas de preservação ambiental e numa zona em que o uso do solo seja compatível com as actividades de um aterro sanitário.
Distância dos corpos hídricos	As áreas não devem estar situadas a menos de 200 metros dos corpos de água importantes e a menos de 50 metros de qualquer outro corpo de água.
Proximidade a núcleos residenciais urbanos	As áreas não devem se situar a menos de mil metros de núcleos residenciais urbanos que abriguem 200 ou mais habitantes.
Proximidade a aeroportos	As áreas não devem situar a menos de 10.000 metros dos aeroportos ou aeródromos (Gomes, et al., 2010) nem estar na rota de pouso e descolagem das aeronaves.
Ventos predominantes	A direcção dos ventos não deve propiciar o transporte de poeiras e/ou odores aos núcleos habitacionais.
Permeabilidade natural do solo	É desejável que o solo do terreno seleccionado tenha uma certa impermeabilidade natural, com vista a reduzir as possibilidades de contaminação do aquífero. As áreas seleccionadas devem ter características argilosas e jamais deverão ser arenosas.
Facilidade de acesso a veículos pesados	O acesso ao terreno deve ter pavimentação de boa qualidade, sem rampas íngremes e sem curvas acentuadas, de forma a minimizar o desgaste dos veículos colectores e permitir seu livre acesso ao local de vazamento mesmo na época de chuvas muito intensas.
Declive	O declive do terreno não deve ultrapassar 45° (Massunari, 2000)
Distância da Rede viária	A área não deve situar muito distante da rede viária

Tabela 6 - Principais Critérios técnicos para selecção de áreas para Aterro Sanitário. Fonte: Adaptado de Monteiro, et al. (2001)

Do ponto de vista económico, os critérios relacionados com o tipo de solo e o relevo devem ser levados em conta na localização da área para o aterro sanitário, pois, se por um lado um terreno muito arenoso não interessa pelo facto de propiciar a infiltração dos lixiviados, por outro, o relevo muito acidentado contribui para o aumento da erosão na área do aterro o que dificulta os trabalhos de manutenção, nomeadamente, a manutenção do sistema de drenagem. Portanto, é desejável que o solo seja argiloso de modo a não favorecer a contaminação dos aquíferos, o declive deve ser suave e, ainda, espera-se que haja bastante material de cobertura dos resíduos na área do aterro de modo a que essa operação não se revele um custo adicional. O custo de aquisição do terreno é um factor que deve ser minimizado encolhendo áreas rurais onde o solo seja, preferencialmente, vago.

CRITÉRIOS ECONÓMICO-FINANCEIROS	
CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
Distância ao centro geométrico de colecta	É desejável que o percurso de ida (ou de volta) que os veículos de coleta fazem até o aterro, através das ruas e estradas existentes, seja o menor possível, com vistas a reduzir o seu desgaste e o custo de transporte do lixo.
Custo de aquisição do terreno	O terreno deverá estar, preferencialmente, em área rural, uma vez que o seu custo de aquisição será menor do que o de terrenos situados em áreas industriais.
Custo de construção e infra-estrutura	É importante que a área escolhida disponha de infra-estrutura completa, reduzindo os gastos de investimento em abastecimento de água, colecta e tratamento de esgotos, drenagem de águas pluviais, distribuição de energia eléctrica e comunicação.
Custos com a manutenção do sistema de drenagem	A área escolhida deve ter um relevo suave, de modo a minimizar a erosão do solo e reduzir os gastos com a limpeza e manutenção dos componentes do sistema de drenagem.

Tabela 7 - Critérios económicos para selecção de áreas para Aterro Sanitário. Fonte: Adaptado de Monteiro, et al. (2001)

Do ponto de vista político-social, é desejável que haja aceitação dessas infra-estruturas pelas comunidades circundantes, autarquias locais e outras organizações que operam nas proximidades evitando conflitos, quase sempre, relacionados com o direito de propriedade ou questões ligadas ao valor do património que pode sofrer alteração perante a presença do aterro e, fundamentalmente, a questão dos odores e dos ruídos causados pelas operações diárias em aterro. Devem ser, igualmente, desencadeadas acções que promovam actividades de desenvolvimento económico e social das populações nas áreas vizinhas, pois, as populações economicamente débeis podem ser integradas em algumas operações em aterro como sejam; reciclagem do lixo e operações de sensibilização e educação das pessoas para a necessidade da diminuição da produção do lixo, separação e disposição do lixo em recipientes adequados.

CRITÉRIOS POLÍTICO-SOCIAIS	
CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
Distância de núcleos urbanos de baixo rendimento económico	Aterros são locais que atraem pessoas desempregadas, de baixo rendimento ou sem outra qualificação profissional, que buscam a <i>catação</i> do lixo como forma de sobrevivência e que passam a viver desse tipo de trabalho em condições insalubres, gerando, para os municípios, uma série de responsabilidades sociais e políticas. Por isso, caso a nova área se localize próxima a núcleos urbanos de baixo rendimento, deverão ser criados mecanismos alternativos de geração de emprego e/ou rendimento que minimizem as pressões sobre a administração do aterro em busca da oportunidade de <i>catação</i> . Entre tais mecanismos poderão estar iniciativas de incentivo à formação de cooperativas de <i>catadores</i> , que podem trabalhar em instalações de reciclagem dentro do próprio aterro ou mesmo nas ruas da cidade, de forma organizada, fiscalizada e incentivada pelos municípios.
Acesso à área através de vias com baixa densidade populacional.	O tráfego de veículos transportando lixo é um transtorno para os moradores das ruas por onde estes veículos passam, sendo desejável que o acesso à área do aterro passe por locais de baixa densidade demográfica.
Inexistência de problemas com a comunidade local	É desejável que, nas proximidades da área seleccionada, não tenha havido nenhum tipo de problema entre os municípios e a comunidade local, com organizações não-governamentais (ONG's) e com a comunicação social, pois, esta indisposição com o poder público irá gerar reacções negativas à instalação do aterro.

Tabela 8 - Critérios político-sociais para selecção de áreas para Aterro Sanitário. Fonte: Adaptado de Monteiro, et al. (2001)

4.2 Dados de base utilizados na modelação cartográfica

Os materiais de base utilizados na modelação cartográfica constam da tabela 9. São dados provenientes de várias fontes e foram obtidos através de algumas instituições nacionais que trabalham com Sistemas de Informação Geográfica. Os modelos são distintos em alguns casos, assim como as escalas. De qualquer forma, foram submetidos a um tratamento inicial em que houve necessidade da conversão dos modelos, definição de sistemas de coordenadas, mudança de escalas e derivação de outros temas a partir dos originais. A carta de ocupação do solo, na escala 1:50.000, no formato analógico, foi obtida da DGHOT. Para a elaboração do layer de ocupação do solo, foi preciso a digitalização da carta em formato analógico seguida da georeferenciação e vectorização. Os layers vectoriais das ribeiras e poços na escala 1:150.000 foram obtidos do INGRH e foi adotado o sistemas de coordenada UTM – WGS 84. A partir desses layers vectoriais

foi possível gerar superfícies de distâncias a partir das quais foi possível identificar áreas em perfil adequado à instalação do aterro sanitário. O *raster* da carta hidrogeológica na escala 1:100000 foi, também, obtido do INGRH e permitiu obtenção de informações importantes relativas a permeabilidade da área de estudo. Os *layers vectoriais* para: áreas urbanas, aeroporto e áreas protegidas na escala 1:150.000 foram obtidos da DGHOT. As superfícies de distâncias geradas a partir desses *layers* permitem encontrar áreas com aptidão para instalação do aterro a partir da reclassificação das mesmas mediante aplicação de determinados critérios. Os dados da altimetria em formato DWG obtidos da DGHOT permitiram a criação de um modelo digital de elevação a partir do qual foi possível gerar o tema de declive do terreno e exposição das encostas. A partir da carta de declive foi possível localizar áreas ótimas à instalação da infraestrutura em causa com base na reclassificação aplicando uma determinada escala de valores para o declive. Procedimento idêntico aplica-se para encontrar áreas cuja exposição em relação aos ventos permite a localização do aterro a partir.

Para a elaboração das cartas temáticas, produção de layouts bem como para a modelação cartográfica foi utilizado basicamente o software *ArcGIS* 9.3.1 da ESRI versão *ArcInfo*. A ponderação dos critérios foi realizada utilizando a rotina *WEIGHT* do Software IDRISI.

Dados	Fonte	Modelo	Escala
Carta de ocupação de solo	DGHOT	Raster	1:50.000
Divisão de Concelho	DGHOT	Vetorial	1:150.000
Carta Hidrogeológica	INGRH	Raster	1:100.000
Poços	INGRH	Vetorial	1:150.000
Rede Viária	DGHOT	Vetorial	1:150.000
Ribeiras	INGRH	Vetorial	1:150.000
Áreas urbanas	DGHOT	Vetorial	1:150.000
Aeroporto	DGHOT	Vetorial	1:150.000
Áreas Protegidas	DGHOT	Vetorial	1:150.000
Limite da Ilha	DGHOT	Vetorial	1:150.000
Ortofoto	DGHOT	Raster	1:10.000
Planimetria da Ilha de Santiago	DGHOT	DWG	1:10.000
Altimetria da Ilha de Santiago	DGHOT	DWG	1:10.000

Tabela 9 – Dados de base utilizados na modelação. Fonte: Elaboração própria (2012)

4.3 Ponderação dos fatores

4.3.1 Justificação

O esquema da figura 7 evidencia os principais factores levados em conta na ponderação para criação do modelo cartográfico. Cada factor pelas suas especificidades contribui com um determinado peso na modelação de acordo com o seu grau de importância relativamente aos restantes. Por se tratar de um conjunto de critérios, procedeu-se ao método de Análise Multicritério para se poder decidir acerca da contribuição efectiva de cada um dos factores na localização do aterro, ou seja procedeu-se à determinação dos pesos dos factores. Sendo assim, recorreu-se, numa primeira fase, aos valores da escala de comparação par – par da tabela 10 proposta por Saaty (Saaty, 1990) como forma de encontrar os valores para a comparação par a par dos factores e, numa segunda fase, a ponderação dos mesmos a partir de uma matriz quadrada numa lógica de que o factor com um grau de importância maior de que um outro deve assumir importância maior na decisão da localização de áreas para instalação do aterro sanitário.

Grau de importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Os dois atributos contribuem de forma idêntica para o objetivo
3	Ligeiramente mais importante	A análise e a experiência mostram que o atributo i é ligeiramente mais importante que o atributo j
5	Significativamente mais importante	A análise e a experiência mostram que o atributo i é significativamente mais importante que o atributo j;
7	Fortemente mais importante	A maior importância do atributo i em relação ao atributo j pode ser demonstrada na prática;
9	Extremamente mais importante	Sem qualquer dúvida o atributo i é absolutamente predominante para o objetivo em relação ao atributo j;
2,4,6,8	Valores intermediários	Podem ser utilizados quando necessário, a critério do julgador;
1/3	Ligeiramente menos importante	A análise e a experiência mostram que o atributo i é ligeiramente menos importante que o atributo j;
1/5	Significativamente menos importante	A análise e a experiência mostram que o atributo i é significativamente menos importante que o atributo j;
1/7	Fortemente menos importante	A menor importância do atributo i em relação ao atributo j pode ser demonstrada na prática;
1/9	Extremamente menos importante	Sem qualquer dúvida o atributo i é absolutamente sem importância para o atributo j.

Tabela 10 - Escala de valores utilizados na comparação par a par. Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

4.3.2 Análise Multicritério

A Análise Multicritério é uma técnica de análise utilizada quando vários critérios ou variáveis concorrem para a decisão na escolha de uma ou outra alternativa sobretudo quando a decisão baseia-se em princípios ou conceitos muito subjetivos. As abordagens multicritérios são formas de modelar os processos de decisão levando em conta os eventos desconhecidos que podem afetar os resultados e os possíveis cursos de acção. Estes modelos refletem, de maneira suficientemente estável, o juízo de valores dos decisores. *Multicriteria Decision Analysis (MCDA)* e *Multicriteria Decision Making (MCDM)* envolvem, em geral, um conjunto de alternativas avaliadas com base em critérios conflitantes e incomensuráveis (Malczewski, 1999). De acordo com o mesmo autor, critério é considerado um termo geral que inclui tanto o conceito de atributo como o do objetivo. Sendo assim, duas classes gerais de MCDM podem ser distinguidas: *Multiattribute Decision Making (MADM)* e *Multiobjective Decision Making (MODM)* ambas categorizadas em problemas de decisão individual ou em grupo. Essas duas categorias são, por sua vez, subdivididas em decisões determinísticas, probabilísticas e *fuzzy*.

Os problemas de decisão determinística assumem que são conhecidos, com certeza, os dados necessários e as informações e que existe uma relação determinística de conhecimento entre cada decisão e a correspondente consequência da decisão. A análise probabilística lida com situações de incertezas a cerca do estado do ambiente do problema e a cerca da relação entre decisão e as suas consequências. A análise de decisões *fuzzy* lida com incertezas inerentes à imprecisões de informações envolvidas na tomada de decisão.

Em geral, os problemas de tomada de decisão multicritério envolvem seis componentes: (1) objetivo ou conjunto de objetivos que os decisores tentam alcançar; (2) decisor ou grupo de decisores envolvidos no processo de tomada de decisão juntamente com as suas preferências em relação aos critérios de avaliação; (3) grupo de critérios de avaliação (objetivos e/ou atributos) na base dos quais os decisores avaliam cursos alternativos de acção; (4) conjunto de alternativas de decisão; (5) conjunto de variáveis incontrolláveis ou *estado da natureza* (ambiente de decisão); (6) conjunto dos resultados ou consequências associadas a cada par de alternativa-atributo (Malczewski, 1999 *apud* Keeney & Raiffa, 1976; Pitz & McKillip, 1984).

A figura 19 mostra a relação entre os elementos do processo MCDM. O elemento central desta estrutura é uma matriz de decisão que consiste num grupo de colunas e linhas (Malczewski, 1999 *apud* Pitz & McKillip, 1984). A matriz representa o resultado da decisão para um conjunto de alternativas e um conjunto de critérios de avaliação.

De acordo com Malczewski (1999) a estrutura das colunas consiste de níveis representando os decisores, as suas preferências e os critérios de avaliação. Esses elementos estão organizados numa estrutura hierárquica. O nível mais geral é o do objetivo. A este nível o estado final desejado, resultante de tomadas de decisão, é especificado. O decisor consiste numa única pessoa ou grupo de pessoas, tal como governo ou organizações corporativas. As preferências são tipicamente operacionalizadas em termos de pesos atribuídos para avaliação dos critérios. Um critério é um termo geral que inclui objetivos e atributos, é um padrão de juízos ou uma regra para testar o desejo da decisão da alternativa (Malczewski, 1999 *apud* Hwang & Yoon, 1981).

As linhas da matriz de decisão representam alternativas de decisão. Todas as decisões são tomadas em algum ambiente contextual e, portanto, envolve muitos factores além do controlo dos decisores referidos como *estado da natureza ou estado do ambiente*. O estado da natureza reflete o grau de incerteza a cerca dos resultados das decisões (consequências). Para cada alternativa de decisão há um conjunto de resultados possíveis os quais, na realidade, seguem as decisões sobre o estado do ambiente. Se um único estado do ambiente é considerado, um único resultado da decisão é associado à alternativa dada. Os resultados da decisão dependem de um conjunto de atributos para avaliação de alternativas de acordo com o quadro da figura 19.

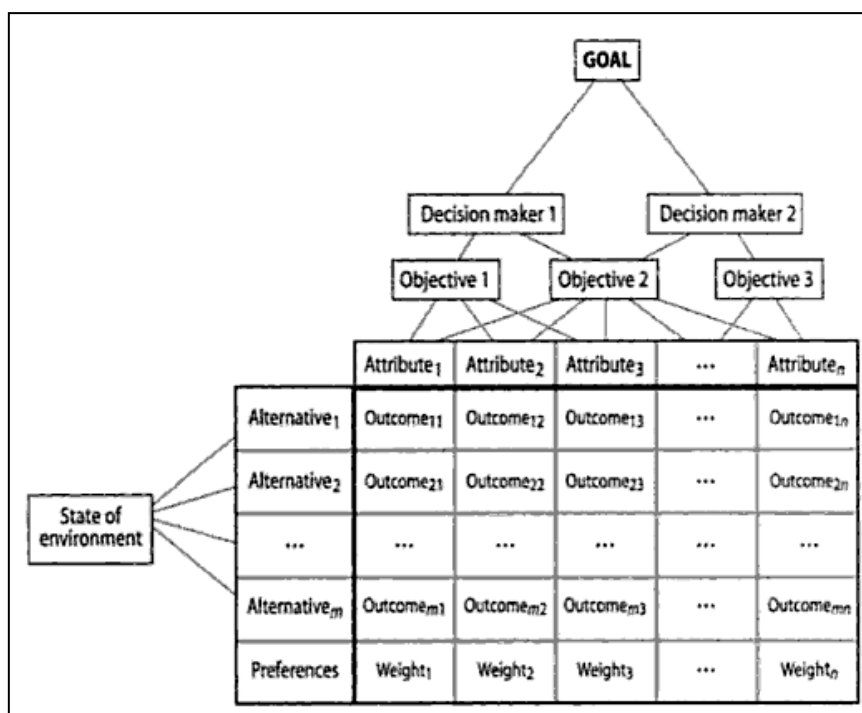


Figura 19 – Quadro para análise de decisão multicritério. Fonte: Malczewski (1999)

4.3.2.1 Métodos de Análise Multicritério

I - MACBETH - *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*

Trata-se de uma abordagem de análise multicritérios de decisão que requer somente julgamentos qualitativos sobre diferenças de valor para ajudar um indivíduo ou um grupo quantificar a atratividade relativa das opções. Ele mede o grau de preferência de um “decisor” sobre um conjunto de alternativas e, dessa forma, permite que se verifique inconsistência nos juízos de valores, possibilitando a revisão. Sua maior vantagem, portanto, é interatividade (Vilas Boas, 2006 *apud* Fernandes, 1996)

II - PROMETEE – *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*

Os métodos PROMETHEE atuam na construção de relações de superação valorizadas incorporando conceitos e parâmetros que possuem alguma interpretação física ou económica facilmente compreensível pelo decisor. Esta abordagem faz uso abundante do conceito de pseudocritério, já que constrói o grau de superação entre cada par de ações ordenadas levando em conta a diferença de pontuação que essas ações possuem a

respeito de cada atributo (Vilas Boas, 2006 *apud* Flament, 1999). Sua aplicação é indicada para solução de problemas formados por um número finito de alternativas e por vários critérios de decisão, que devem ser maximizados ou minimizados de acordo com a necessidade (Vilas Boas, 2006 *apud* Santos et. al., 2005).

III - ELECTRE - *Elimination et Choix Traduisant la Réalité*

ELECTRE são métodos baseados em relações de superação para decidir sobre a determinação de uma solução, que mesmo sem ser ótima pode ser considerada satisfatória, e obter uma hierarquização das ações (Vilas Boas, 2006 *apud* Flament, 1999). Eles se sustentam em três conceitos fundamentais: concordância, discordância e valores-limite (outranking), utilizando um intervalo de escala no estabelecimento das relações de troca na comparação aos pares das alternativas (Vilas Boas, 2006 *apud* Gonçalves, 2001).

IV - AHP - *Analytical Hierarchy Process* (Processo Analítico Hierárquico)

De entre os vários métodos de análise multicritério, neste trabalho deu-se preferência ao método de “comparação par a par”, também conhecido como o “método de Saaty” ou “Processo Analítico Hierárquico” – *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Trata-se, pois, de um método de escolha da melhor alternativa de decisão considerando múltiplos critérios objectivos por meio de valores qualitativos ou quantitativos. Este método foi desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 70 e é um dos mais aplicados na prática das decisões com múltiplos critérios envolvendo complexidade e subjetividade. Sua principal característica tem como base a decomposição hierárquica do problema criando-se uma hierarquia de critérios (Saaty, 1990) e convertendo avaliações subjetivas de importância relativa em um conjunto de pontuações ou pesos gerais. A metodologia do modelo AHP consiste de três fases principais: estruturação do problema; julgamentos comparativos e análise das prioridades.

