



**UNIVERSIDADE DE  
CABO VERDE**

**&**



**UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL**

**Programa de Pós-Graduação em Ordenamento e Desenho do Território**

**IDENTIFICAÇÃO DE AREAS APTAS À  
IMPLEMENTAÇÃO DE ATERROS SANITARIOS NA  
ILHA DE SANTIAGO**

**Dissertação para obtenção do título  
de Mestre em Ordenamento e Desenho do Território**

**Autor: Moises Pereira Semedo**

**Orientador: Professor Fernando Schnaid, Ph.D - UFRGS**

**Praia, 2011**

UNIVERSIDADE DE CABO VERDE – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ORDENAMENTO E DESENHO DO TERRITÓRIO

Moisés Pereira Semedo

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS APTAS À  
IMPLEMENTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NA  
ILHA DE SANTIAGO**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ordenamento e Desenho do Território da Universidade de Cabo Verde, como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE EM ORDENAMENTO E DESENHO DO TERRITÓRIO

Orientador: **Professor Fernando Schnaid, Ph.D – UFRGS**

Praia, Outubro de 2011

UNIVERSIDADE DE CABO VERDE – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ORDENAMENTO E DESENHO DO TERRITÓRIO

Moises Pereira Semedo

**IDENTIFICAÇÃO DE AREAS APTAS À  
IMPLEMENTAÇÃO DE ATERROS SANITARIOS NA  
ILHA DE SANTIAGO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ordenamento e Desenho do  
Território da Universidade de Cabo verde, como requisito parcial à obtenção do título de  
MESTRE EM ORDENAMENTO E DESENHO DO TERRITÓRIO

Aprovada em Outubro de 2011

---

Orientador: **Professor Fernando Schnaid, Ph.D – UFRGS**

**UNIVERSIDADE DE CABO VERDE – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ORDENAMENTO E DESENHO DO TERRITÓRIO**

Moises Pereira Semedo

**IDENTIFICAÇÃO DE AREAS APTAS À  
IMPLEMENTAÇÃO DE ATERROS SANITARIOS NA  
ILHA DE SANTIAGO**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ordenamento e Desenho do Território e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Ordenamento e Desenho do Território da Universidade de Cabo Verde

Praia, ..... de .....201...

Professor Benamy Turkienicz, Ph. D. UFRGS  
Coordenador do Programa

BANCA EXAMINADORA

---

---

---

---

**Dedicatória**

Aos Meus pais  
Cudom & Veninha  
(in memoriam)

## AGRADECIMENTOS

Os nossos agradecimentos vão especialmente para aqueles que sempre estiveram disponíveis para nos ajudar e orientar.

Agradecemos

A UFGRS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), principalmente na pessoa do professor Benamy TurKienicz, pela paciência, sapiência e entrega durante todo este percurso.

Ao professor Fernando Schnaid, pela orientação e ajuda sem as quais era impossível esta caminhada.

Ao Doutor Rodrigo Pereira Lersch e aos Arquitectos Raoni Teixeira e Vaneska Paiva Henrique, pela excelente colaboração para conosco durante todo o tempo do nosso estágio no SIMLab, em Porto Alegre.

Aos meus companheiros de luta, em especial os colegas do mestrado, Francisco Duarte e Mário Xavier Moniz, que sem os seus apoios e orientações era impossível dar qualquer passo.

A minha família, pela paciência e compreensão.

Por último a todas as pessoas que directa e indirectamente contribuíram para a realização deste trabalho.