A ideia central da teoria da análise hierárquica introduzida por Saaty é a redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparações aos pares. A utilidade do método reside no processo de tomada de decisões, minimizando suas falhas. A teoria reflete o método natural de funcionamento da mente humana, isto é, diante de um grande número de elementos (controláveis ou não), a mente os agrega em grupos segundo propriedades comuns. O cérebro repete esse processo e agrupa novamente os elementos em outro

nível “mais elevado”, em função de propriedades comuns existentes nos grupos de nível imediatamente abaixo. A repetição dessa sistemática atinge o nível máximo quando este representa o objetivo do nosso processo decisório. E, assim, é formada a hierarquia, por níveis estratificados (Rossoni & Meireles, 2011). De acordo com Saaty (1990) o método propõe ao decisor que o problema de decisão, primeiramente, seja estruturado ou decomposto em partes, representando as partes em níveis hierárquicos, para facilitar a sua compreensão e visualizar a sua estruturação através de um modelo formal. Para se aplicar o método AHP é necessário a realização de quatro passos para se obter a solução de um problema: estruturação ou decomposição do problema, realização de julgamento, cálculo dos *valores próprios* e *vectores próprios* e análise dos resultados. No nível mais alto da estrutura, no topo, é representado o objetivo da decisão, seguido pelos níveis de critérios e subcritérios, caso existam, e finalizando com o nível das alternativas, mostrando as relações entre os elementos de acordo com o esquema da figura 20.

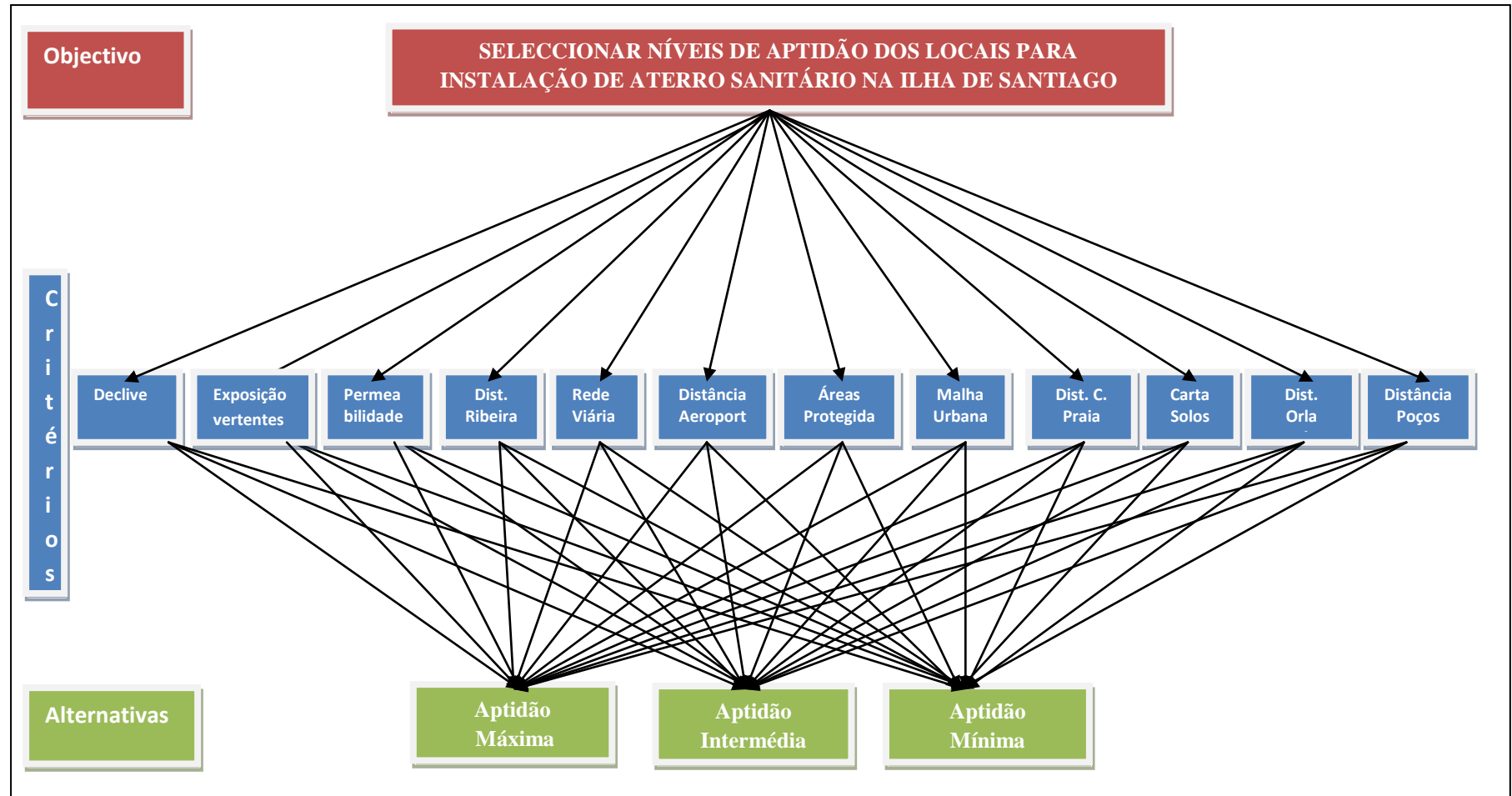


Figura 20 - Estrutura hierárquica de seleção de locais para instalação de Aterro Sanitário na ilha de Santiago. Fonte: Adaptado de Saaty (1986)

Apesar do método AHP ser um dos mais aplicados na prática das decisões a múltiplos critérios, esse método apresenta, entretanto, algumas dificuldades. Uma das dificuldades do método deve-se ao facto do número de comparações dos pares de critérios crescer rapidamente com o crescimento da matriz, ou seja, à medida que aumenta o número de critérios a serem julgados, aumenta o número de comparação par a par que é necessário realizar o que, de certa forma, poderá ter efeito na reversão da ordem de prioridade dos critérios. Além disso, na abordagem multicritério são estabelecidas metas para cada objetivo. Contudo, o método apresenta algumas vantagens, pois, define e evidencia a responsabilidade do decisor e melhora a transparência do processo de decisão.

4.3.3 Determinação dos pesos dos fatores pelo método AHP

A atribuição dos pesos relativos aos diferentes fatores decorre de uma apreciação valorativa, com base numa escala que varia de 1 a 9 (1 a 1/9), correspondendo o valor 1 a uma situação em que os dois fatores do par (variáveis) apresentam igual importância e o valor 9 (ou 1/9) a uma situação em que um dos fatores é absolutamente mais (ou menos) importante do que outro.

Saaty (1990) privilegia a utilização dos valores ímpares que constam da escala por ele concebida, considerando os valores 2, 4, 6 e 8 (assim como 1/2, 1/4, 1/6, 1/8) como níveis intermédios, utilizáveis em situações em que é necessário chegar a um compromisso de valoração.

A discussão sobre a importância relativa de cada fator impõe-se como condição fundamental para a escolha de um dos níveis de importância propostos na escala fundamental de Saaty (tabela 10) o que conduz ao desenvolvimento de uma matriz (A) quadrada, designada matriz de comparação par – par, representada na equação 1, com base nos seguintes pressupostos:

Sejam C_1, C_2, \dots, C_n um conjunto de critérios e a_{ij} representação de julgamentos quantificados entre pares de critérios C_i (critério da linha i) e C_j (critério da coluna j), tem-se:

$$A = [a_{ij}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} C1 & C2 & \dots & Cn \end{matrix} \\ \begin{matrix} C1 \\ C2 \\ \vdots \\ Cn \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

O número de elementos da matriz A resulta das combinações, dois a dois, entre todos os critérios, através da expressão $C_p^n = \frac{n!}{(n-p)!p!}$ em que n é o número total dos critérios e p a combinação dois a dois dos critérios. Cada elemento representa o quociente entre o valor correspondente à importância relativa do critério na posição i (a_i) pelo valor correspondente ao critério na posição j (a_j). A matriz A é, então, composta por um conjunto de elementos a_{ij} refletindo as seguintes propriedades:

- ❖ $a_{ij} > 0$
- ❖ Para $i = j \Rightarrow a_{ij} = a_{ji} = a_{ii} = 1 \forall i$, ou seja, Se a_i é julgado como de igual importância relativa a a_j , então $a_{ij} = 1$, $a_{ji} = 1$ e $a_{ii} = 1$, para todo i .
- ❖ A matriz A é recíproca, ou seja, $a_{ij} = 1/a_{jk}$
- ❖ Se $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik} \Rightarrow$ a matriz A é consistente.

Assumindo que a matriz A é consistente e considerando w_1, w_2, \dots, w_n os pesos numéricos dos critérios e considerando que os elementos de cada linha da matriz A resultam do quociente entre o peso do critério de uma determinada linha pelos restantes critérios, os julgamentos a_{ij} são dados pela expressão $a_{ij} = w_i/w_j$ (para $i, j = 1, 2, \dots, n$) resultando a equação 1 na seguinte equação:

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

Seja a matriz transposta, $\vec{W} = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ os elementos, w_1, w_2, \dots, w_n , que representam os pesos dos vetores, determinam-se através da equação:

$$A\vec{W} = n\vec{W} \quad (3)$$

Com efeito,

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \vdots \\ nw_n \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Nota-se que n é um valor próprio da matriz A . Levando em conta que A é uma matriz quadrada de ordem n , logo, o valor próprio corresponde ao traço da matriz A , ou seja, a soma dos elementos da diagonal principal dada pela seguinte expressão:

$$n = \text{tr}(A) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (5)$$

Saaty (1990) sugere o cálculo do maior valor próprio ($\lambda_{\text{máx}}$) pela equação,

$$\lambda_{\text{max}} = \sum_{j=1}^n a_{ij} \frac{w_j}{w_i} \quad (6)$$

que resulta da resolução da equação,

$$(A - \lambda_{\text{max}}I)w = 0 \quad (7)$$

em que I é a matriz identidade da mesma ordem da matriz A .

Deste modo, resolvendo a equação,

$$Aw = \lambda_{\text{max}}w \quad (8)$$

e considerando a matriz A consistente, determina-se o vetor próprio correspondente ao máximo valor próprio.

Com efeito, utilizando os valores da escala fundamental de Saaty, correspondentes ao maior número de escolhas realizadas pelos alunos do 3º ano do Curso de Geografia e Ordenamento de Território da Universidade de Cabo Verde (tabelas B₁ e B₂ em anexo), resultantes de um questionário em que os mesmos foram solicitados a indicar um valor correspondente à importância relativa de um critério em relação ao outro para todos os pares de critérios em análise relativamente à localização ótima de um aterro sanitário na ilha de Santiago, foi possível construir uma matriz de comparação par – par para determinação dos pesos dos critérios. Como já era de se esperar, numa primeira tentativa não foi possível obter os pesos dos critérios devido à inconsistência da matriz, pois, em geral, não se consegue um valor preciso dos pesos relativos (w_i/w_j) dos critérios, em vez disso, o que se obtém são estimativas dos julgamentos (Saaty, 1990). A matriz de comparação par – par pode não ser consistente, pois, no processo de decisão os entrevistados podem ter alguma incerteza nas respostas que dão ou podem fazer julgamentos pobres quando comparam alguns dos pares de critérios (*op. cit.*). A

inconsistência pode, também, estar associada a redundância que deriva de comparações múltiplas de um critério com outros critérios. De todo modo, para se construir a matriz de comparação par – par, para o caso em estudo, para além da escolha dos valores da escala Saaty mais vezes seleccionados, numa segunda fase, baseou-se, também, na lógica da consistência da matriz segundo a qual, se um critério $X = 3Y$ e $X = 5Z$, isto implica que o critério $Y = 5/3Z$. A partir desse pressuposto, foi possível construir a matriz de comparação par – par para os critérios seleccionados para instalação de um aterro sanitário na ilha de Santiago de acordo com a tabela 11.

	CD Cidade Praia	CD Malha Urbana	CD Aerop orto	CD Áreas Proteg.	Carta Ocup. Solos	CD Rede Viária	CD Poços	Carta Permeabil idade	Carta Exp. Vertentes	Carta Declive	CD Orla Marít	CD Ribeir as
CD da Cidade da Praia	1											
CD Malha Urbana	1/2	1										
CD Aeroporto	1	3	1									
CD Áreas Protegidas	1/3	1/2	1/2	1								
Carta Ocupaç. dos Solos	1	3	1	3	1							
CD Rede Viária	1/4	1/2	1/2	1	1/2	1						
CD Poços	1	1	1/2	1	1	1	1					
Carta Permeabilidade	1/2	2	1/2	3	1	1	1	1				
Carta Exposiç. Vertentes	1/4	1/7	1/3	1/3	1/3	1/2	1/3	1/4	1			
Carta Declive	1/2	1/2	1/2	2	1	2	1	1/3	2	1		
CD Orla Marítima	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1	3	1	1	
CD Ribeiras	1/3	1	1/2	1	2	1	1/2	2	3	1	2	1

Tabela 11 – Matriz de comparação par – par dos critérios seleccionados para a localização do aterro sanitário. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

Saaty (1990) afirma que não se tem a certeza de que a precisão dos julgamentos é a causa da inconsistência da matriz, pois, a inconsistência é inerente ao processo de julgamento.

Quando os julgamentos são inconsistentes, os decisores nunca sabem onde reside maior inconsistência. Contudo, o Processo Analítico Hierárquico (AHP) pode indicar, um por um, em ordem sequencial, qual o julgamento mais inconsistente e sugerir o valor que melhor prova a consistência da matriz a partir do cálculo da razão de consistência (CR).

Inconsistência pode ser considerada um erro tolerável na medição apenas quando é de uma ordem de magnitude igual ou inferior a 10 por cento da medição propriamente dita. Saaty, propõe o cálculo desse erro a partir da razão de consistência para verificar a validade da matriz, ou seja, para provar a consistência dos julgamentos feitos na comparação par – par dos critérios a partir da equação:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (9)$$

em que,

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (10)$$

é o índice de consistência e *RI* o índice aleatório (tabela 12). Trata-se do índice de consistência da matriz recíproca gerada aleatoriamente utilizando a escala de valores de 1 a 9 quando se calcula a consistência.

<i>n</i>	<i>RI</i>	<i>n</i>	<i>RI</i>	<i>n</i>	<i>RI</i>
1	0	6	1,24	11	1,51
2	0	7	1,32	12	1,48
3	0,58	8	1,41	13	1,56
4	0,9	9	1,45	14	1,57
5	1,12	10	1,49	15	1,59

Tabela 12 - Índice aleatório (RI) em função da ordem (n) da matriz. Fonte: Saaty (1990)

Baseando nesses conceitos e utilizando a rotina *WEIGHT* do *software* IDRISI foi possível determinar os pesos dos critérios (tabela 14). Foi, igualmente, possível provar a consistência da matriz da tabela 11, pois, a razão de consistência encontrada foi menor do que 10 por cento o que torna viável os valores atribuídos na comparação par – par dos critérios e, por conseguinte, valida os pesos encontrados para os critérios conforme os resultados da tabela 13.

RI (Índice aleatório)	1,480
N (Ordem da Matriz)	12,000
$\lambda_{\text{máx}}$ (Valor Próprio Máximo)	12,969
CI (Índice de Consistência)	0,088
CR (Razão de Consistência)	0,059

Tabela 13 - Variáveis utilizadas no cálculo da razão de consistência (CR). Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

4.3.4 Análise dos resultados dos valores mais elevados dos pesos encontrados.

De certa forma existe alguma coerência nos resultados encontrados para os pesos dos critérios, pois, o critério distância em relação à Cidade da Praia é o que tem maior peso na determinação do aterro sanitário visto que a Cidade da Praia é o maior produtor de lixo, justifica-se plenamente que se dê uma especial importância a esse critério na localização da referida infraestrutura. Segue-se o critério distância do aeroporto, infraestrutura que pela sua envergadura merece uma atenção especial no que diz respeito à instalação de qualquer outra infraestrutura que poderia por em causa o seu normal funcionamento. O critério ocupação do solo ocupa o terceiro lugar do ponto de vista da importância relativa na localização do aterro o que parece ser razoável, pois, a partir desse tema é possível identificar as diferentes ocupações na ilha e decidir, sem muitas margens de dúvidas, os locais ideais para a instalação do aterro sanitário. Os temas distâncias dos poços e permeabilidade mereceram, também, algum destaque o que parece ser óbvio sendo certo que a distância dos corpos de água e os aquíferos devem ser preservados evitando possível contaminação com poluentes que resultem da decomposição do lixo no aterro.

Critérios/Variáveis	Pesos	Pesos (%)
CD da Cidade da Praia	0,14	14
CD Malha Urbana	0,09	9
CD Aeroporto	0,13	13
CD Áreas Protegidas	0,06	6
Carta Ocupação dos Solos	0,11	11
CD Rede Viária	0,06	6
CD Poços	0,09	9
Carta Permeabilidade	0,09	9
Carta Exposição Vertentes	0,03	3
Carta Declive	0,07	7
CD Orla Marítima	0,05	5
CD Ribeiras	0,08	8

Tabela 14 – Pesos dos critérios determinados utilizando a rotina WEIGHT do software IDRISI. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

5 Modelação Cartográfica em ambiente SIG

5.1 SIG – Alguns Conceitos Básicos

Falar da modelação cartográfica implica, necessariamente, uma contextualização dos mecanismos, processos, metodologias, suportes materiais e ferramentas necessárias para a implementação de um modelo cartográfico. O avanço tecnológico verificado nas últimas décadas a par da evolução dos sistemas de informação direcionados ao espaço geográfico, têm permitido o desenvolvimento de modelos cartográficos capazes de prever e explicar determinados fenómenos à superfície da Terra e produzir cartografia que, atendendo a uma determinada realidade geográfica e a um conjunto de critérios, permite inferir a cerca da localização de determinados eventos geográficos. Nesse âmbito, os SIG atualmente desempenham um papel preponderante enquanto um sistema complexo que engloba uma estrutura organizacional capaz de responder às exigências da sociedade, tecnologia adaptada à resolução de problemas geográficos, base de dado geográficos entre outras estruturas.

É de realçar que, para se atingir o estágio de desenvolvimento dos SIG capaz de responder aos desafios dos tempos modernos, um longo caminho teve que ser percorrido.

O uso do termo Sistemas de Informação Geográfica data de meados de 1960 e surgiu em dois contextos aparentemente diferentes. Em Canadá o termo foi criado para fazer referência ao uso do computador Mainframe e os periféricos associados para fazer o mapeamento completo dos dados recolhidos pelo *Canada Land Inventory* (CLI) e estimar áreas do solo disponível para determinados usos (Goodchild, nd). A ideia inicial era mostrar que, apesar da tecnologia digital na altura ser muito cara, ainda assim, era mais vantajoso utilizar um computador na medição de um vasto número de áreas exigido pelo projeto do que efetuar essas mesmas medições manualmente o que seria uma tarefa árdua e sujeita a imprecisões.

“Much of the proposed analysis was concerned with measuring areas simultaneously on two maps, to answer questions like “how much area is class 1 agricultural land and not currently used for agriculture?” The ability to overlay two or more maps for analysis

(in this case a map of soil capability for agriculture with a map of land use) has always been a strong argument for GIS, because it is so cumbersome by hand". (Goodchild, nd)

Nesse trecho do texto extraído de um artigo de Goodchild, a questão relacionada com a capacidade de análise de sobreposição, de dois ou mais mapas, em Sistemas de Informação Geográfica, de modo a resolver uma tarefa que seria manualmente embaraçosa, fica implícito o princípio de modelação cartográfica em ambiente SIG para resolução de problemas que, de outra forma, seria de difícil solução.

Praticamente na mesma altura em que se desenvolviam estudos no Canadá a volta dos SIG, pesquisadores nos Estados Unidos debatiam com o problema de acesso a diferentes tipos de dados exigidos para modelos de transportes em larga escala, conceber um SIG como um sistema capaz de extrair de forma apropriada dados de aprovisionamento tornando-os disponíveis para análise e apresentar resultados em forma de mapas (Goodchild, nd *apud* Coppock & Rhind, 1991). Na verdade, em várias partes do mundo, surgiram nessa altura tentativas de criação de modelos para justificar determinados fenómenos geográficos bem como apresentar soluções para tomadas de decisão em questões geográficas complexas.

Para se perceber qual a contribuição efetiva dos SIG em questões de análise geográfica, houve a necessidade da sua conceptualização o que varia um pouco de autor para autor, todavia, em todas as definições o espaço geográfico é a questão central que acaba, de certa forma, por unificar todos esses conceitos. A nível do conceito, durante algum tempo persistiu alguma dúvida a cerca da natureza dos SIG. A dúvida derivou do facto de alguns investigadores considerarem os SIG como uma ferramenta enquanto outros consideravam os SIG uma ciência. Segundo Wright, Goodchild e Proctor (Wright, Goodchild, & Proctor, 2004), os SIG podem ser entendidos não pelas duas posições distintas, mas, como três posições que percorrem o contínuo SIG desde SIG-Ferramenta a SIG-Ciência. Estas posições atribuem vários significados ao “fazer SIG” que são as seguintes:

- ❖ SIG como ferramenta (*GIS-Tool*), ou seja, o uso de uma determinada classe de software, ferramentas de hardware associados e dados geográficos digitais a fim de alcançar algum propósito específico. Nesta perspetiva os SIG são entendidos

como instrumentos inerentemente neutrais em que o seu desenvolvimento e utilidade decorrem dos usos dados pelas diferentes aplicações;

- ❖ SIG como construção de ferramentas (*GIS-Toolmaking*), que tendem a desempenharem um papel mediador entre a Ciência e os Sistemas de Informação Geográfica, entre a teoria e a prática o que numa perspetiva mais académica pressupõe a análise crítica e a reflexão sobre problemas geográficos;
- ❖ SIG como ciência (*GIS-Science*), ou seja, a análise das questões fundamentais suscitadas pelo uso dos SIG. Efetivamente, a posição SIG-Ciência insiste numa relação mais próxima e recíproca entre a ferramenta e a ciência, envolvendo a pesquisa em torno do estabelecimento de problemas essenciais suscitados pelo uso dos SIG, os quais serão em larga medida anteriores ao desenvolvimento dos SIG, mas que atualmente, e face aos avanços tecnológicos, a sua resolução se torna mais premente (Painho, 2008).

Definir o que é um Sistemas de Informação Geográfica, não é tarefa fácil. De facto, é difícil encontrarmos duas descrições iguais na literatura de especialidade (Painho, 2008).

“Defining geographic information systems (GIS) is not a straightforward matter. Even the use of the term “GIS” can be problematic. “GIS” refers to geographic information systems in the plural, yet “GIS” is often used as an acronym for a single system. Some writers choose to refer to “GIS systems,” as a system of systems, while others have resorted to terms like “GISers” to refer to those with some strong commitment to GIS as a disciplinary enterprise” (Pickles, 1995).

De acordo com mensagem contida num pequeno texto extraído de um artigo de Pickles (Pickles, 1995), a dificuldade em definir SIG resulta da variedade de experiências individuais e das diferentes áreas disciplinares que estão na origem dessas definições. Estes dois fatores concorrem para visões e entendimentos distintos sobre a natureza dos SIG – os quais se tendem a manifestar por via do enfoque colocado em determinados aspetos em detrimento de outros que, sob uma perspetiva diferente, poderiam ser considerados de igual ou maior importância. Um terceiro fator prende-se com o facto de muitas dessas definições acompanharem o processo de desenvolvimento das tecnologias

e aplicações, impedindo, por esse motivo, a sua estabilização (Pickles, 1995 citado por Painho, 2008). Conforme afirma Pickles (1995), a definição de SIG varia de acordo com a pessoa que a formule e seja o que for é provável que mude rapidamente como os dados geográficos digitais e computação gráfica que se espalharam rapidamente em Engenharia, Medicina, Campos da Ciência da Terra, Planeamento, Design, entre outros. Apesar de tudo, um aspecto parece ser concensual, uma abrangente definição de SIG deverá assentar na identificação de dos seus componentes fundamentais e, nesse sentido, é possível referir a tecnologia, os dados, as organizações, os métodos e as áreas de conhecimento, como os componentes-chave de qualquer Sistema de Informação Geográfica.

Segundo Coppock & Rhind (nd), Sistema de Informação Geográfica é um sistema computacional baseado na análise de dados espacialmente referenciados. Para Clarke (Clarke, nd *apud* Estar & Estes, 1990), Sistemas de Informação Geográfica é um sistema de informação projectado para trabalhar com dados referenciados por coordenadas espaciais ou geográficas. Por outras palavras, os Sistemas de Informação Geográfica é tanto um sistema de base de dados específicos capacitado para dados espacialmente referenciados bem como um conjunto de operações que se realizam com os dados.

5.2 Recurso à álgebra de mapas como ferramenta para modelação cartográfica

A modelação dos dados no ambiente SIG pode incidir, quer sobre os dados em formato vectorial, quer sobre dados raster. A opção por um ou outro formato é função da precisão espacial requerida, do tipo de fenómeno que se pretende modelar e, sobretudo, do objectivo almejado. Por outras palavras, se se trata de fenómenos cuja variação espacial é contínua, como por exemplo a variação espacial da temperatura, da precipitação, ou risco de erosão dos solos, etc., preconiza-se a utilização dos dados em formato raster. Se a análise recair sobre fenómenos cuja variação espacial é descontínua, ou seja sobre variáveis discretas, o modelo *vectorial* apresenta-se como o mais apropriado. Nesse trabalho, discutir-se-ão apenas alguns aspectos relacionados com modelação em formato *raster*.

De acordo com Tomlin (Tomlin, 1990) a modelagem cartográfica é uma metodologia de processamento de dados geográficos que se propõe abordar diversas aplicações de uma forma clara e de maneira consistente. Isso faz-se pela decomposição de conjunto de dados, pela capacidade de processamento de dados e especificação do controlo de processamento de dados em componentes elementares que podem, em seguida, ser recombinados com relativa facilidade e grande flexibilidade. O resultado é o que equivale a uma álgebra de mapas em que os mapas temáticos tais como tipo de solo, valor da terra ou densidade populacional são tratados como variáveis que podem ser transformadas ou combinadas em novas variáveis por meio de funções específicas. Dessa definição impõe-se destacar dois aspectos fundamentais: álgebra de mapas e funções.

A álgebra de mapas faz uso de expressões matemáticas que contêm operadores e funções. Os operadores desta linguagem podem ser relacionais, booleanos, lógicos ou combinatórios. Estes operam sobre um ou mais valores de *input* para calcularem novos valores. As funções executam tarefas específicas, por exemplo, cálculo de declives a partir de elevações, e devolvem valores numéricos. O *Map Algebra* é uma linguagem de análise baseada nos conceitos de álgebra de mapas apresentados por Dana Tomlin (Tomlin, 1990). É uma linguagem utilizada para análise espacial utilizando o modelo raster. A figura 21 ilustra o conceito de álgebra de mapas.

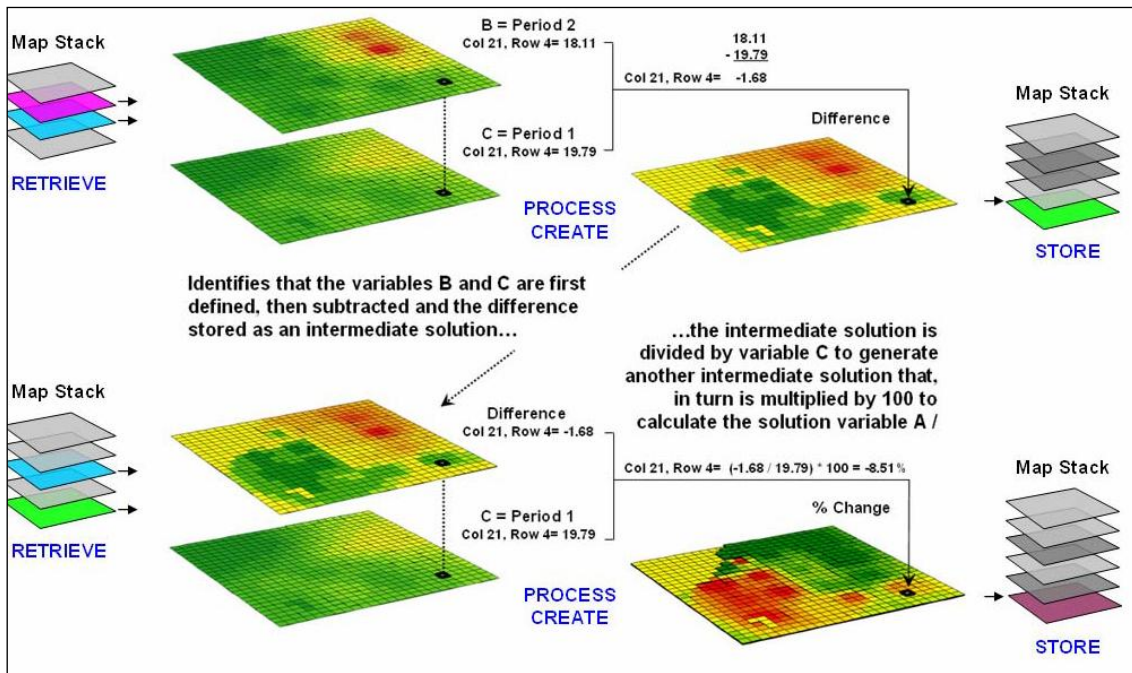


Figura 21 – Ilustração do conceito de álgebra de mapas. Fonte: (Berry, 2004)

As capacidades interpretativas da modelação de um sistema cartográfico surgem a partir das funções associadas com operações de transformação individual de dados e as formas como essas operações são combinadas (Tomlin, 1990). Essa transformação de dados é facilitada pelo facto das camadas das zonas dos mapas serem representadas por valores numéricos. Essa transformação é, também, facilitada pelo facto desses valores estarem diretamente associados a localizações individuais. Portanto, o uso dos números torna possível transformar características geográficas com funções matemáticas. O facto de esses números estarem associados com localizações individuais torna possível expressar cada uma destas operações em termos dos seus efeitos sobre um único local típico (*op. cit.*).

As funções de transformação de dados do sistema de modelação cartográfica podem ser classificadas em quatro tipos principais associadas, respetivamente, a operações locais, zonais, incrementais e focais.

- ❖ Operações locais são aquelas que calculam um novo valor para cada localização como função de um ou mais valores existentes associados a esse local. Na maioria dos casos, a operação é feita através da aplicação de uma função matemática conhecida para cada localização do valor ou valores sobre uma ou mais camadas de mapas existentes.

- ❖ Operações zonais calculam um novo valor para cada localização como uma função dos valores existentes de uma camada específica que está associada não apenas aquela localização em si, mas, com todos os locais que ocorrem dentro da sua zona em outra camada.
- ❖ As operações incrementais, caracterizam cada localização como um incremento de um, dois ou tridimensional forma cartográfica. O tamanho e a forma desses incrementos são inferidos a partir dos valores de cada localização em relação às dos vizinhos adjacentes numa ou mais camadas específicas.
- ❖ Operações focais são aquelas que calculam cada novos valores de cada localização como função dos valores existentes, distâncias e/ou direções de localizações de vizinhos (não necessariamente adjacentes) numa camada específica do mapa.

Nesse trabalho, para a integração e síntese final da informação recorreu-se à operação local que consiste no cruzamento da informação *célula a célula* (figura 22 - I e II), usando para o efeito o operador *weighted overlay*, do *ArcToolbox* do *software ArcGIS 9.3.1*, dado à necessidade da atribuição dos pesos correspondentes à influência relativa dos critérios na modelação em causa.

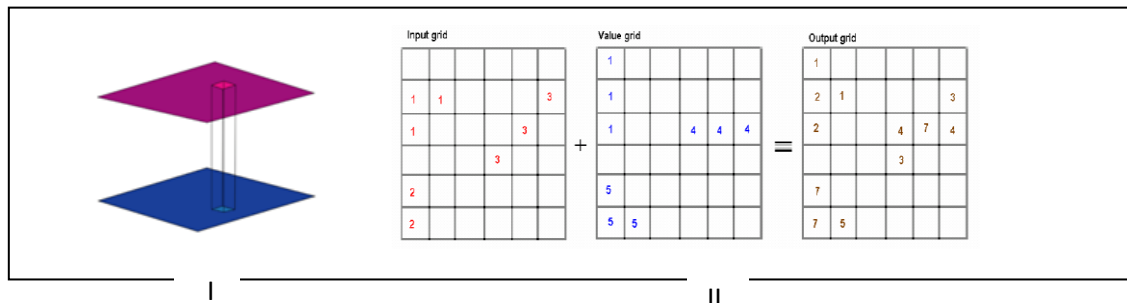


Figura 192 – I - Cruzamento de informação célula a célula de temas *rasters* numa operação matricial local; II – Realização de álgebra de mapas numa operação local com recurso ao operador de adição. Fonte: Adaptado de (Neves, sd)

O conceito de álgebra de mapas está intimamente ligado aos dados em formato matricial, o que requer que os dados *vectoriais* sejam previamente convertidos para *raster* e reclassificados mediante a utilização de escalas de medição dos atributos. Cada célula tem um único valor. Há no entanto, todo um conjunto de aspectos que devem ser considerados, destacando-se entre eles a resolução da célula, o sistema de coordenadas

do *layer raster*, o tipo de atributos armazenados em cada uma das células, entre outros. Trata-se de uma linguagem útil para análise de fenómenos como, por exemplo, risco de erosão dos solos, propagação de um fenómeno no espaço (e.g. ruído, poluição, etc.).

A modelação cartográfica através da álgebra de mapas não coloca dificuldades acrescidas aos profissionais que não têm uma preparação adequada no domínio das ciências matemáticas. Na realidade a maior parte dos *softwares* disponíveis no mercado já traz incorporados os operadores da álgebra de mapas. Contudo, para profissionais com conhecimento na área da programação há sempre a possibilidade de resolução de problemas mais complexos, através de desenvolvimento de aplicações muito específicas.

A modelação cartográfica para a localização ótima do aterro sanitário na ilha de Santiago tem por base os seguintes dados, operações e procedimentos de acordo com o fluxograma da figura 23.

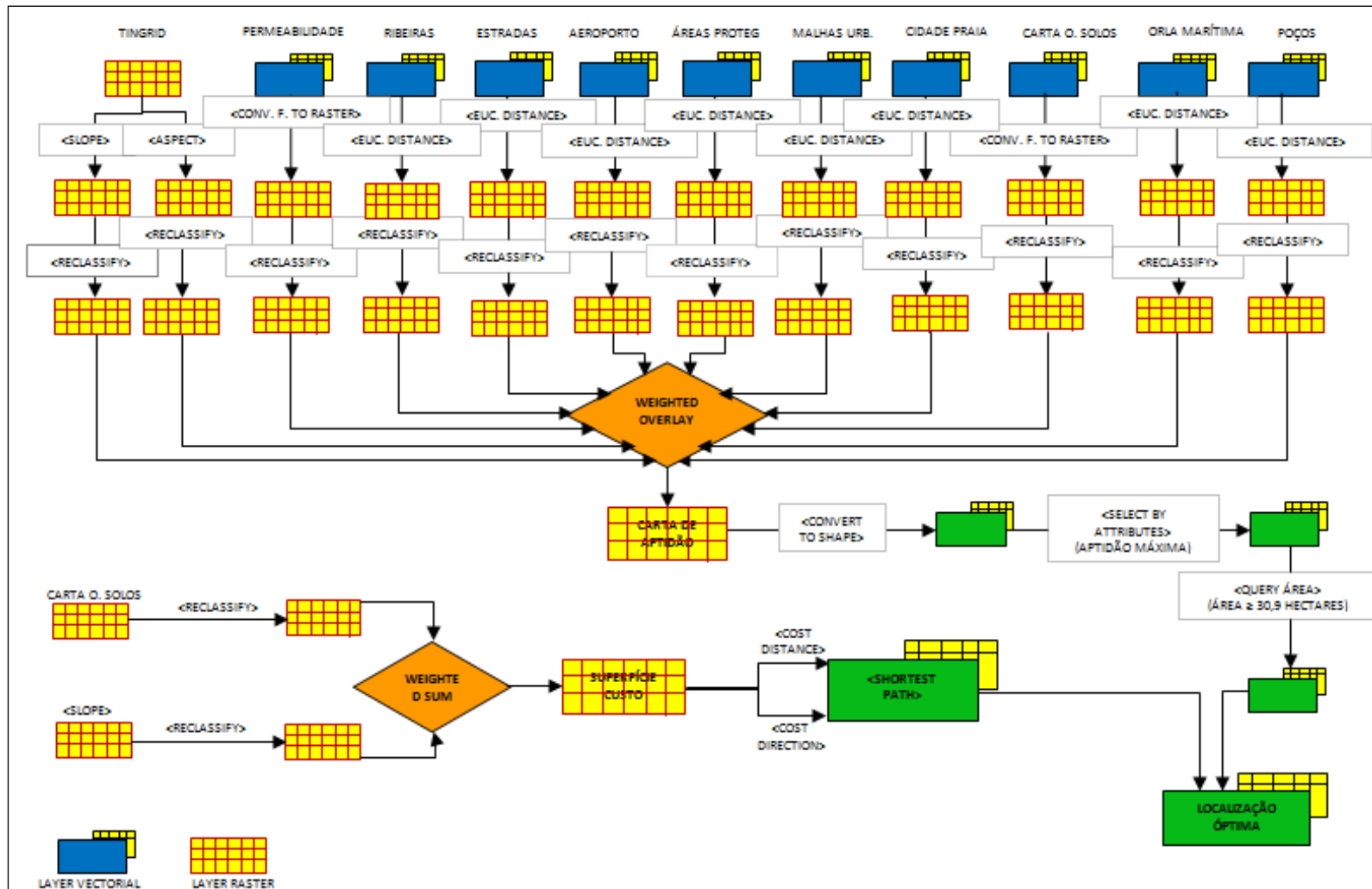


Figura 203 – Fluxograma das principais operações de análise espacial realizadas na modelação cartográfica. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

Como se pode perceber a partir do fluxograma, para a modelação cartográfica recorreu-se a um conjunto de dados cartográficos em formato vectorial. Numa 1ª etapa de modelação, para a maioria desses dados (temas das ribeiras, estradas, poços, aeroporto, etc.), foram geradas superfícies de distâncias, a partir da rotina *euclidean distance* do *ArcToolbox*, com vista à produção de cartas de distâncias que permitem determinar a melhor localização do aterro sanitário com base na distância em relação às entidades geográficas referidos nos temas. Para os temas de ocupação dos solos e permeabilidade, foi feita uma conversão para *raster* já que a opção de modelação inicial foi para esse modelo de dados. As superfícies de declive e orientação das encostas foram geradas a partir do modelo digital de elevação obtido do modelo de rede irregular de triângulos (*TIN*) gerado por interpolação dos pontos cotados. Na 2ª etapa de modelação, os temas em formato *raster* foram reclassificados permitindo, desse modo, a obtenção de cartas de aptidão para instalação do aterro sanitário em função de cada variável (critério) em análise (ver Anexo D).

De realçar que, para a reclassificação das várias classes de cada critério, foi utilizada uma escala de valores de 1 a 3, em que o valor 1 corresponde a zonas com aptidão mínima, 2 - aptidão intermédia e 3 - zonas de máxima aptidão para instalação do aterro sanitário. A reclassificação dos temas baseou-se nos seguintes pressupostos:

- ❖ o tema de declive foi reclassificado com valor 1 a classe com declive maior que 45° já que declives muito acentuados não favorecem a instalação de aterro sanitário (Massunari, 2000), pois, o acesso a veículos transportando resíduos, nessas condições, seria dificultado. Os valores 2 e 3 foram atribuídos às restantes classes sendo que o valor 3 atribuído às classes com declives moderados;
- ❖ a reclassificação do tema de orientação das encostas foi feita com base no pressuposto de que a direção dos ventos não deve propiciar o transporte de poeiras e/ou odores aos núcleos habitacionais. Deste modo, levando em conta a predominância dos ventos na direção noroeste-sudoeste, às classes correspondentes a orientação na direção dos ventos foram atribuídas valores mais baixos (valor 1) e os valores 2 e 3 foram atribuídos às restantes classes

sendo que o valor 3 atribuído às classes mais afastadas da direção de predominância dos ventos;

- ❖ o tema de permeabilidade foi reclassificado considerando o valor mais elevado (valor 3) para classes onde a permeabilidade é baixa, o valor 2 para classes onde a permeabilidade é intermédia e valor 1 para classes onde a permeabilidade é elevada, baseando na lógica de que os locais onde o solo é muito permeável não apresenta condições para a instalação do aterro precavendo, desta forma, uma possível contaminação dos aquíferos pelo líquido tóxico que resulta da degradação do lixo;
- ❖ os temas das distâncias das ribeiras, dos poços, da orla marítima e das áreas protegidas foram reclassificados considerando valores mais baixos para as classes de distâncias menores e valores mais elevados às classes de maiores distâncias, pois, a proximidade do aterro em relação aos poços levantaria a questão da possibilidade de contaminação da água; em relação às ribeiras, o lixo poderia ser transportado pela corrente de água; em relação à proximidade do mar, colocaria a questão da poluição da água do mar; em relação à proximidade das áreas protegidas, a presença do aterro poderia provocar alteração no ecossistema local devido à presença constante de pessoas máquinas e o ruído que provocam e, além disso, põe-se, igualmente, a questão do impacto visual e os maus odores;
- ❖ na reclassificação dos temas de distância em relação aos centros populacionais foram criados três classes sendo que as classes de distâncias muito próximas das populações foram atribuídos valores mais baixos da escala - valor 1, valor 2 para distâncias intermédias e valor 3 para grandes distâncias. A razão disso, deve-se ao facto de que, se por um lado, seria muito incômodo ter um aterro perto das populações por causa do barulho das operações que se realizam diariamente no aterro, os maus odores, o impacto sobre a paisagem, entre outras razões, por outro lado, um aterro instalado muito longe das populações teria um impacto económico muito grande, pois, o custo do transporte de lixo seria elevado. O mesmo princípio da economia de transporte dos resíduos e a facilidade de acesso foi aplicado para a reclassificação das classes em relação à distâncias das

estradas, ou seja, foi atribuído valor 2 para a classe de distância muito próxima das estradas, valor 1 para classe de grande distância das estradas e valor 3 para classe de distância intermédia;

- ❖ em relação à distância do aeroporto, os aterros não devem situar-se a menos de 10.000 metros dos aeroportos ou aeródromos (Gomes, et al., 2010) nem estar na rota de pouso e decolagem das aeronaves. A razão para isso tem a ver com a movimentação das aves em direção ao aterro em busca de alimento o que poderá por em perigo o processo de decolagem e aterragem dos aviões. Sendo assim, quanto maior a distância em relação ao aeroporto melhor a localização do aterro. Entretanto, atendendo à pequena dimensão da superfície da ilha de Santiago, a distância mínima de 10.000 metros teve que ser alterado;
- ❖ a reclassificação do tema de ocupação do solo foi feita tendo em conta as diferentes ocupações. As áreas preferenciais para instalação do aterro sanitário são aquelas cujo solo se encontra vago de modo que a aquisição do solo não represente um custo demasiado elevado para o projecto. Nessa perspectiva, à essas classes de solo foi atribuído valor máximo (valor 3) na escala de reclassificação. As classes como ocupações urbanas, zonas de agricultura de regadio, florestas, foram atribuídas valores entre 1 e 2. Algumas classes de solo localizado em zonas que não apresentam o perfil mínimo para instalação do aterro e solos contendo determinadas infraestruturas que pela sua natureza não permite instalação do aterro sanitário, foram restringidas.