# Índice

RESUMO.....	IX
ABSTRAT.....	X
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJECTIVO GERAL.....	13
1.2 OBJECTIVOS ESPECIFICOS.....	13
1.3 HIPÓTESE.....	13
1.4 METODOLOGIA.....	13
1.5 Implementação da Avaliação Multi-Critério em Ambiente SIG.....	15
1.6 Estrutura do Modelo de Avaliação.....	16
1.7 Organização da Tese.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 DEFINIÇÕES.....	18
2.1.1 Resíduos Sólidos (RS).....	18
2.1.2 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).....	18
2.1.3 Resíduos Sólidos Urbanos Domésticos (RSUD).....	19
2.1.4 Lixo.....	19
2.1.5 Lixo Domiciliar.....	19
2.1.6 Resíduo Industrial:.....	19
2.1.7 Resíduo Hospitalar:.....	19
2.1.8 Aterros sanitários.....	19
2.1.9 Aterro controlado.....	22
2.1.10 Lixão.....	23
2.1.11 Recolha seletiva.....	23
2.1.12 Cenários de deposição atual dos resíduos sólidos nos municípios de Santiago.....	24
2.1.13 Aspectos Técnicos e Ambientais para Implantação de um Aterro Sanitário.....	29
A. Dados topográficos.....	29
B. Dados pedológicos.....	29
C. Dados geológico-geotécnicos.....	30
D. Jazidas de empréstimo.....	30
E. Dados hidrológicos.....	30
F. Dados Climáticos.....	30
G. Vegetação.....	30
H. Distância em relação a núcleos populacionais.....	30
I. Distância dos centros urbanos geradores do lixo.....	30
J. Acessos.....	31
3. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ARQUIPÉLAGO DE CABO VERDE.....	32
3.1 LOCALIZAÇÃO E DIMENSÕES.....	32
3.2 O Clima e o tempo.....	34
3.3 Cobertura vegetal, flora e fauna terrestres.....	36
3.4 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ILHA DE SANTIAGO.....	40
3.4.1 Geologia.....	41
3.4.2 Geomorfologia.....	46
3.4.3 Meio Biológico: Clima, Vegetação, Flora e Fauna.....	47
3.4.4 Solos.....	48
4. Definição de Critérios para o Problema.....	50
4.1 Abordagem multicriterial.....	55
4.2 Média Ponderada Ordenada.....	58
4.3 Definição de critérios e pesos.....	59
4.4 Caso de estudo.....	62
4.4.1 Combinação dos Critérios.....	62
4.4.2 Média Ponderada Ordenada – OWA.....	63
4.4.3 Implementação da Avaliação Multi-Critério em Ambiente SIG.....	63
4.4.4 - Estabelecimento dos Critérios.....	64
4.4.4.1 Critérios Restritivos (restrições).....	64

4.4.4.2	Critérios Escalonados (fatores).....	64
4.4.4.3	Descrição e Justificação dos Critérios.....	64
4.4.4.3.1	Critérios Restritivos Ambientais (RA).....	64
4.4.4.3.2	Critérios Restritivos Operacionais (RO).....	67
4.4.4.3.3	Critérios Restritivos Sócio-Econômicos (RS).....	68
4.4.4.3.4	Critérios Escalonados Ambientais (FA).....	68
4.4.5	Critérios Escalonados Operacionais (FO).....	70
4.4.5.1	Critérios Escalonados Sócio-Econômicos (FS).....	71
4.4.6	Ponderação das Variáveis.....	72
4.4.6.1	Comparação Par-a-Par.....	72
4.4.6.1.1	Comparação Par-a-Par– Fator Ambiental.....	72
4.4.6.1.1.1	Fatores Ambientais.....	72
4.4.6.1.1.2	Fatores Operacionais.....	73
4.4.6.1.1.3	Fatores Sócio-Econômicos.....	73
4.5	Interpretação/análise de resultados.....	73
4.5.1	Cálculo da Área Mínima.....	76
4.5.2	Seleção das Áreas com Maior Adequabilidade.....	77
5.	Conclusões e recomendações.....	78
6.	Referências Bibliográficas.....	82