A tabela 15 apresenta os valores atribuídos às classes dos temas (critérios) reclassificados.

Critério (<i>input raster</i>)	Classes	Valores de Reclassificação	Critério (<i>input raster</i>)	Classes	Valores de Reclassificação
Declive	[0° - 2°]	1	Distância da Malha Urbana	[0 m – 500 m]	<i>Restricted</i>
	]2° -20°]	3		]500 m – 2000 m]	2
	]20° - 30°]	2		]2000 m – 5000 m]	3
	]30° - 45°]	1		]5000 m – 10000 m]	2
	> 45°	<i>No Data</i>		> 10000 m	1
Exposição de Vertentes	[- 1° - 22,5°]	2	Distância da Cidade da Praia	[0 m – 3000 m]	<i>Restricted</i>
	]22,5° - 67,5°]	1		]3000 m – 6000 m]	3
	]67,5° - 90°]	2		]6000 m – 12000 m]	3
	]90° - 112,5°]	3		]12000 m – 20000 m]	2
	]112,5° - 135°]	3		> 20000 m	1
	]135° - 180°]	3	Ocupação do Solo	Agricultura de Regadio	<i>Restricted</i>
	]180° – 202,5°]	2		Agricultura de Sequeiro	2
	]247,5° – 270°]	1		Grandes Equipamentos	<i>Restricted</i>
	]270° – 315°]	2		Núcleo Rural	2
	]315° – 337,5°]	3		Núcleo Urbano	1
> 337,5°	3	Floresta	<i>Restricted</i>		
Permeabilidade	Unidade de Base	3	Áreas Incultas	<i>Restricted</i>	
	Unidade Recente	<i>Restricted</i>	ZDTI	<i>Restricted</i>	
	Unidade intermédia	2	Áreas de pastagens	3	
Distância das Ribeiras	[0 m – 200 m]	1	Distância da Orla Marítima	[0 m – 80 m]	1
	]200 m – 500 m]	1		]80 m – 200 m]	2
	]500 m – 2000 m]	2		]200 m – 2000 m]	3
	]2000 m – 5000 m]	3		]2000 m – 8000 m]	3
	> 5000 m	3		> 8000 m	3
Distância da Rede Viária	[0 m – 500 m]	1	Distância dos Poços	[0 m – 200 m]	1
	]500 m – 1000 m]	3		]200 m – 500 m]	1
	]1000 m – 2000 m]	2		]500 m – 1000 m]	2
	]2000 m – 5000 m]	1		]1000 m – 5000 m]	3
	> 5000 m	<i>No Data</i>		> 5000 m	3
Distância do Aeroporto	[0 m – 3000 m]	1	Distância das Áreas Protegidas	[0 m – 200 m]	1
	]3000 m – 6000 m]	1		]200 m – 500 m]	1
	]6000 m – 12000 m]	2		]500 m – 1000 m]	2
	]12000 m – 20000 m]	3		]1000 m – 3000 m]	3
	> 20000 m	3		> 3000 m	3

Tabela 15 – valores atribuídos na reclassificação dos critérios. Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

A ponderação e atribuição dos valores da reclassificação dos critérios a partir da rotina *weighted overlay* executada em *model builder* (ver diagrama da figura 24), possibilitou a obtenção da carta de aptidão para instalação do aterro sanitário na ilha de Santiago. De acordo com a tabela do anexo C pode-se concluir que a carta da figura 25 reflete as diferentes contribuições de cada critério de acordo com a sua importância relativa em relação aos restantes.



Figura 214 – Diagrama de *model builder* ilustrando parte da modelação cartográfica executada. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

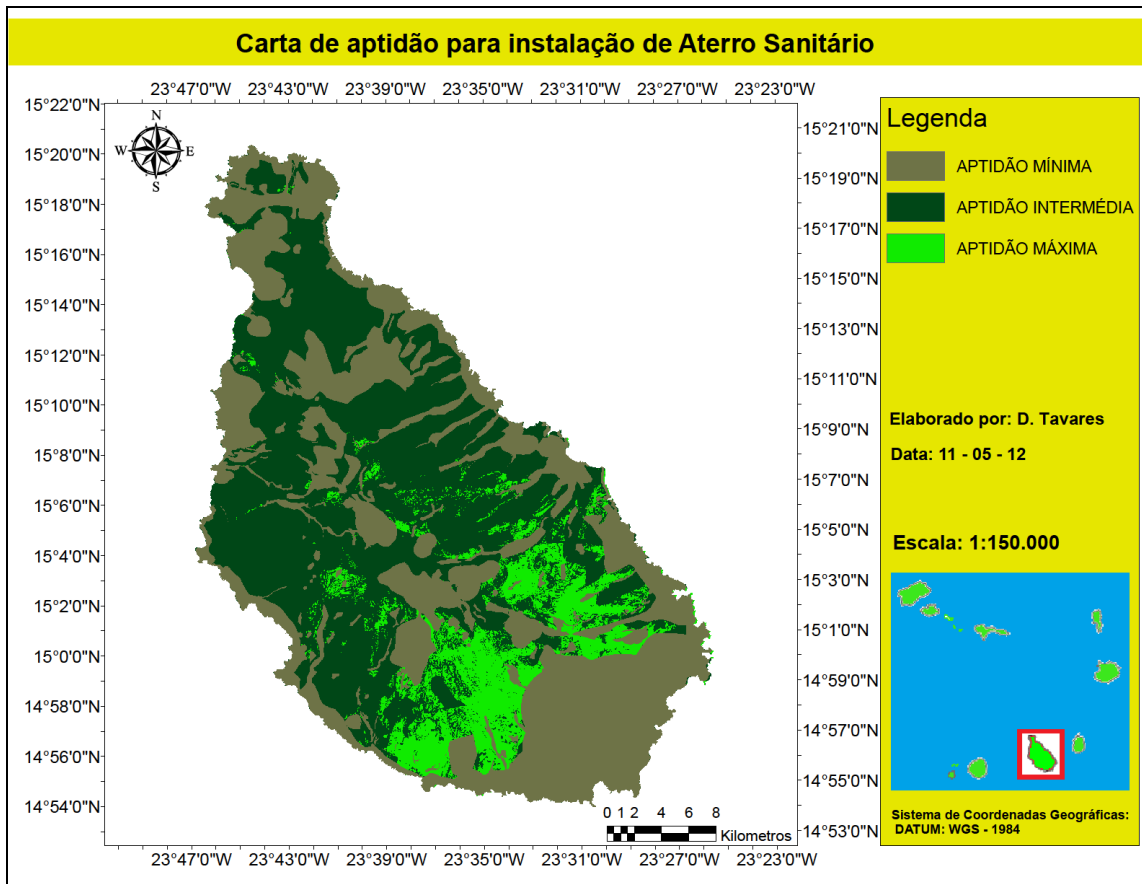


Figura 25 – Carta de aptidão para instalação do aterro sanitário na ilha de Santiago em função da importância relativa dos critérios. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

A análise dessa carta de aptidão indica que, de um total de 991 km² (área total da ilha de Santiago), 41,68 % corresponde a área com aptidão mínima para instalação de aterro sanitário, 46,55 % corresponde a área com aptidão intermédia e 11,77 % o equivalente a 118,5 km², corresponde a área com aptidão máxima para instalação do aterro sanitário de acordo com o gráfico da figura 26.

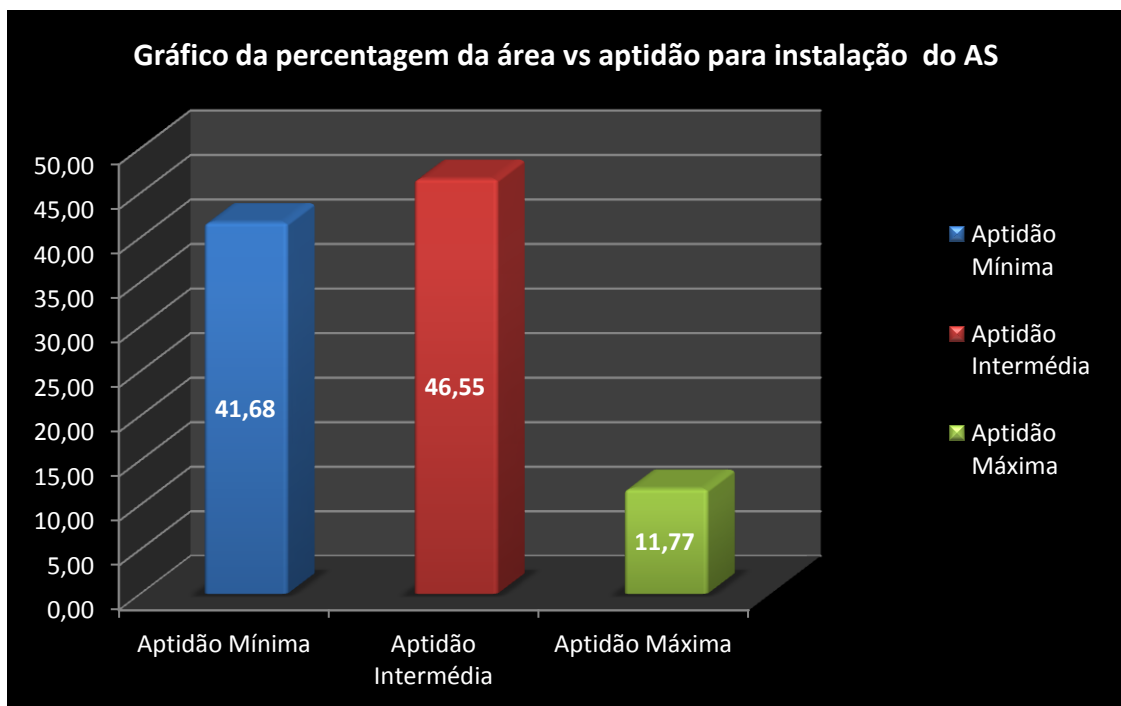


Figura 226 – Gráfico da percentagem da área da superfície da ilha de Santiago em função da aptidão para instalação do aterro sanitário. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

Para instalação do aterro sanitário foram consideradas apenas superfícies com aptidão máxima. Acontece, porém, que nem todas as áreas com aptidão máxima podiam ser utilizadas na instalação do aterro, pois, o resultado do dimensionamento aponta para superfícies com área mínima igual a 30,9 hectares (ver tabela 4 e 5). Sendo assim foi necessário fazer uma seleção da superfície a partir da realização de um *query* por área após conversão do tema *raster*, da carta de aptidão, em formato *vectorial*. Procedendo desta forma, foi possível excluir da análise superfícies com área inferior a 30,9 hectares e ter uma noção mais precisa dos potenciais locais com apetência para instalação do aterro sanitário em função da localização e da dimensão da área de superfície disponível.

Na derradeira etapa da modelação foi necessário escolher, de entre as várias superfícies residuais, aquela que representa menor custo em termos de transporte dos resíduos, ou seja, foi necessário determinar o *caminho mais curto*, ou seja, o percurso que associa o conceito de *distância de custo* e *direção de custo*, superfícies geradas através de um *raster de superfície de custo*.

Na determinação da *distância de custo*, a função de distância de custo produz um *output raster*, usando o *raster de superfície de custo* e a fonte, no qual, a cada célula é atribuído um valor que representa o menor custo acumulado de regresso à fonte (ESRI). Neste caso concreto, a fonte considerada são as várias superfícies de máxima aptidão do *layer vectorial* (figura 27).

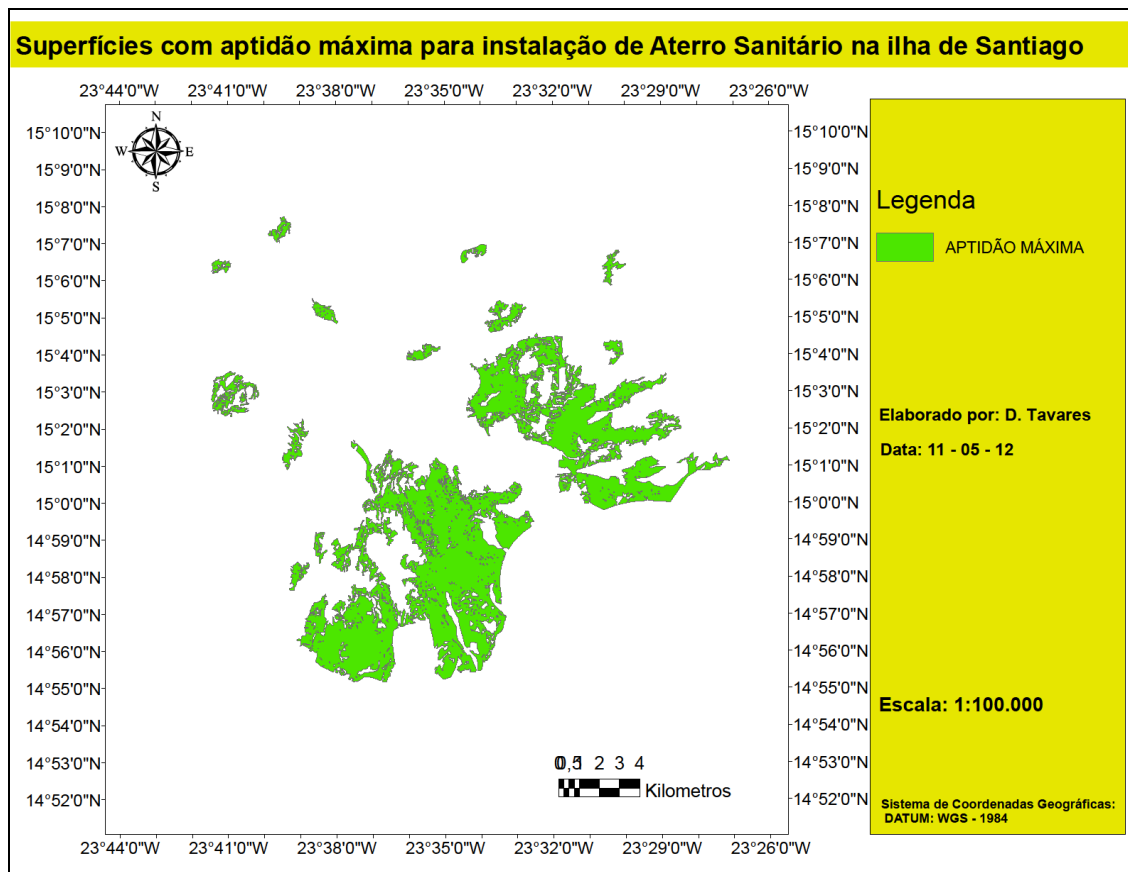


Figura 27 – Superfícies com aptidão máxima para instalação de aterro sanitário. Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

A função de distância de custo calcula, a partir do *raster de superfície de custo*, um valor para cada célula do *raster de output* que representa o menor custo acumulado obtido a partir dessa célula para a fonte mais próxima. O valor atribuído ao *raster de output* representa a soma dos custos mínimos de viagem envolvidos para viajar de volta, à fonte mais próxima, ao longo do caminho de menor custo. A figura 28 ilustra a *superfície de distância de custo*.

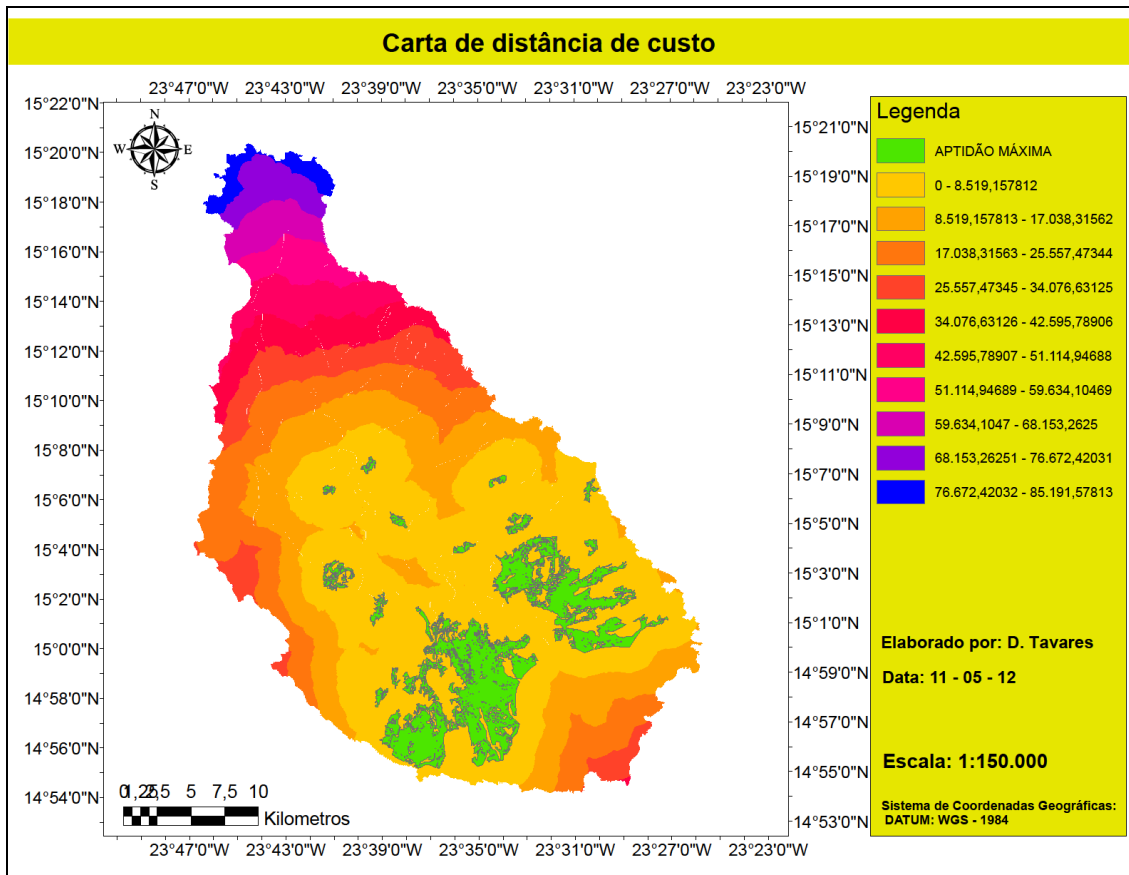


Figura 23 – Superfície de distância de custo. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

A *direção de custo* permite criar um mapa de rotas identificando o caminho a seguir a partir de qualquer célula, ao longo do caminho de menor custo, de volta à fonte mais próxima (ESRI). O algoritmo para o cálculo do *raster* de direção atribui um código para cada célula que identifica qual a célula vizinha que se encontra no caminho de menor custo de volta para a fonte mais próxima (figura 29).

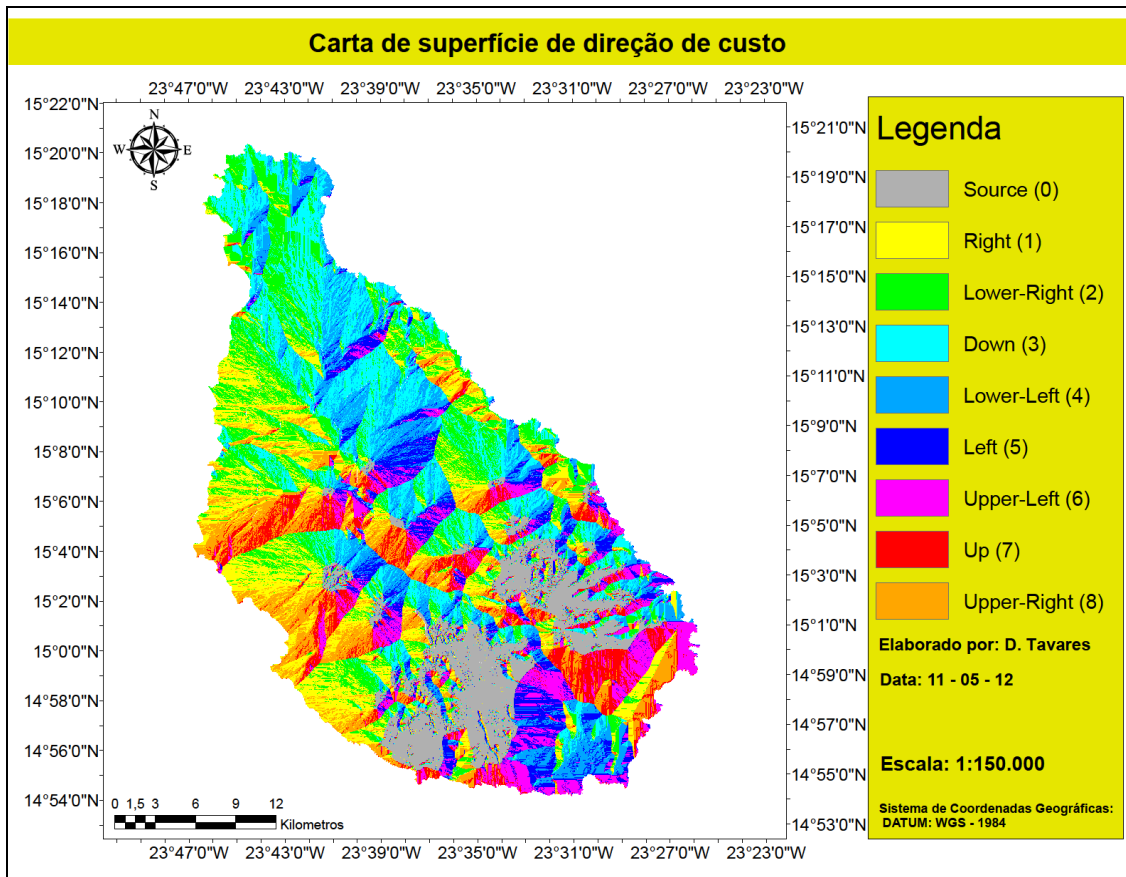


Figura 249 - Superfície de direção de custo. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

Como já se referiu anteriormente, as superfícies de distância e direção de custo foram geradas a partir de um *raster de superfície de custo*. Esse *raster* identifica o custo da viagem através de cada célula. Para criar esse *raster*, precisa-se identificar o custo da construção de uma estrada através de cada célula. Isso pressupõe identificar critérios que têm influência direta no custo de construção de uma estrada, no caso, os critérios ocupação de solo e declive. O critério declive, normalmente exerce uma influência maior na determinação da superfície de custo, pois, a maior dificuldade que normalmente se encontra na construção das estradas é quando a superfície tem um declive muito acentuado. Sendo assim optou-se por atribuir um peso de 70% ao critério declive e um peso de 30 % ao critério ocupação de solo na determinação da superfície de custo. Tendo em conta que o conjunto de dados do declive e ocupação de solo têm diferentes sistemas de medida (tipo de ocupação e percentagem de declive), foi necessário adotar uma escala única, com valores que variam de 1 a 10, para ambos (ESRI). A atribuição dessa escala única foi feita a partir da reclassificação tanto do tema

do critério declive como do tema do critério ocupação de solo de tal forma que os valores mais baixos foram atribuídos às classes que representam baixos custos e os valores altos representam custos elevados na construção de uma estrada conforme o resultado da tabela 16.

Critério	Peso	Classes	Escala de Valores
Tipo ocupação de solo	30 %	Agricultura de regadio	7
		Agricultura de sequeiro	5
		Espécie lenhosa ocupação > 50%	4
		Espécie lenhosa ocupação < 50%	4
		Grandes Equipamentos	8
		Núcleo rural concentrado	8
		Núcleo rural disperso	6
		Núcleo semiurbano	9
		Núcleo Urbano	10
		Ocupação floresta	8
		Praias	8
		Áreas Incultas	10
		Áreas das ZDTI's	8
		Áreas de pastagens densidade <30%	2
Áreas de pastagens densidade > 30%	3		
Declive (em graus)	70 %	0 - 8,78	1
		8,78 - 17,57	2
		17,57 - 26,35	3
		26,35 - 35,141278	4
		35,141278 - 43,93	5
		43,93 - 52,71	6
		52,71 - 61,49	7
		61,49 - 70,28	8
		70,28 - 79,07	9
		79,07 - 87,85	10

Tabela 16 – Escala de valores utilizados na reclassificação dos atributos dos critérios ocupação de solo e declive e os respetivos pesos utilizados na determinação da superfície de custo. Fonte: Elaborado pelo autor

De seguida procedeu-se à realização da soma ponderada utilizando os critérios reclassificados e determinou-se, desta forma, a superfície de custo ilustrada na figura 30.

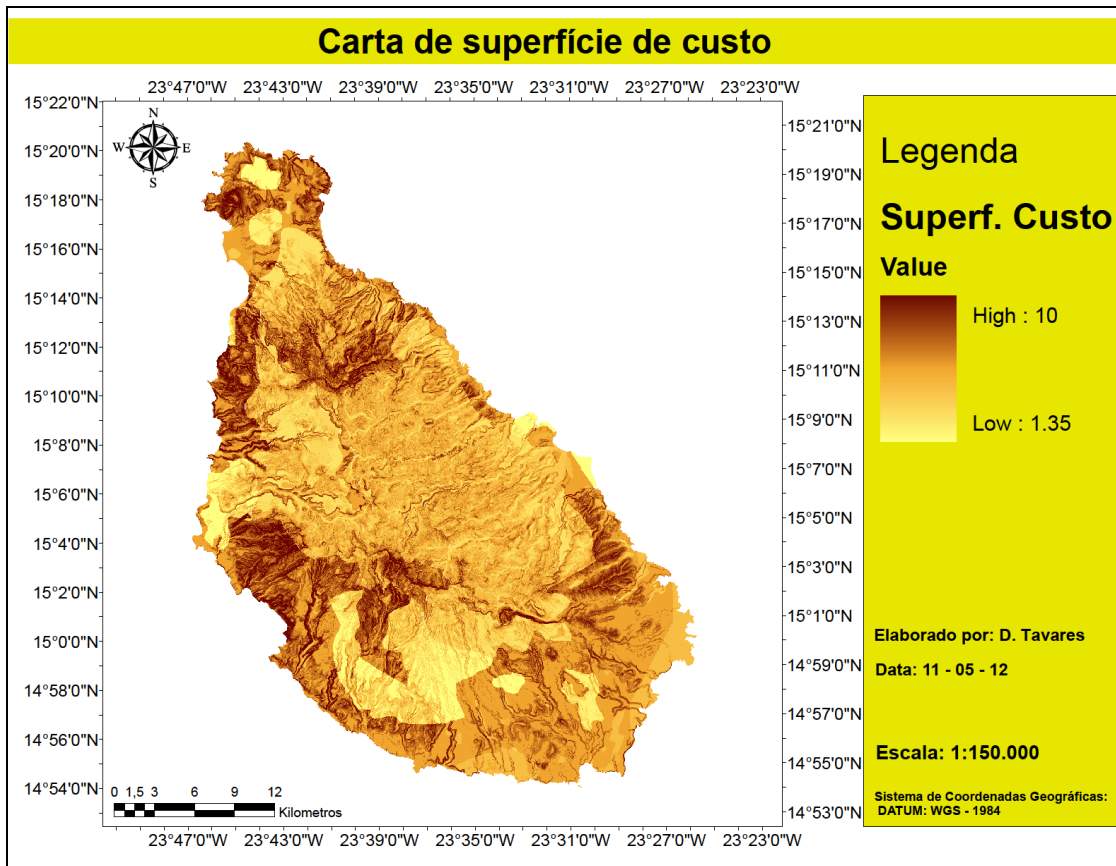


Figura 25 – Carta da superfície de custo. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

O resultado da determinação do caminho mais curto (figura 31), a partir do centro da Cidade da Praia, aponta para uma área que se localiza a sudoeste da ilha e a cerca de 5 quilómetros a noroeste da cidade da praia ocupando uma área total aproximada de 4000 hectares o que corresponde a 34% do total da área disponível para a instalação do aterro sanitário de acordo com o gráfico da figura 32.

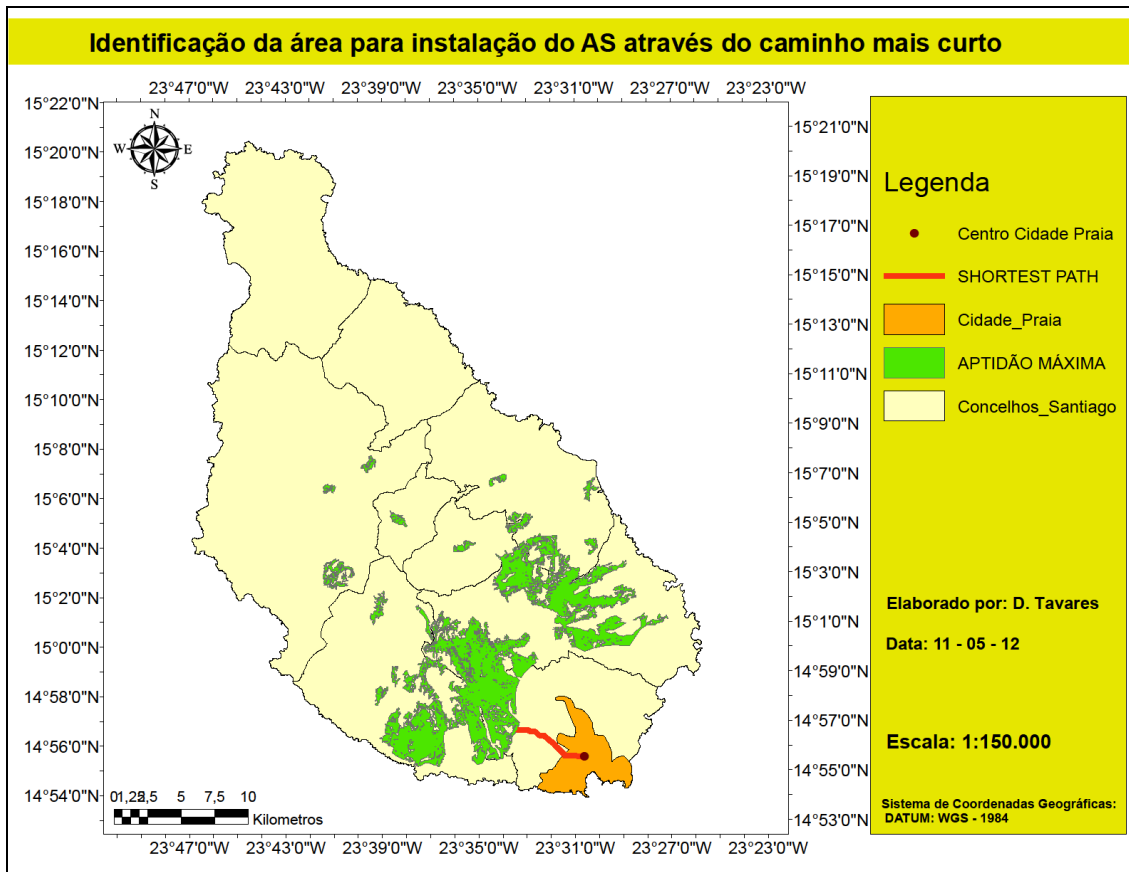


Figura 261 – Identificação da área para instalação do AS através da determinação do caminho mais curto do centro da Cidade da Praia às superfícies de aptidão máxima. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

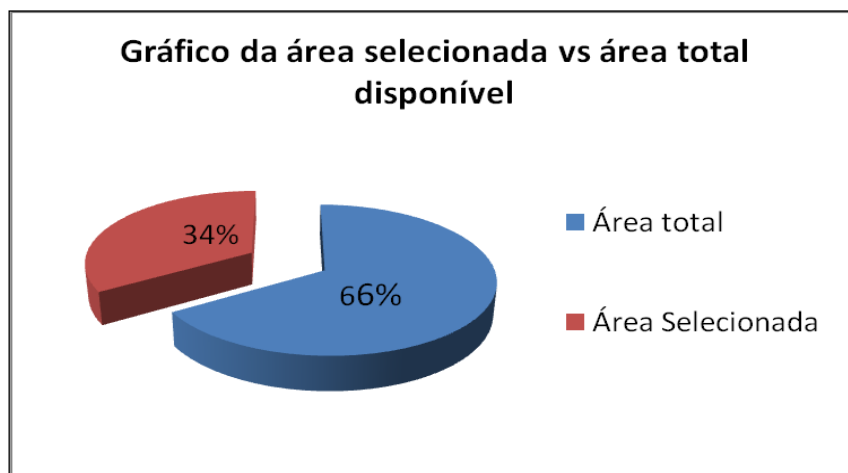


Figura 272 – Gráfico da percentagem da área seleccionada do total da área disponível para a instalação do aterro sanitário. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

Do resultado da modelação cartográfica pode-se ver que a superfície seleccionada obedecendo aos critérios previamente definidos e representando um custo mínimo em termos de transporte dos resíduos, localiza-se entre três concelhos: concelho da Ribeira Grande, concelho da Praia e concelho de São Domingos (figura 33).

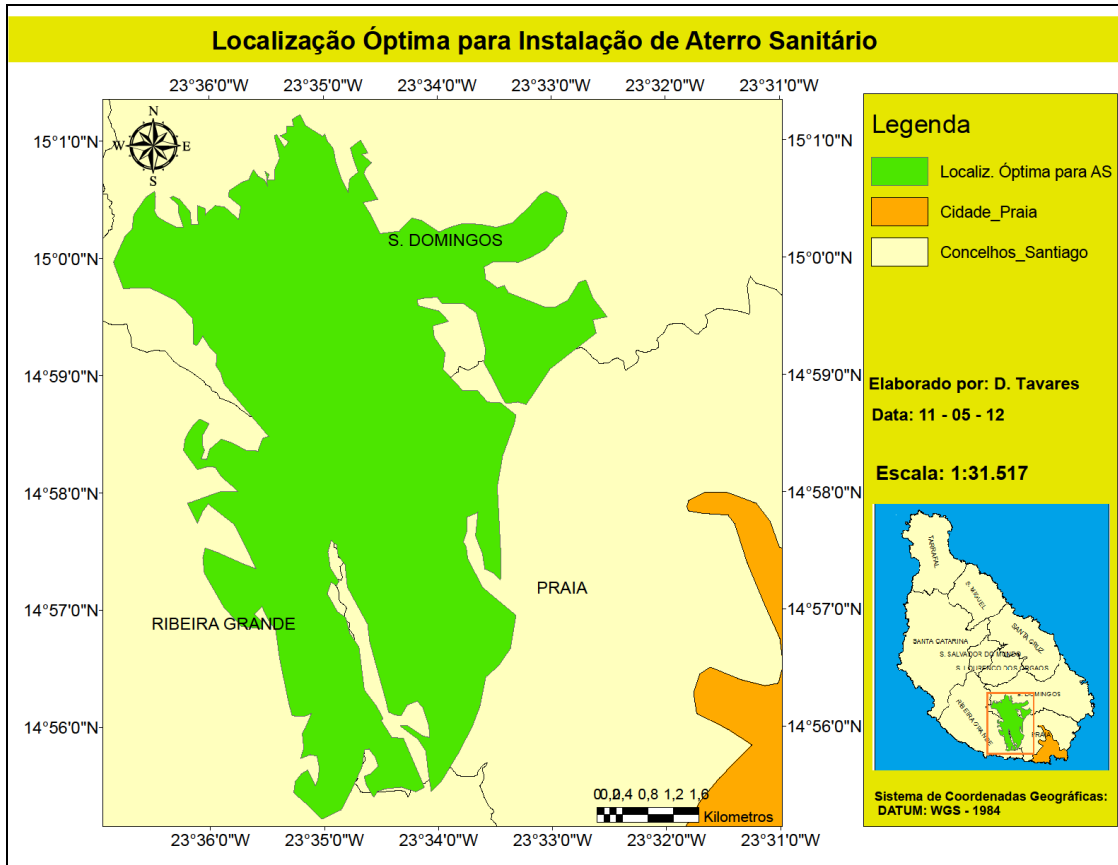


Figura 283 – Localização da superfície de aptidão máxima seleccionada para instalação do aterro sanitário na ilha de Santiago entre os concelhos da Ribeira Grande, Praia e São Domingos. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

6 Análise dos resultados

Neste capítulo pretende-se confrontar o resultado obtido com os vários fatores levados em conta na modelação cartográfica, ou seja, pretende-se verificar que não há contradição entre o resultado obtido e as condições previamente impostas para a localização ótima do aterro sanitário e/ou tentar encontrar uma justificação plausível caso houver alguma contradição, algo que se possa verificar durante a fase de análise e que tem, eventualmente, origem em algumas imprecisões cometidas quando da modelação, qualidade de dados utilização na modelação, fiabilidade de dados, inexistência de alguns dados considerados imprescindíveis na modelação, entre outras.

6.1 Localização do aterro sanitário em relação à distância da malha urbana e Cidade da Praia.

Para viabilizar a localização do aterro sanitário em relação à distância da malha urbana e da Cidade da Praia, foi efetuada uma análise espacial através da realização de um *multiple ring buffer* atendendo às condições inicialmente impostas, ou seja, distância mínima, malha urbana – aterro de 500 metros e a distância mínima, Cidade da Praia – aterro de 3000 metros. Como se pode constatar no mapa da figura 34, essas distâncias foram respeitadas o que permite concluir que o modelo criado para localização do aterro sanitário é válido, pelo menos no que tange à distância em relação às áreas urbanas.

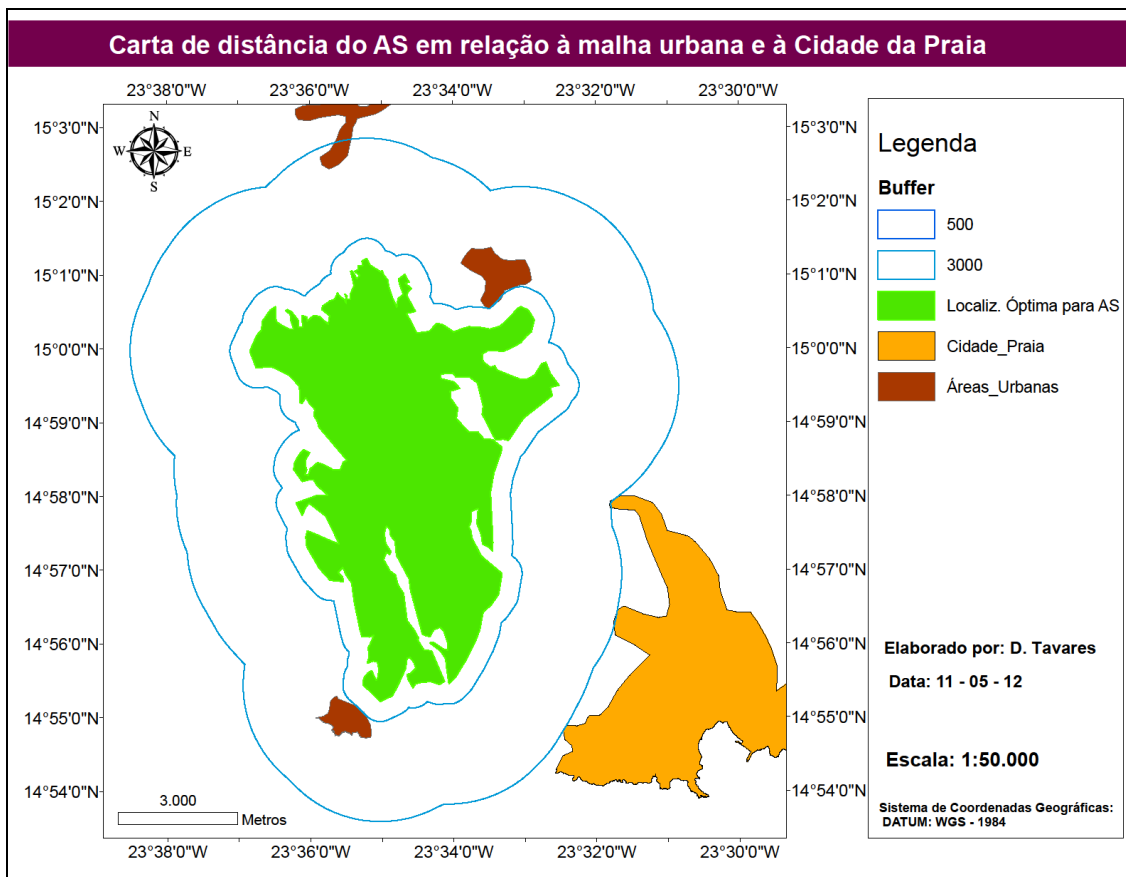


Figura 294 - Localização do aterro sanitário em relação à malha urbana e Cidade da Praia. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

6.2 Localização do aterro sanitário em relação à proximidade do aeroporto.

As áreas de localização do aterro sanitário não devem situar a menos de 10.000 metros dos aeroportos ou aeródromos (Gomes, et al., 2010) nem estar na rota de pouso e descolagem das aeronaves. A razão para tal é que os resíduos sólidos depositados em aterros sanitários constituem uma rica fonte de alimentos para diversos animais. No caso particular das aves, elas podem alimentar-se não só dos materiais depositados, mas também de eventuais insetos que possam ser esporadicamente atraídos, trazendo perigo aos aviões, pois pode causar acidentes aéreos. Para analisar e verificar essa condição, foi realizado um *buffer* em torno do aeroporto. Pode-se verificar, a partir do mapa da figura 35, que o local para instalação do aterro sanitário encontra-se a uma distância de 7500 metro do aeroporto. Essa distância embora não sendo a recomendada por Gomes (Gomes, et al., 2010), é uma distância aceitável tendo em conta a dimensão da ilha de Santiago.