#### Índice de figuras

Figura 1 - Símbolos da reciclagem por material.....	24
Figura 2 - Um dos Aspectos da Lixeira de Caiada - Arredores da Cidade da Praia.....	25
Figura 3 - EVACUAÇÃO DE RESIDUOS SOLIDOS (%).....	27
Figura 4 - EVACUAÇÃO DE RESIDUOS SOLIDOS (%) NOS MUNICIPIOS DE SANTIAGO.....	28
Figura 5 - Localização de Cabo Verde na África Ocidental.....	32
Figura 6 - Condições atmosféricas típicas no arquipélago.....	36
Figura 7 - Divisão Administrativa da Ilha de Santiago.....	40
Figura 8 - Carta geológica de Santiago à escala aproximada 1:100.000.....	44
Figura 9 - Legenda, ampliada, da Carta Geologica de Santiago.....	45
Figura 10 - Grandes Unidades Geomorfológicas da ilha de Santiago.....	46
Figura 11 - cruzamentos dos mapas temáticos para seleção de possíveis áreas para Implantação de Aterros Sanitários.....	55
Figura 12 - Zonas Florestais Protegidas da ilha de Santiago.....	65
Figura 13 - Restrições das rodovias da ilha de Santiago.....	66
Figura 14 - Restrições em relação as rochas piroclásticas.....	67
Figura 15 - Mapa das cidades da ilha de Santiago.....	68
Figura 16 - Mapa de rede hidrografica.....	69
Figura 17 - Orla Maritima.....	70
Figura 18 - Vias da Ilha de Santiago escalonadas segundo grau de importancia.....	71
Figura 19 – mapa da ilha de Santiago incluindo todas as restrições.....	75
Figura 20 - Áreas Potenciais para Instalação do Aterro sanitário.....	77

#### Índice de quadros

Quadro 1 – Cenario de Classificação dos Residuos de acordo com os objectivos especificados.....	24
Quadro 2 - Código de cores para a recolha selectiva.....	26
Quadro 3 – Tipos de Residuos recolhidos em Portugal em 2000.....	27
Quadro 4 - Dados sobre a produção e recolha de RSU.....	28
Quadro 5- . Pontos extremos do arquipélago.....	33
Quadro 6 - Dimensões comparativas das ilhas.....	33
Quadro 7 - População Residente na ilha de Santiago, por Concelho e por sexo.....	40
Quadro 8 - Percentagem da população urbana e rural dos diferentes concelhos da ilha de Santiago.....	41
Quadro 9 – Resumo dos diferentes tipos de Solos da ilha de Santiago.....	48
Quadro 10 - Repartição das terras da ilha de Santiago.....	49
Quadro 11 - Função e aspecto técnico relacionado.....	52
Quadro 12 - Escala de comparação de critérios.....	60
Quadro 13 - Escala de comparações de critérios.....	61
Quadro 14 - Os diferentes variaveis de analise.....	61
Quadro 15 - Pesos ponderados obtidos da matriz de comparação.....	61
Quadro 16 - Pesos atribuidos a cada variavel.....	61

## RESUMO

Pretende-se, com o presente estudo para dissertação, enquadrado como pré-requisitos para obtenção do grau de mestrado no curso de Ordenamento e Desenho do Território, apresentar uma proposta destinada à identificação de áreas destinadas à implementação de um aterro sanitário na ilha de Santiago. Este estudo assenta na utilização de vários parâmetros que nos permitiria ter uma localização georreferenciada para o aterro sanitário que serviria os 9 municípios da ilha de Santiago – Cabo Verde.

A primeira tarefa terá como ponto de partida a estrutura de um banco de dados que permita avaliar os factores intervenientes no processo de avaliação do problema como a geologia, topografia, mapa viário, vegetação, ...

A ilha de Santiago, constituído por 9 municípios, não possui uma única estação de tratamento final dos resíduos sólidos urbano (RSU), que diariamente são colectados e que tem como destino final os diferentes locais, a céu aberto, sem mínimo de tratamento.

Com a construção do aterro sanitário, permite a recolha de dados, no que se refere a quantidade depositada, assim como os diferentes tipos de materiais, que poderá levar a reciclagem dos diferentes componentes, reduzindo, consideravelmente, os impactos ambientais gerados por estas actividades, bem como os custos decorrentes.

Este trabalho teve como objetivo a utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) na identificação de áreas potenciais para a instalação de aterros sanitários que sirva toda a ilha de Santiago.

Foram consideradas as características físicas, sócio-econômicas da ilha e normas técnicas existentes. Os procedimentos empregados envolveram a edição e manipulação de dados cartográficos e temáticos, a definição de parâmetros de restrição e sobreposição topológica, desenvolvidos no âmbito de um Sistema de Informação Geográfica. No final, foram identificadas áreas potenciais para instalação de aterros sanitários. Esta é uma demonstração prática de que os SIG's podem ser empregados para a solução de problemas ambientais.

Palavras-chave: aterros sanitários, SIG's, Resíduos Sólidos Urbanos.

## ABSTRAT

With this presente study for desertation, pretend to include is requisite to obtain the step of master in course of ordenament and territory design, to a destined proposal for identification of destined areas for implementation of a sanitary embankment in Santiago island.

This study seat in utilization of various parametries that would permit to havre georefenciaded localization for the sanitary embankment that would serve 9 municipal destricts of Santiago island-Cape Verd. The first task wile be as appoint of begin, en estruture of a datum banke to avaliate the intervenient factors in avaliation process of problem such as geology, topography, viary map, vegetation, ...

In Santiago island there are 9 municipal destricts, and don't have nothing to final treatment of urban solid residues (USR), that are collected daily and have as a final destine the different open places without treatment.

With the construction of sanitary embankment, permit preserve the datum that refer quantity deposited as null the different type of materials, that can go to recycling of different components, to reduce, considerably, the environment impacts generated by this activities as well the corrent costs.

This works has like objective an utilization of geographic information system (GIS) in the identification of potencial areas for installation of sanitaries embankment that serve the Santiago island.

Were considered the physical characteristics, economic socities of island and norms tecnic existents.

The procedure employed em au edition and manipulation of cartographic datum and tematics, the parametries definition of restriction and topological positi developed in system of Geographic Information.

In final, were identificated potentials areas for sanitaries embankment installation.

This is and pratic demonstration that GSI can be employed for the solution of environmental problems.

Key-Words: Sanitaries embankment, GSI, Urban solid residues.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das principais dificuldades enfrentadas na implantação de um aterro sanitário é, sem dúvida, a escolha de uma área que reúna boas condições técnicas, econômicas e ambientais (MASSUNARI, 2000). Isto, normalmente, é feito a partir de criteriosa pesquisa de áreas favoráveis. O estudo destas alternativas locais é considerado um importante instrumento de planejamento ambiental, pois muitos impactos podem ser evitados ou minimizados com a escolha de local adequado para implantação do empreendimento. Na maior parte das vezes, a escolha do local para a implantação de um aterro sanitário já parte de um número reduzido de alternativas pré-definidas, em virtude de dificuldades de avaliar simultaneamente todo o território potencialmente utilizável para essa finalidade. Com o desenvolvimento tecnológico das últimas décadas, mais especificamente na área de informática, os procedimentos de trabalho no campo das geotecnologias evoluiu, permitindo a automação de serviços que no passado eram executados manualmente, muitas vezes de forma lenta e imprecisa.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) têm sido amplamente utilizados para a estruturação e organização de variáveis espaciais na geração de alternativas para problemas dessa natureza. Seu uso intenso justifica-se pelo fato de constituir uma poderosa ferramenta que integra o conjunto de rotinas de programação desenvolvidas para representar e manipular grandes quantidades de dados armazenados em bancos de dados, os quais contêm informações representativas do mundo real, através de coordenadas geográficas, possibilitando análises espaciais (STAR & ESTES, 1991).

Segundo MALCZEWSKI (1999), apesar dos SIGs e dos métodos de decisão multicritério serem duas áreas distintas de pesquisa, os problemas de planejamento e gerenciamento do mundo real podem se beneficiar da combinação de suas técnicas e procedimentos (CARVER, 1991; JANKOWSKI, 1995; LINS & FERREIRA, 1997; GOMES & LINS, 1999).

O modelo desenvolvido contribui para a complexa tarefa de analisar locais com potencial para a instalação de um aterro sanitário e os diversos critérios envolvidos no problema, sejam eles de ordem econômica ou ambiental. Este modelo é concebido para auxiliar empreendedores ou órgãos governamentais que possuem a função de avaliar e deferir ou não a licença de instalação e operação de aterros.