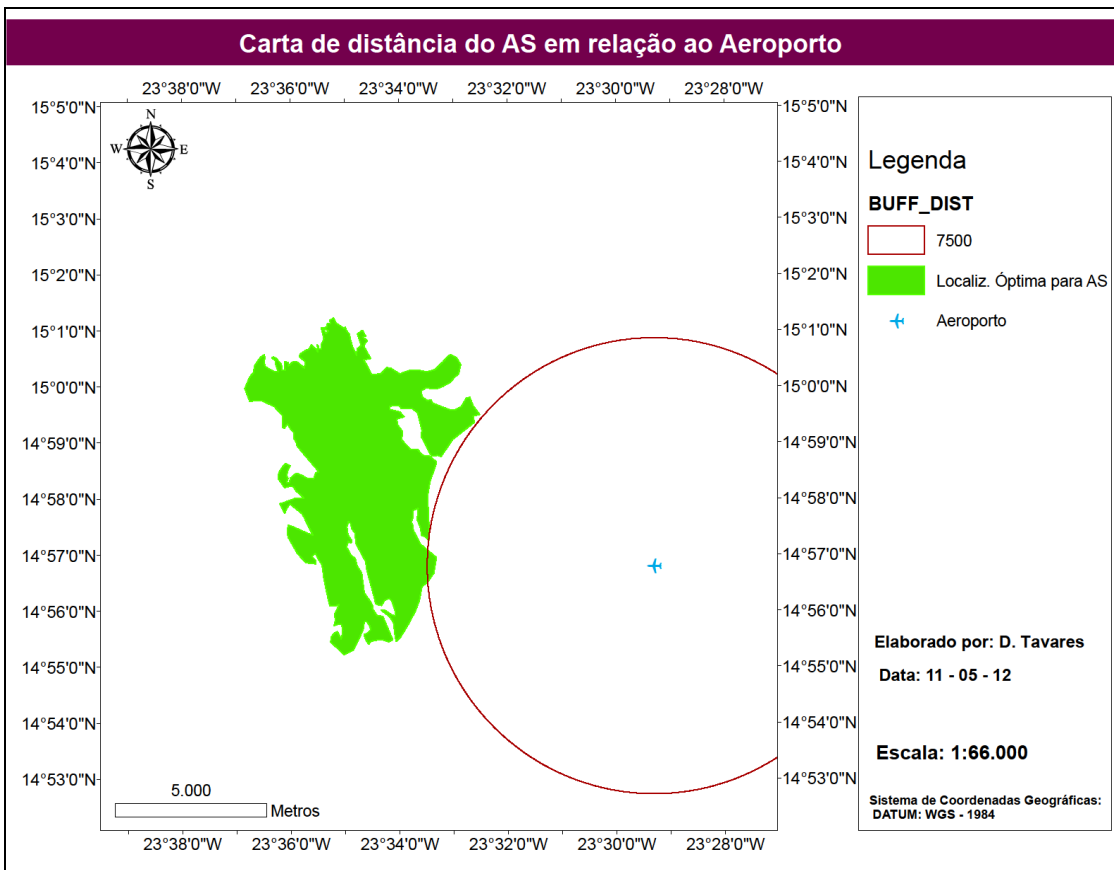


Figura 305 - Localização do aterro sanitário em relação à distância do aeroporto. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

6.3 Localização do aterro sanitário em relação à proximidade dos poços e das ribeiras.

Em relação à distância para instalação do aterro sanitário, estabeleceu-se uma distância mínima de 500 metros. Respeitando essa distância, consegue-se prevenir o risco da contaminação da água dos poços e, igualmente, consegue-se prevenir o risco do aterro sofrer destruição e conseqüentemente arrastamento dos resíduos pela água das cheias que corre pelas ribeiras durante a época das chuvas. O *buffer* de 500 metros realizado em torno da área selecionada para instalação do aterro sanitário (figura 36) comprova que, efetivamente, não existem poços dentro dessa área nem ribeiras que a atravessam.

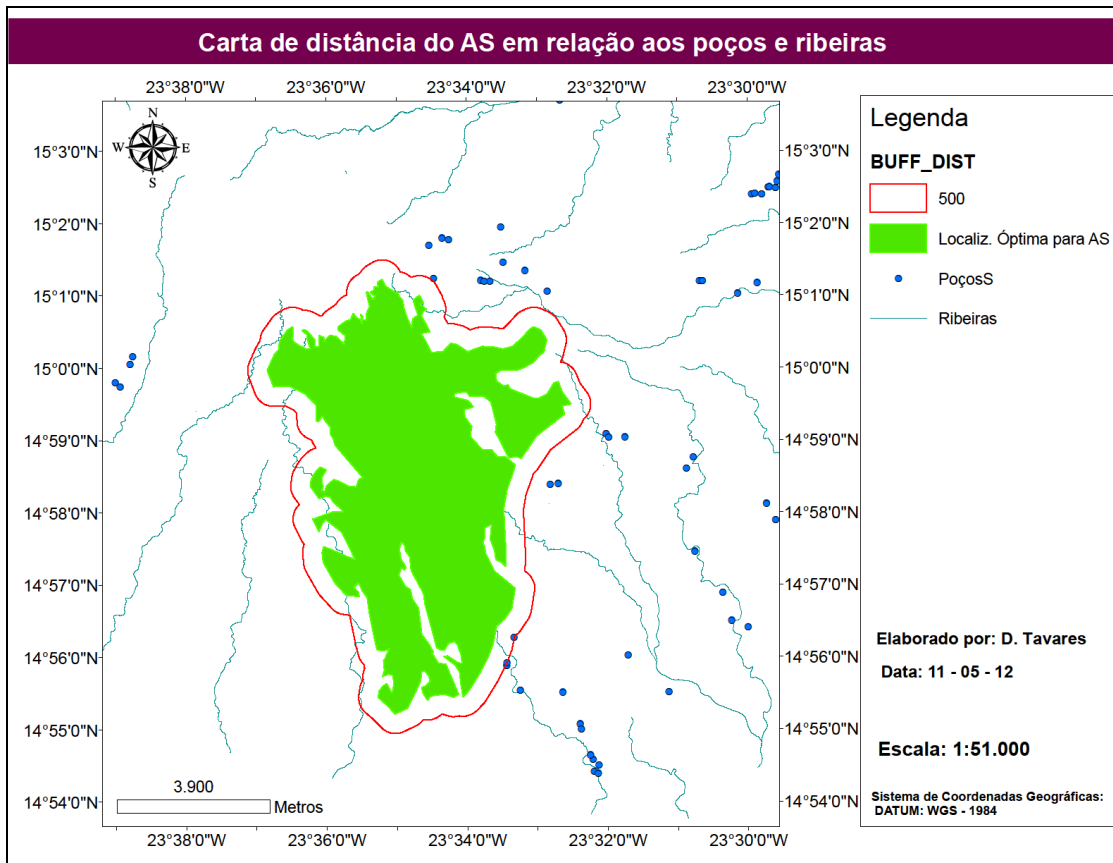


Figura 316 - Localização do aterro sanitário em relação aos corpos de água. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

6.4 Localização do aterro sanitário em relação à permeabilidade do solo.

De acordo com o mapa da figura 37 vê-se que a localização do aterro dá-se numa superfície de permeabilidade média que, neste caso concreto, entenda-se como sendo uma superfície que embora não sendo a ideal para instalação do aterro, ainda assim oferece algumas condições para o efeito. Entretanto, recomenda-se a implantação de um sistema de impermeabilização da base do aterro (conforme demonstrado na figura 12) composto de sistema de drenagem superficial, camada de solo compactado, mantas de PEAD (Polietileno de Alta Densidade), camada impermeabilizante de argila e drenagem de chorume a fim de garantir a não contaminação do lençol freático, pois, não foi possível utilizar o tema de profundidade de lençol freático na modelação o que poderia fornecer pistas em relação à existência ou não de risco de contaminação da água no subsolo pelo líquido derivado da decomposição orgânica dos resíduos.

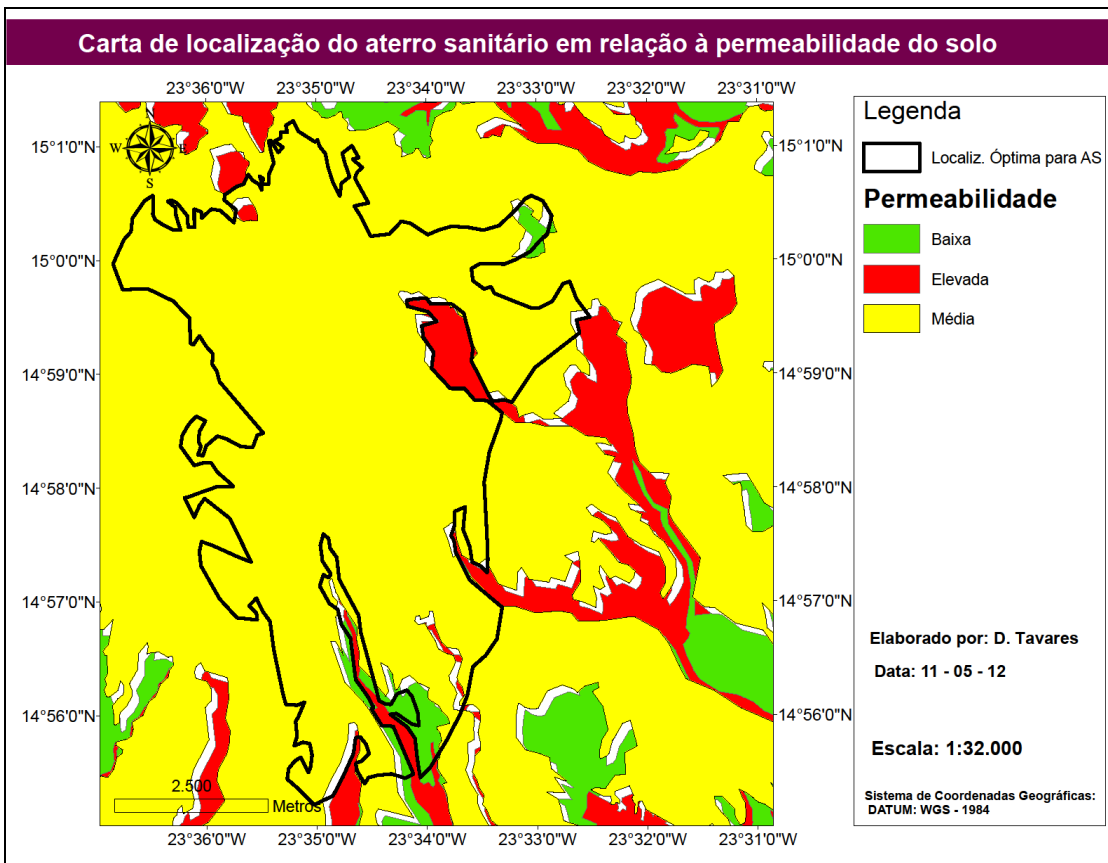


Figura 327 - Localização do aterro sanitário em relação à permeabilidade do solo. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

6.5 Localização do aterro sanitário em relação à ocupação do solo.

Em relação à ocupação do solo para instalação do aterro sanitário, o fator a ter em conta é, sobretudo, o económico. Ou seja, a aquisição do solo para instalação do aterro não deverá representar um custo muito elevado, pois, caso contrário todo o projeto poderá fracassar por ter um custo inabarcável. Desde logo, o terreno preferencial para instalação do aterro sanitário deve ser vago e não reservada para instalações de infraestruturas que não coabitem com o aterro. Analisando o mapa da figura 38, pode-se constatar que a área selecionada para instalação do aterro sanitário composta por áreas de agricultura de sequeiro e pastagens. Levando em conta que na ilha de Santiago essas duas atividades (pastagem e agricultura de sequeiro) têm pouca expressão, pode-se concluir que esses terrenos são, de custo, relativamente modestos.

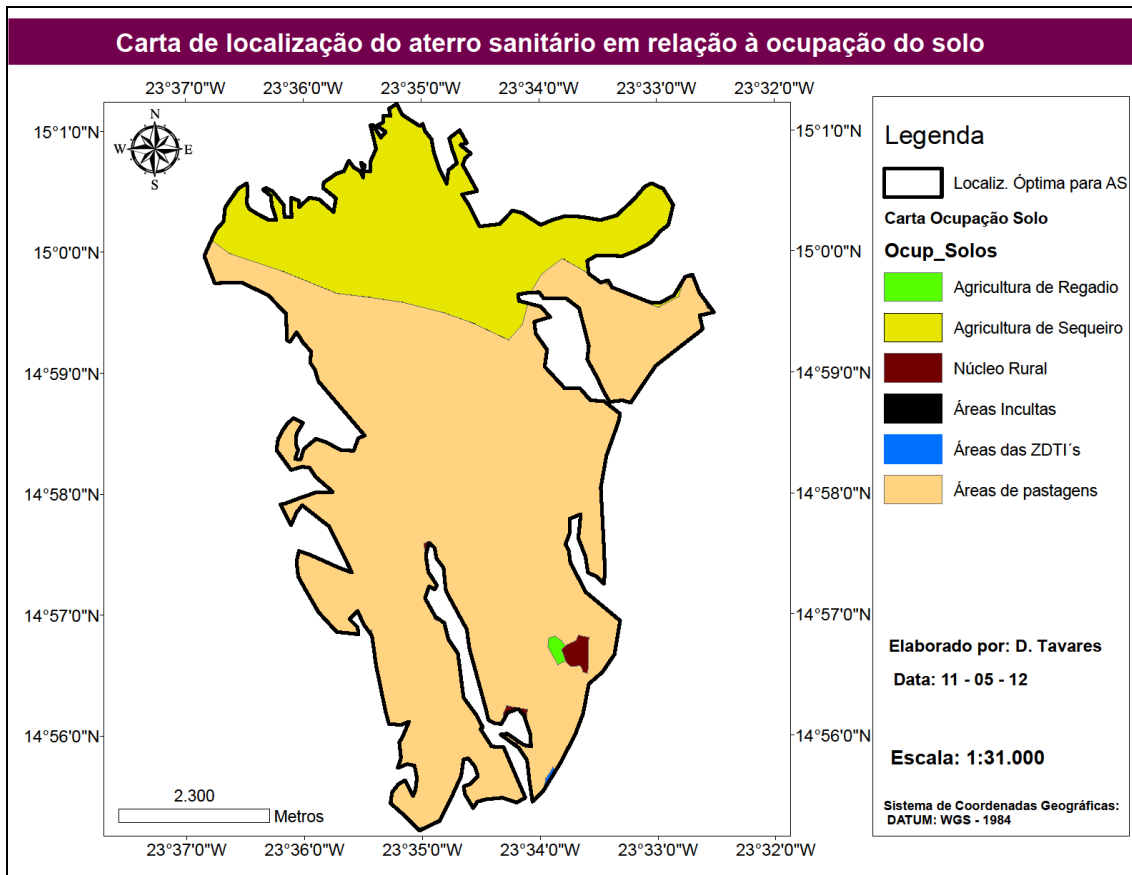


Figura 338 - Localização do aterro sanitário em relação à ocupação do solo. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

6.6 Acessibilidade ao local selecionado para instalação do aterro sanitário

A análise da acessibilidade ao local selecionado para instalação do aterro sanitário foi possível graças à criação da carta de declive a partir da qual pode-se constatar que o local selecionado para a instalação do aterro sanitário situa-se numa superfície de declive baixo (0 a 22 graus aproximadamente) assim como a área circundante em direção à Cidade da Praia (figura 39). A acessibilidade está diretamente relacionada com a declividade da superfície, pois, a preocupação maior prende-se com a deslocação dos veículos pesados que transportam resíduos e que, por uma questão de segurança, devem movimentar-se em superfícies de declives baixos. No caso em estudo, pode-se ver que existem várias vias de acesso ao aterro quase todas situadas em terrenos pouco declivosos com destaque pelo trajeto indicado pelo *caminho mais curto* o que prova que o modelo desenvolvido, também, é válido em relação ao fator declive ao qual se associa a questão dos acessos.

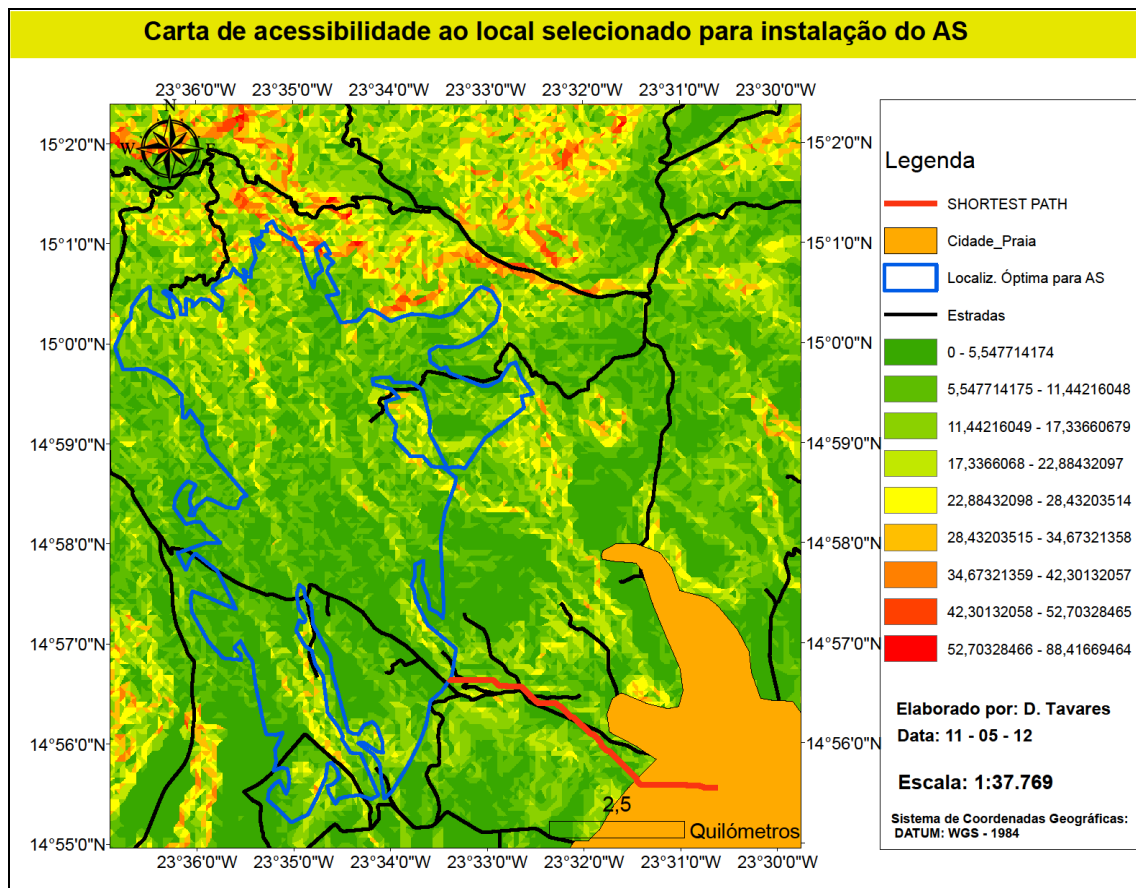


Figura 349 – Carta de acessibilidade ao local selecionado para instalação do aterro sanitário. Fonte: elaborado pelo autor (2012)

6.7 Exposição das encostas para o local selecionado para instalação do aterro sanitário

A carta da orientação das encostas do local selecionado para instalação do aterro sanitário (figura 40), comprova, em certa medida, a validade do modelo, pois, nessa localização praticamente não se encontram áreas cujas encostas estejam na direção do vento dominante na ilha de Santiago (ventos com direção nordeste-sudoeste). Deste modo, a população fica protegida dos maus odores bem como do lixo arrastado pelo vento o que poderia por em perigo a saúde pública.