A compreensão da problemática dos resíduos sólidos e a tentativa de busca de sua resolução pressupõem mais do que a adoção de tecnologias. Uma ação na origem do problema exige reflexão não sobre o resíduo em si, no aspecto material, mas quanto ao seu significado simbólico, seu papel e sua contextualização cultural, e também sobre as relações históricas estabelecidas pela sociedade com os seus sujeitos.

A ilha de Santiago alberga actualmente 274.319 (INE - Censo 2010), com maior destaque para a Cidade da Praia, capital de Cabo Verde (principal centro político, administrativo, económico e cultural do país) que passou de 38.602 habitantes em 1980 para 94.757 em 1990, em 2000 era 106.634 habitantes e, em 2010 com uma cifra de 121.602 habitantes (INE – Censos de 1970 a 2010). Este crescimento acelerado, não foi acompanhado pela criação de serviços e infra-estruturas urbanas, principalmente no que diz respeito ao saneamento básico.

Por outro lado, é uma ilha bastante heterogénea, tanto na organização urbana como as características sociais dos seus residentes, relativamente ao nível de instrução, às condições de alojamento e ao nível de vida. Como consequência, as características dos resíduos sólidos urbanos são influenciadas por vários factores como: número de habitantes, poder aquisitivo, nível educacional, hábitos e costumes da população; condições climáticas e sazonais; as mudanças na política económica de um país também são causas que influenciam na composição dos resíduos sólidos de uma comunidade (JARDIM et al, 1995). É normal, na Cidade da Praia, encontrar pessoas que se dedicam a criação de animais, como porcos e cabras, como ele fazia no seu domínio rural. Tudo isso complica, ainda mais a situação de limpeza e recolha de resíduos sólidos urbanos, já que, a princípio, há um “conflito” originado pela ocupação espacial.

Não havendo uma política de uniformidade na recolha e deposição final de resíduos sólidos na ilha, devido, principalmente, a limitações nas estruturas municipais ligadas a esta problemática, tendo em conta que está-se a iniciar o processo da escolha do local para a construção de um aterro sanitário que passa a receber resíduos sólidos urbanos provenientes de todos os municípios de Santiago, justifica este estudo.

O Relatório Sobre o Estado do Ambiente, aponta como um dos maiores problemas ambientais que o país enfrenta, tem a ver com “insuficiente ordenamento do território, a poluição por deposição de resíduos sólidos (quantidade enorme de embalagens não biodegradáveis) em locais inadequados, inexistência de tratamento dos resíduos sólidos, derrame de óleos usados e inexistência de indústria de reciclagens no país.” As principais preocupações estão voltadas para as repercussões que podem ter sobre a saúde humana e sobre o ambiente (solo, água, ar e paisagens), pois, os resíduos, quando incorrectamente geridos, tornam-se uma grave ameaça não só para geração presente, mas, principalmente, para a geração futura.

Segundo os dados do QUIBB-CV 2007, “apenas 54% da população está coberta pelo sistema de recolha de resíduos sólidos. Não existe nenhum aterro sanitário ou outra forma de tratamento dos resíduos sólidos com excepção da incineradora do hospital central de Praia”. Este facto demonstra que Santiago, apesar de ter uma população crescente, lida muito mal com aquilo que a própria população produz que são os resíduos.

Neste cenário, considera-se necessário avaliar o problema de colecta e deposição de resíduos sólidos urbanos para dar sustentabilidade ao processo de organização e crescimento da ilha de Santiago. Em particular, procura-se identificar áreas aptas a receber um aterro sanitário que satisfaça às condições sociais, ambientais e de infraestrutura da ilha.

Para cumprir esta formalidade, propõe-se uma análise de sensibilidade, que pode ser pensada, de acordo com MALCZEWSKI (2004), como um processo exploratório pelo qual os tomadores de decisão adquirem um conhecimento profundo da estrutura do problema. Ela auxilia no entendimento de como os elementos interagem para culminarem em uma alternativa e quais elementos são importantes, ou não, para o problema em questão, através de incorporação do processo de tomada de decisão através do SIG. Recorre-se a alguns procedimentos, como a análise de sensibilidade (LODWICK et al., 1990) e a análise de propagação de erro (HEVELINK et al., 1989). Para a integração dos diferentes factores, com base na abordagem multicritério, vários métodos serão utilizados, como o Booleano; o do Ponto Ideal; o da Combinação Linear

Ponderada; o da Análise de Concordância; o da Média Ponderada Ordenada (MALCZEWSKI, 2000).