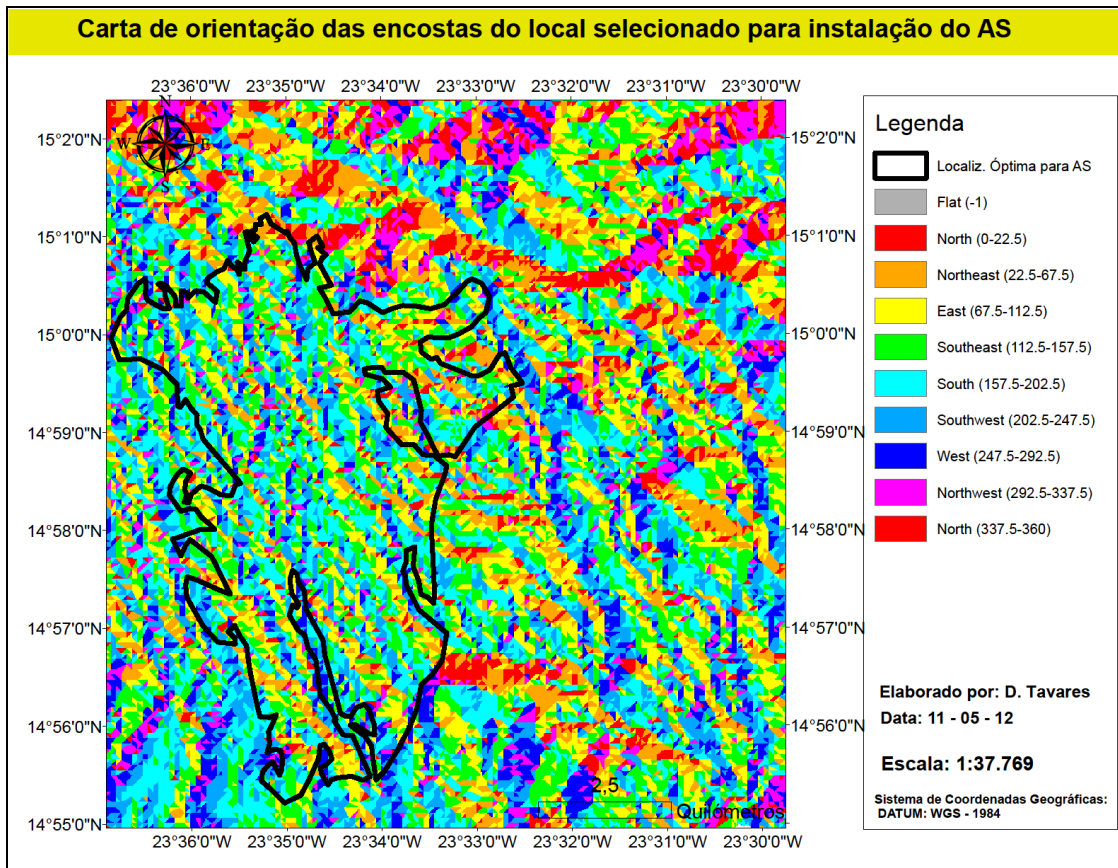


Figura 4035 – Carta de orientação das encostas do local seleccionado para instalação do aterro sanitário.
 Fonte: elaborado pelo autor (2012)

Conclusões e recomendações

De todas as Cidades de Cabo Verde, a Cidade da Praia é a que tem verificado um crescimento populacional bastante acentuado ao longo do tempo. Esse crescimento populacional aliado às mudanças dos hábitos de uma sociedade consumista influenciada pelo fenómeno da globalização, coloca-nos perante algumas questões que urge resolver, por um lado, à uma necessidade imperiosa de encontrar sítios para disposição dos resíduos que aumentam a cada dia que passa quanto o solo disponível torna-se cada vez mais escasso, por outro lado, a necessidade de preservar a saúde pública das populações e todo o ecossistema dando um destino final e seguro aos resíduos. A solução para essas questões passa, quase sempre, pela deposição final dos resíduos em aterros sanitários. A metodologia utilizada para levantamento dos critérios, ponderação dos factores e modelação cartográfica com base na álgebra de mapas, permitiu seleccionar áreas com perfil adequado à instalação do aterro sanitário sendo que, dos factores mais importantes, o factor, distância em relação à Cidade da Praia, o mais relevante seguido do factor distância em relação ao aeroporto ao qual segue o factor ocupação do solo e, de seguida, os factores permeabilidade natural, distância da malha urbana e distância dos poços com igual importância, seguidos pelos factores distância das ribeiras e declive por ordem decrescente de relevância. Como resultado da modelação cartográfica, numa primeira etapa, várias zonas foram identificadas com aptidão para instalação do aterro sanitário estando, maioritariamente localizadas a nordeste e noroeste da cidade da Praia num raio de, aproximadamente, 3 quilómetros. Numa segunda etapa da modelação foi necessário efetuar a seleção de superfícies com área igual ou superior a 30,9 hectares de acordo com a sugestão da análise dimensional e desse modo, foi possível encontrar 15 locais que cumprem esse requisito. Finalmente, foi preciso realizar a operação de determinação de caminho mais curto como forma de seleccionar, de entre as áreas residuais, a que representa menor custo no transporte dos resíduos. Desta operação foi possível identificar uma superfície situada a noroeste da Cidade da Praia e uma distância aproximada de três quilómetros ocupando uma área total de 4000 hectares e que cumpre, quase na totalidade, os requisitos técnicos e económicos. De salientar que para a realização desse trabalho encontramos algumas

limitações relacionadas com a obtenção de dados de cartografia local o que nos obrigou a recorrer à utilização de dados alternativos e à produção de alguns. Exemplificando um caso, não foi possível utilizar o tema de profundidade de lençol freático na modelação o que poderia fornecer pistas em relação à existência ou não de risco de contaminação da água no subsolo. De todo modo, essas limitações não põe em causa o resultado encontrado, pois, a análise posterior efetuada mostra que não à contradição em relação ao resultado esperado. Recomendamos, todavia, que para esse tipo de abordagens sejam utilizados dados bastante atualizados e provenientes de fontes credíveis e que se faça uso de uma gama diversificada de temas com reflexo direto na cartografia que se quer produzir e a formação de uma equipa multidisciplinar de especialistas com opiniões credíveis que possam ser levadas em conta na fase de análise como é o caso da determinação da importância relativa dos critérios na localização do aterro sanitário, aliás, essa foi mais uma limitação que encontrada na modelação devido à dificuldade em formar esses corpo de especialista que não abunda a nível local.

Bibliografia

Amaral, I. (1964). *Santiago de Cabo Verde: A Terra e os Homens*. Lisboa: Junta de Investigações do Ultramar.

Arruda, P. (2007). *SIG como ambiente de análise e avaliação da implementação do centro de tratamento de resíduos sólidos urbanos do município do rio de Janeiro*. Rio de Janeiro.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). *Resíduos Sólidos: Classificação*, NBR-10.004. 71. Rio de Janeiro, Brasil.

Bardini, R., Gentil, B. B., Oliveira, V. F., Antunes, D., Fernandes, E., & Heidemann, M. (2002). *Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos na Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e Complexo Lagunar*. 2 - 3.

Berry, J. K. (2004). *Bridging GIS and Map Analysis: Identifying and Utilizing Spatial Relationships*. *ASPRS* (pp. 1-9). Denver, Colorado: Berry & Associates. URL: <http://www.google.pt/search?sourceid=navclient&hl=pt-PT&ie=UTF-8&rlz=1T4RNRNpt-PTCV451CV451&q=Dana+Tomlin+1996> [Acesso em 09-06-12]

BRM (Director). (2011). *Landfill New Cell and Liner Instal* [Motion Picture]. Retrieved from <http://www.youtube.com/watch?v=WxtRvaUGCWo&feature=related>

Cancela, J. F. (Realizador). (2011). *A Lixeira da Cidade da Praia* [Vídeo]. Praia. Recuperado de <http://www.youtube.com/watch?v=5dFXbyWFyfo>

Censo 2010. (16 - 30 de Agosto de 2010). *IV Recenseamento Geral da População e Habitação*. Ilhas de Cabo Verde, Cabo Verde: INE.

Clarke, K. C. (nd). *Getting Started with Geographic Information Systems*. In K. C. Clarke, *Geographic Information Science* (pp. 1-56). Series Editor. URL: http://scholar.google.com/scholar?q=Star+and+Estes&as_epq=&as_oq=&as_eq=&as_occt=any&as_sauthors=&as_publication=&as_ylo=&as_yhi=&btnG=&hl=pt-PT&as_sdt=0 [Acesso em 08-06-12]

Coppock, J. T., & Rhind, D. W. (s.d.). The History of GIS. URL: http://scholar.google.com/scholar?as_q=Coppock%25Rhind&as_epq=&as_oq=&as_eq=&as_occt=any&assauthors=&as_publication=&as_ylo=&as_yhi=&btnG=&hl=pt-PT &as_s_dt=0
[Acesso em 07-06-12]

Costa, C. N., Allen, A., Brito, M. G., Caetano, P. S., Cummins, V., Donnelly, j., et al. (2003). Modelo SIG para selecção de locais para aterros de resíduos. *Finisterra*, 85-89. URL: http://www.ceg.ul.pt/finisterra/numeros/2003-75/75_05.pdf [Acesso em 30-07-11]

Cummins, V., O'Donnell, V., Allen, A., Donnelly, J., & Koukoulas, S. (1992). A New Approach to Landfill Site Selection in Ireland using GIS Technology. *United Nations Environment and Development Conference*, (pp. 1 - 20). Rio de Janeiro. URL: http://cmrc.ucc.ie/publications/conf_proceedings/Rio_Landfill.pdf [Acesso em 01-10-2010, 12:26h]

Decreto-Lei nº 31, de 1 de Setembro de 2003 (2003). Dispõe sobre a eliminação de resíduos sólidos urbanos, industriais e hospitalares em Cabo Verde. Praia.

Diagnóstico do Sector de Água e Saneamento em Cabo Verde (2007), Praia – Cabo Verde, INGRH, Ministério do Ambiente e Agricultura.

Eng, R. V. (Director). (2010). *Landfill Solid Waste Management in Vancouver's Delta Dump Site* [Motion Picture]. Vancouver. Retrieved from [http:// www. You tu be.com / watch?v=CdTx-26q3M8&feature=related](http://www.You tube.com /watch?v=CdTx-26q3M8&feature=related)

Farinha, A. M., & Barata, E. J. (1995). A gestão dos resíduos sólidos urbanos na região centro. *Comissão de Coordenação da Região Centro*, p. 61.

Gomes, A., Lebre, A., Rodrigues, A., Bonifácio, A., Soares, B., Varela, C., et al. (2010). *EROT - Esquema Regional de Ordenamento de Território*. Ilha de Santiago: Ministério da Descentralização, Habitação e Ordenamento de Território.

Goodchild, M. F. (nd). The State of GIS for Environmental Problem-Solving. URL: <http://www.geog.ucsb.edu/~good/papers/193.pdf> [Acesso em 04-06-12]

Hasan, M. R., Tetsuo, K., & Islam, S. A. (2009). Landfill demand and allocation for municipal solid waste disposal in Dhaka city - an assessment in a GIS environment. *Journal of Civil Engineering (IEB)*, 133-149.

INE. (2007). *Questionário Unificado de Indicadores Básicos de Bem-Estar*. Praia. Cabo Verde

Junior, G. N. (s.d.). Obtido de <http://www.engenhariaambiental.unir.br/admin/prof/arg/Res%20Solidos%20Aula%209.pdf>

Laureano, A. (2007). *Estudos Geofísicos no Aterro Sanitário de Cuiaba*. M.T.

Luz, A. P., Francés, A., Fernandes, J., & Dill, A. C. (2009). *Aplicação de um SIG na selecção de locais para implantação de aterros sanitários em áreas vulneráveis à contaminação de aquíferos*. URL:<http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/495/1/33624.pdf> [acesso em 23/05/11]

Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons, Inc. URL: http://books.google.pt/books?id=2Zd54x4_2Z8C&printsec=frontcover&hl=pt-PT&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false [acesso em 29-06-12]

Martinho, M. G., & Gonçalves, M. G. (2000). *Gestão de Resíduos*. Universidade Aberta.

Massunari, I. S. (2000). *Pesquisa e Seleção de Áreas para Aterro Sanitário*. 20.

Monteiro, J., Figueiredo, C. E., Magalhães, A. F., Melo, M. A., Brito, J. C., Almeida, T. P., et al. (2001). *Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: SEDU/PR.

Muñoz, S. I. S. (2002). *Impacto Ambiental na Área do Aterro Sanitário e Incinerador de Resíduos Sólidos de Ribeirão Preto, SP: Avaliação de Níveis de Metais Pesados*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil.

Neto, J. V. (2009). *Banco de Dados Georreferenciado para Aterros Sanitarios de Residuos Solidos Urbanos (AS- RSU) no Estado da Bahia*. Tese de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

Neves, N. S. (sd). Modelo de dados e funções de análise espacial. In *Modelos de dados Geoespaciais - Projecto SUGIK*.

Obladen, N. L., Obladen, N. T., & Barros, K. R. (2009). *Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos*. Paraná: CREA-PR.

Oliveira, A. C. (sd). *Responsabilidade Social e Monitoramento Ambiental*. Nova Iguaçu. URL: http://www.google.com/#hl=pt-PT&cp=17&gs_id=4&xhr=t&q=C+T+R+Nova+Igua%C3%A7u&pf=p&scient=psy-ab&site=&source=hp&rlz=1W1RNRN_pt-PTCV451&pbx=1&oq=C+T+R+Nova+Igua%C3%A7u&aq=f&aqi=&aql=&gs_sm=&gs_upl=&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.,cf.osb&fp=56afda6eabb8d313&biw=558&bih=275 [acesso em 30-01-12]

Painho, M. O. T. (2008). Definição do campo da Ciência da Informação Geográfica. In *Unidade de Aprendizagem 1 - Projeto - SUGIK* (p. 22).

PANA II. (2003). *Plano de Gestão de Recursos Hídricos*. Praia - Cabo Verde: Ministério do Ambiente, Agricultura e Pescas.

Pickles, J. (1995). Representations in an Electronic Age: Geography, GIS, and Democracy. In J. Pickles, *Ground Truth: The Social Implications of Geographic Information Systems* (pp. 1-30). New York: The Guilford Press. URL: http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=representation%20in%20an%20electronic%20age&source=web&cd=8&ved=0CIkBEBYwBw&url=http%3A%2F%2Fdu%2Fucgis%2Fweb%2Fforegon%2Fpjpgis.pdf&ei=MGXST_fLHMqmhAf6iPXXAw&usg=AFQjCNGU11CtYYR_KbMPgvO5dMDOWudutw [acesso em 08-06-12]

Presidente Prodentente – SP. *Revista Brasileira de Cartografia*, p. 43. URL: http://www.rbc.ufrj.br/_pdf_60_2008/60_01_5.pdf [acesso em 25/05/11]

Purificação, A., Aguiar, C. B., Almeida, C. B., Araújo, J. C., Silveira, L. R., Mello, M. S., et al. (sd). *Manual de Operação de Aterros Sanitários*. Estado da Bahia: SEPLANTEC. URL: <http://www.slideshare.net/sofiaapires/aterros-sanitrios> [acesso em 23/01/12]

Rossoni, C., & Meireles, M. (2011). *Decisão Multicritério: UMA ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS*. Brasil: SIMPOI.

Rumpke, Clean, & Green (Directors). (2010). *Landfill Operations* [Motion Picture]. Retrieved from <http://www.youtube.com/watch?v=0DG4MDFC5hk&feature=related>

Saaty, T. L. (1990). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Journal of Operational Research*. URL: http://scholar.google.com/scholar?asq=How+to+make+a+decision&num=10&tnG=Pesquisa+no+Google+Acad%C3%A9mico&as_epq=the+analytic+hierarchy+process&as_oq=&as_occt=any&as_sauthors=SAATY%2C+T.L.&as_publication=European+Journal+of+Operational+Research&as_ylo=1989&as_yhi=1991&hl=pt-PT [acesso em 07-09-11]

Saaty, T. L. (July de 1986). Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, pp. 1-16.

Samizava, T. M., Kaida, R. H., Imai, N. N., & Nunes, J. O. (2008). SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de Aterros Sanitários no Município de Presidente Prudente - SP

Santos, J. S., & Girardi, A. G. (2007, Abril 21 - 26). Utilização de geoprocessamento para localização de áreas para aterro sanitário no município de Alegrete-RS. *XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pp. 5491-5498.

Serralheiro, A. (1976). *A Geologia da Ilha de Santiago (Cabo Verde)*. Boletim do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa Vol. 14, Fasc. 2. Lisboa.

Soares, P. V., Pereira, S. Y., Simões, S. J., Bernardes, G. P., & Barbosa, S. A. (07-09 de Novembro de 2007). Mapa de Infiltração do Alto e Médio Vale do Paraíba do Sul com base em elementos da paisagem. *Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul*, pp. 83-90.

Solid –Waste Management. (2012) in *Encyclopædia Britannica*. Retrieved from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/553362/solid-waste-management>

Tomlin, C. D. (1990). *Geographic Information Systems and Cartographic Modelling*. New Jersey : Englewood Cliffs.

Tubtimthai, O. (2003). *Landfill Lysimeter Studies for Leachate Characterization and top Cover Methane Oxidation*. Tese de Mestrado, Asian Institute of Technology. School of Environment, Resources and Development, Thailand. URL: <http://www.faculty.Ait.Ac.th/visu/Data/AITThesis/Master%20Thesis%20final/Onanong%20pdf%2003.pdf> [acesso em 17/01/12]

Vilas Boas, C. L. (07 de Novembro de 2006). Modelo Multicritérios de Apoio à Decisão Aplicado ao Uso Múltiplo de Reservatórios. BRASÍLIA/DF, Brasil.

Visvanathan, C., Tränkler, J., Basnayake, B. F., Chiemchaisri, C., Joseph, K., & Gonming, Z. (s.d.). *Landfill Management in Asia - Notions about Future Approaches to Appropriate and Sustainable Solutions*. 3. URL: http://www.image.unipd.it/tetrawama/S2003/landfill_management_Asia.pdf [acesso em 17/01/12]

Wikipédia. (19 de Maio de 2008). Obtido de http://en.wikipedia.org/wiki/User:Mysid/vectors.:http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Topographic_map_of_Cape_Verde-en.svg

Wright, D. J., Goodchild, M. F., & Proctor, J. D. (5 de Novembro de 2004). Demystifying the Persistent Ambiguity of GIS as ‘Tool’ versus ‘Science’. *Annals of the Association of American Geographers*, pp. 346-362.

URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/0004-5608.872057/abstract> [acesso em 08/06/12]

ANEXOS

ANEXO A – Questionário realizado aos estudantes do 3º ano do Curso de Geografia e Ordenamento de Território da UNICV a cerca da importância relativa dos fatores na localização de um aterro sanitário na ilha de Santiago.

Questionário

Dirigido por: Domingos Tavares

Local/Data: UniCV/Maio-2012

Objectivo: Recolher informações a cerca da importância relativa dos fatores na instalação de um aterro sanitário na ilha de Santiago.

Obs. Este questionário tem fins meramente académicos.

Publico alvo: Estudantes do 3º ano do Curso de Licenciatura em Geografia e Ordenamento de Território da Universidade de Cabo Verde.