## **1.1 OBJECTIVO GERAL**

O objectivo principal deste trabalho é avaliar as condições (geológicas, topográficas, urbanas, ...) para a implementação de um aterro sanitário para toda a ilha de Santiago, identificando possíveis locais mais apropriados para a sua instalação.

## **1.2 OBJECTIVOS ESPECIFICOS**

- a) Propor uma metodologia destinada a avaliação qualitativa dos diferentes variáveis.
- b) Estimar volumes de coleta
- c) Definir as áreas de recolha e deposição.

## **1.3 HIPÓTESE**

Implantação de um aterro sanitário deve atender a pressupostos sociais, económicos, ambientais e estruturais que, uma vez atendidos, favorecem o crescimento sustentável da ilha de Santiago.

## **1.4 METODOLOGIA**

Uma metodologia é um conjunto de conceitos, postulados técnicos, métodos, classificações, recursos tecnológicos de investigações e computacionais utilizados para desenvolver um estudo e que deve estar relacionado às condições sócio-econômicas vigentes, às características dos técnicos da região ou país e à densidade de informações existentes (ZUQUETTE, 1993). Para Mc BEAN et. al. (1995), uma metodologia para seleção de áreas para implantação de aterros sanitários tem que organizar a busca da área mais favorável. A evolução dos estudos tem que ser capaz de ordenar e aplicar os factores de selecção da área de maneira lógica e defensiva.

Na elaboração do presente trabalho, para além revisão bibliográfica, que é obrigatória, serão usadas dados existentes, dispersos ou não, nos diferentes tipos de arquivos. Por tratar-se de uma decisão complexa, foi seleccionado o Método de Análise Hierárquica (AHP – Analytic Hierarchy Process), caracterizado como método de apoio a decisões multi-critério, para o processo de tomada de decisão, sendo também objetivo deste trabalho analisar a viabilidade de aplicação do método. Na selecção do conjunto de dados, será tida em conta a evolução e composição da população e assegurada a representatividade das amostras, para inquéritos e entrevistas.

A avaliação de resultados será baseada em abordagem multicriterio, em ambiente SIG, com o Método da Média Ponderada Ordenada, para combinação dos factores (características da paisagem, solo, rede viária, ...), importantes ao objectivo do projecto. A metodologia baseia-se no princípio de que para a tomada de decisão, a experiência e o conhecimento das pessoas é pelo menos tão valioso, quanto os dados utilizados.

A aplicação deste processo reduz o estudo de sistemas extremamente difíceis, a uma sequência de comparações aos pares de componentes adequadamente identificados. A

teoria econômica e as demais metodologias existentes estão tão atreladas aos valores econômicos, que não têm condições de lidar com valores que não possuem implicações monetárias. O tomador de decisão, mesmo que esteja motivado pela necessidade de prever ou controlar, geralmente enfrenta um complexo sistema de componentes correlacionados, e quanto melhor ele entender este sistema, melhor será a sua previsão ou decisão.

A princípio, seleccionou-se os seguintes factores: cobertura vegetal; rede hidrográfica; distância à malha viária; distância aos centros urbanos; declividade do terreno, os diferentes tipos de solo.

Para a obtenção desses factores foram necessários os planos de informação, como sejam o uso e cobertura do solo; floresta; rede hidrográfica; centros urbanos; malha viária; declividade; e erodibilidade do solo.

Para auxiliar na definição dos factores, seus pesos de compensação (expressam a ordem de importância dos factores no processo de decisão) e restrições (categorias restritivas), utiliza-se a Técnica Participativa e o Processo Hierárquico Analítico, no próprio SIG, como Buffer, TIN, CONVERGE, RECLASSIFY, ..., permitindo a produção de cartografia em SIG: mapas geológicos, cobertura vegetal.