Preencha os quadrados em branco com os números de 2 a 9 por ordem crescente de importância ou de 1/2 a 1/9 por ordem decrescente de importância de um factor em relação ao outro na localização de um aterro sanitário na ilha de Santiago. Se achar que os dois factores têm igual importância, coloca o valor 1

Factor	Exposição de Vertentes	Ocupação de Solo	Permeabilidade	Distância dos Poços	Distância da Rede Viária	Distância das Ribeiras	Distância da Malha urbana	Distância do Aeroporto	Distância da Orla Marítima	Distância da Cidade da Praia	Distância das Áreas Protegidas
Declive da Ilha											

Factor	Ocupação de Solo	Permeabilidade	Distância dos Poços	Distância da Rede Viária	Distância das Ribeiras	Distância da Malha urbana	Distância do Aeroporto	Distância da Orla Marítima	Distância da Cidade da Praia	Distância das Áreas Protegidas
Exposição de Vertentes										

Factor	Permeabilidade	Distância dos Poços	Distância da Rede Viária	Distância das Ribeiras	Distância da Malha urbana	Distância do Aeroporto	Distância da Orla Marítima	Distância da Cidade da Praia	Distância das Áreas Protegidas
Ocupação de Solo									

Factor	Distância dos Poços	Distância da Rede	Distância das	Distância da Malha	Distância do	Distância da Orla	Distância da Cidade	Distância das Áreas

		Viária	Ribeiras	urbana	Aeroporto	Marítima	da Praia	Protegidas
Permeabilidade								

Factor	Distância da Rede Viária	Distância das Ribeiras	Distância da Malha urbana	Distância do Aeroporto	Distância da Orla Marítima	Distância da Cidade da Praia	Distância das Áreas Protegidas
Distância dos Poços							

Factor	Distância das Ribeiras	Distância da Malha urbana	Distância do Aeroporto	Distância da Orla Marítima	Distância da Cidade da Praia	Distância das Áreas Protegidas
Distância da Rede Viária						

Factor	Distância da Malha urbana	Distância do Aeroporto	Distância da Orla Marítima	Distância da Cidade da Praia	Distância das Áreas Protegidas
Distância das Ribeiras					

Factor	Distância do Aeroporto	Distância da Orla Marítima	Distância da Cidade da Praia	Distância das Áreas Protegidas
Distância da Malha urbana				

Factor	Distância da Orla Marítima	Distância da Cidade da Praia	Distância das Áreas Protegidas
Distância do Aeroporto			

Factor	Distância da Cidade da Praia	Distância das Áreas Protegidas
Distância da Orla Marítima		

ANEXO B – Resultados obtidos das respostas dadas, por 20 inquiridos, ao questionário do anexo A.

Pares de critérios	Valores a atribuir na comparação par – par dos critérios de acordo com a tabela Saaty																
	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CD Malha Urbana vs CD Cidade Praia	1	0	0	0	2	2	3	5	2	2	1	1	0	1	0	0	0
CD Aeroporto vs CD Cidade Praia	0	0	1	0	2	1	0	2	4	3	0	1	0	0	3	1	2
CD Aeroporto vs CD Malha Urbana	1	1	1	0	2	1	1	0	2	1	4	2	0	1	1	2	0
CD Áreas Protegidas vs CD Cidade Praia	0	1	0	0	1	2	3	3	3	2	2	0	1	1	0	1	0
CD Áreas Protegidas vs Malha Urbana	0	1	0	2	1	0	2	5	5	1	0	0	1	0	0	1	1
CD Áreas Protegidas vs CD Aeroporto	1	1	0	0	0	3	1	4	1	2	1	1	1	1	1	1	1
Carta Ocupação dos Solos vs CD Cidade Praia	0	0	0	1	0	0	6	2	6	2	1	1	0	0	0	1	0
Carta Ocupação dos Solos vs CD Malha Urbana	2	0	0	0	1	1	1	2	4	2	4	0	1	0	1	0	1
Carta Ocupação dos Solos vs CD Aeroporto	0	1	2	0	3	2	2	2	3	0	1	2	1	0	1	0	0
Carta Ocupação dos Solos vs CD Áreas Protegidas	0	1	0	1	0	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	1
CD Rede Viária vs CD Cidade Praia	1	0	1	1	0	2	1	1	2	1	1	2	2	1	2	1	1
CD Rede Viária vs CD Malha Urbana	0	1	1	1	2	0	1	3	3	2	1	2	0	2	0	1	0
CD Rede Viária vs CD Aeroporto	0	1	0	0	1	1	2	3	2	3	1	1	1	0	1	2	1
CD Rede Viária vs CD Áreas Protegidas	2	3	1	1	2	0	4	0	1	1	0	0	2	1	0	1	1
CD Rede Viária vs Carta Ocupação dos Solos	0	1	0	0	1	3	1	4	2	3	0	1	2	1	1	0	0
CD Poços vs CD Cidade Praia	0	0	0	1	1	2	3	3	3	3	0	2	0	0	0	0	2
CD Poços vs CD Malha Urbana	1	1	2	3	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	0	0	0
CD Poços vs CD Aeroporto	0	0	0	0	0	0	1	4	4	3	1	2	2	3	0	0	0
CD Poços vs CD Áreas Protegidas	1	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0
CD Poços vs Carta Ocupação dos Solos	0	0	2	0	2	0	1	3	5	1	2	1	1	0	0	1	1
CD Poços vs CD Rede Viária	1	1	1	2	1	0	3	2	4	1	1	0	0	1	2	0	0
Carta Permeabilidade vs CD Cidade Praia	0	1	0	0	1	4	3	4	4	2	1	0	0	0	0	0	0
Carta Permeabilidade vs CD Malha Urbana	3	0	0	0	0	2	2	1	2	3	0	0	1	0	3	1	2
Carta Permeabilidade vs CD Aeroporto	1	1	0	0	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	0	1	1
Carta Permeabilidade vs CD Áreas Protegidas	0	0	0	1	0	0	1	2	3	3	5	4	0	0	0	1	0
Carta Permeabilidade vs Carta Ocupação dos Solos	1	0	0	1	3	2	4	1	4	2	1	0	0	1	0	0	0
Carta Permeabilidade vs CD Rede Viária	0	1	2	0	0	0	1	2	0	3	3	3	0	0	1	2	2
Carta Permeabilidade vs CD Poços	1	2	1	0	0	2	2	2	6	1	2	0	0	0	0	1	0
Carta Exposição Vertentes vs CD Cidade Praia	0	0	1	0	1	6	6	2	0	0	0	1	0	0	1	1	1
Carta Exposição Vertentes vs CD Malha Urbana	2	3	5	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	2	0	2	0
Carta Exposição Vertentes vs CD Aeroporto	1	1	0	0	3	2	4	2	2	0	2	1	1	0	0	0	1

Tabela B₁ – Respostas dos inquiridos. Fonte: elaboração própria

Pares de critérios	Valores a atribuir na comparação par – par dos critérios de acordo com a tabela Saaty																
	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Carta Exposição Vertentes vs CD Áreas Protegidas	1	1	3	2	1	3	2	2	1	1	1	0	0	0	1	1	0
Carta Exposição Vertentes vs Carta Ocupação dos Solos	0	0	1	3	4	2	4	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0
Carta Exposição Vertentes vs CD Rede Viária	1	2	1	1	0	2	1	2	2	2	1	2	1	0	0	1	1
Carta Exposição Vertentes vs CD Poços	0	0	0	3	5	0	5	2	1	1	0	0	0	0	1	2	0
Carta Exposição Vertentes vs Carta Permeabilidade	0	1	0	1	3	5	3	2	2	1	1	0	1	0	0	0	0
Carta Declive vs CD Cidade Praia	1	2	1	1	3	1	1	3	1	0	0	1	0	3	0	0	2
Carta Declive vs CD Malha Urbana	2	1	0	0	0	3	2	5	0	0	2	1	1	0	1	1	1
Carta Declive vs CD Aeroporto	2	0	0	0	2	2	2	4	3	1	1	0	0	1	1	1	0
Carta Declive vs CD Áreas Protegidas	0	1	0	1	2	1	2	3	2	1	2	0	1	1	0	1	2
Carta Declive vs Carta Ocupação dos Solos	1	0	0	0	1	1	4	2	4	2	4	0	0	0	0	1	0
Carta Declive vs CD Rede Viária	1	2	1	3	2	0	2	0	0	1	2	1	0	0	2	3	0
Carta Declive vs CD Poços	1	0	3	0	1	1	0	0	3	0	0	2	1	3	2	1	2
Carta Declive vs Carta Permeabilidade	1	2	3	0	0	0	3	0	0	0	2	2	1	1	2	2	1
Carta Declive vs Carta Exposição Vertentes	0	1	2	3	3	0	1	1	0	1	1	2	0	2	2	0	1
CD Orla Marítima vs CD Cidade Praia	1	0	0	0	0	2	7	2	5	1	1	0	0	0	0	1	0
CD Orla Marítima vs CD Malha Urbana	0	0	1	0	0	1	2	7	3	1	2	0	0	1	1	0	1
CD Orla Marítima vs CD Aeroporto	1	0	0	0	1	2	5	5	3	0	0	0	1	0	0	2	0
CD Orla Marítima vs CD Áreas Protegidas	0	0	4	2	2	2	1	1	1	3	0	2	0	0	0	2	0
CD Orla Marítima vs Carta Ocupação dos Solos	1	0	2	1	2	2	1	7	0	1	0	1	1	1	0	0	0
CD Orla Marítima vs CD Rede Viária	0	2	0	3	0	1	1	2	2	1	2	0	2	2	0	2	0
CD Orla Marítima vs CD Poços	1	1	0	1	0	1	1	8	3	0	1	0	1	0	1	0	1
CD Orla Marítima vs Carta Permeabilidade	0	0	0	3	3	2	2	4	4	0	0	0	1	0	0	1	0
CD Orla Marítima vs Carta Exposição Vertentes	1	1	0	0	0	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	0	1
CD Orla Marítima vs Carta Declive	0	1	0	0	2	4	0	4	4	3	0	0	0	1	0	0	1
CD Ribeiras vs CD Cidade Praia	0	1	2	1	1	2	5	3	3	1	0	1	0	0	0	0	0
CD Ribeiras vs CD Malha Urbana	0	0	0	0	0	0	3	3	5	5	3	0	0	1	0	0	0
CD Ribeiras vs CD Aeroporto	1	1	0	0	0	2	2	3	2	2	2	2	0	0	1	1	1
CD Ribeiras vs CD Áreas Protegidas	1	2	1	1	3	0	4	0	2	3	2	0	0	1	0	0	0
CD Ribeiras vs Carta Ocupação dos Solos	1	2	2	1	1	0	0	0	1	4	0	1	0	0	2	1	4
CD Ribeiras vs CD Rede Viária	0	0	0	1	1	0	0	2	2	2	2	3	3	2	1	1	0
CD Ribeiras vs CD Poços	1	0	1	0	0	3	3	3	3	3	1	1	0	0	1	1	0
CD Ribeiras vs Carta Permeabilidade	2	0	1	0	2	3	0	0	3	3	0	2	0	2	0	0	2
CD Ribeiras vs Carta Exposição Vertentes	0	0	0	1	4	3	2	1	2	2	0	0	1	0	4	0	0
CD Ribeiras vs Carta Declive	1	0	0	0	2	0	2	0	3	3	2	2	1	3	1	0	0
CD Ribeiras vs CD Orla Marítima	1	2	1	2	3	0	0	1	0	2	0	2	1	1	1	2	1

Tabela B₂ – Respostas dos inquiridos (continuação da tabela B₁). Fonte: elaboração própria

ANEXO C – Ponderação e atribuição dos valores da reclassificação dos critérios a partir da tabela *weighted overlay* executada em *model builder*.

Weighted Overlay

Weighted overlay table

Raster	% Influence	Field	Scale Value
Reclass_decl1	7	VALUE	
		1	1
		2	3
		3	2
		4	1
		5	1
		NODATA	NODATA
Rec_Expvert1	3	VALUE	
		1	2
		2	1
		3	2
		4	3
		5	3
		6	3
		7	2
		8	1
		9	2
		10	3
		11	3

		12	3
		NODATA	NODATA
RecPermeabi1	9	VALUE	
		0	3
		1	Restricted
		2	2
		NODATA	NODATA
Rec_EDRibe1	8	VALUE	
		1	1
		2	1
		3	2
		4	3
		NODATA	NODATA
Rec_EDEstra1	6	VALUE	
		1	1
		2	3
		3	2
		4	1
		5	1

		NODATA	NODATA
⤴	Rec_EDÁProt1	6	VALUE
			↩
		1	1
		2	1
		3	2
		4	3
		5	3
		NODATA	NODATA
⤴	Rec_EDMUrba1	9	VALUE
			↩
		1	Restricted
		2	2
		3	3
		4	2
		5	1
		NODATA	NODATA
⤴	RecEDCPraia1	14	VALUE
			↩
		1	Restricted
		2	3
		3	3

Raster	% Influence	Field	Scale Value
		4	2
		5	1
		NODATA	NODATA
⤴	RecEDOrlMar1	5	VALUE
			↩
		1	Restricted
		2	1
		3	2
		4	3
		5	3
		NODATA	NODATA
⤴	RecED_Poços1	9	VALUE
			↩
		1	1
		2	1
		3	2
		4	3
		5	3
		NODATA	NODATA
⤴	RecCO_Solos1	11	VALUE
			↩
		0	Restricted

		1	2
		2	Restricted
		3	3
		4	1
		5	Restricted
		6	Restricted
		7	Restricted
		8	Restricted
		9	Restricted
		10	Restricted
		11	Restricted
		12	Restricted
		13	3
		14	2
		NODATA	NODATA

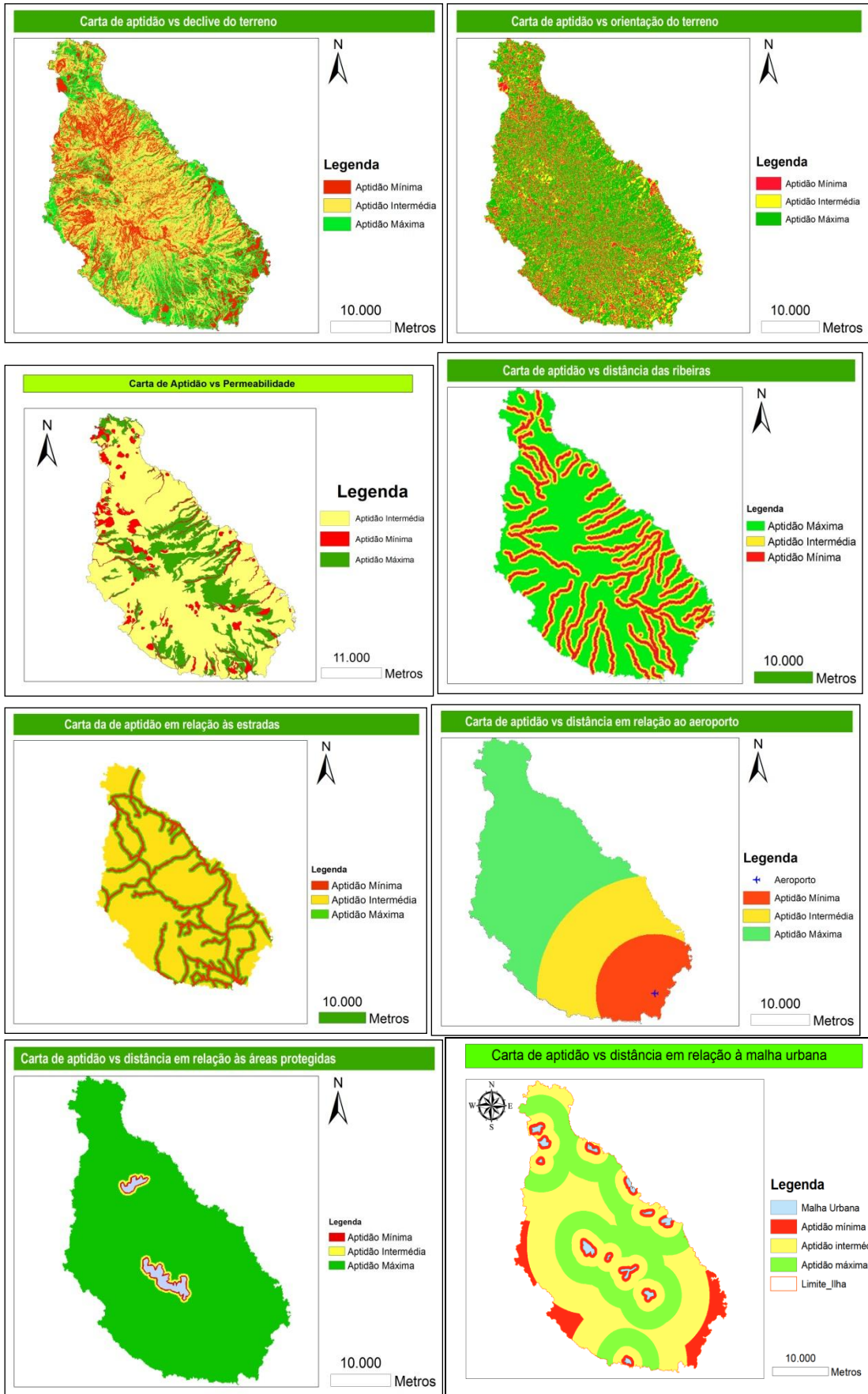
⤴	Rec_EDAerop1	13	VALUE	↶
			1	Restricted
			2	Restricted
			3	3
			4	3
			5	3
			NODATA	NODATA

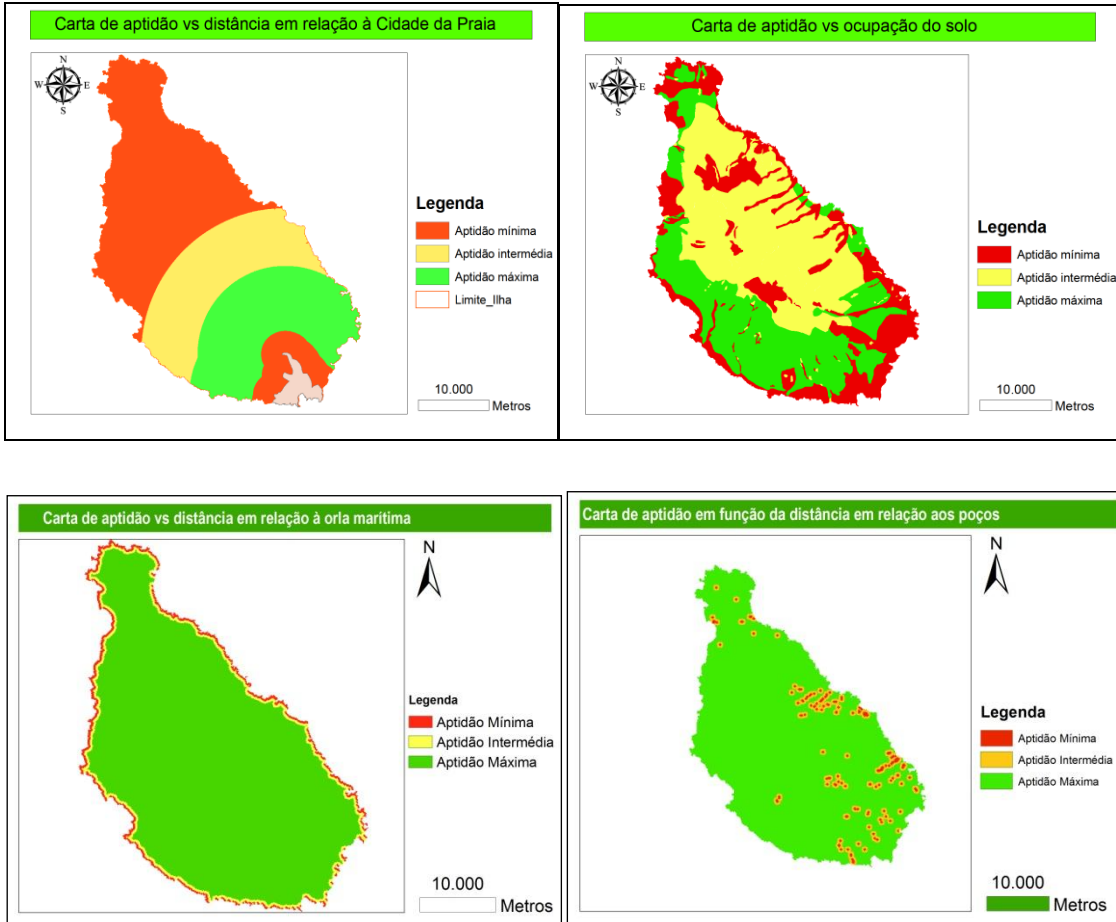
Sum of influence:

Evaluation scale: From: To: By:

⚠ Output raster:

ANEXO D – Cartas de aptidão em função dos vários critérios em análise





SuGIK