Segundo SAATY (1991) os valores sociais de nossa sociedade complexa exigem métodos de avaliação que permitam avaliar equivalências entre dinheiro, qualidade ambiental, saúde, felicidade e entidades similares. O modelo Saaty permite a tomada de decisão baseada em critérios qualitativos e quantitativos, ao mesmo tempo que admite pontos de vista diferenciados e contraditórios.

Os mapas de áreas prioritárias avaliados terão três categorias: risco médio, alto e baixo, que permitirá a saída do mapa final de áreas prioritárias, que possibilitam o melhor entendimento das alterações propostas para a escolha do local do aterro sanitário.

Na avaliação da importância e da influência dos factores, para o processo de tomada de decisão, pode-se ainda utilizar a análise de sensibilidade, somente para o mapa de prioridades referente ao grupo de pesos de ordenação mais adequado, nomeadamente a proximidade à rede hidrográfica.

A representatividade dos atributos de uma paisagem por factores é assegurada, ainda, por pesos que eles recebem. Esses pesos descrevem a importância de cada um dos factores no processo de tomada de decisão, assim como o nível de compensação necessário entre os factores e o risco a ser assumido no mapa de prioridades.

Os factores equivalem às diferentes características e/ou processos de uma paisagem, importantes à geração do mapa de prioridades. Eles podem ser representados de forma contínua, o que é uma vantagem em relação à representação das características de uma paisagem em intervalos discretos, o que normalmente leva à perda de informação e à propagação de erros.

Na Combinação Linear Ponderada (VOOGD, 1983) os critérios (factores) são padronizados para uma escala numérica comum, recebem pesos e são combinados por meio de uma média ponderada. O resultado é um mapa de prioridades, que pode ser limitado espacialmente por uma ou mais restrições booleanas (EASTMAN, 2001).

No processo de tomada de decisão com a abordagem multicriterial, os resultados são, inevitavelmente, associados a uma variedade de incertezas, as quais são causadas pelos componentes: factores; pesos; e prioridades (VOODG, 1983). Essas incertezas podem

ser identificadas e avaliadas por uma análise de sensibilidade que, segundo (BUTLER et al. 1997) determina a robustez das soluções obtidas no processo de tomada de decisão.

Distinguem-se dois tipos de hierarquias:

- As estruturais – os sistemas complexos são estruturadas, seguidamente os elementos que os compõem e em ordem decrescente, de acordo com as propriedades estruturais como a medida, a forma, a cor ou a idade. Este tipo de hierarquias possuem uma relação estreita com a forma como o cérebro analisa a complexidade, enquanto decompõe os objectos que discernimos através dos sentidos em grupos, em subgrupos e num todo até menor.
- As funcionais – decompõem os sistemas complexos em elementos constituintes em função das suas relações essenciais. Este tipo de hierarquias ajudam a guiar um sistema para a realização de um objectivo – a resolução de um conflito, a eficiência ou a satisfação de um desejo particular. Esta característica é única e própria deste tipo de hierarquias.

Essa definição se deve ao fato de que, na análise multiobjetivo, a classificação é feita com base em determinados critérios de avaliação e sob condições e cenários específicos que, se alterados, poderão indicar outra alternativa como melhor solução (ANDREOLI, 2001). A proposta metodológica de pesquisa e avaliação de áreas para implantação do aterro sanitário utilizando lógica fuzzy e análise multi-critério compreende o levantamento e a análise de condicionantes operacionais, legais, ambientais e sócio-econômicos, seguidos, conseqüentemente, da aquisição, armazenamento, descrição e posterior análise, em nível espacial, desses dados georeferenciados.

De um modo geral, os processos de decisão pretendem satisfazer um ou múltiplos objetivos, e são desenvolvidos com base na avaliação de um ou vários critérios (EASTMAN, 1997). No caso particular da localização do aterro sanitário, trata-se essencialmente de um processo de decisão de natureza multi-critério, no sentido em que são considerados na avaliação diversos atributos do problema. O processo de decisão poderá consistir na avaliação das áreas com maior adequabilidade para o uso em estudo, dentro de um determinado espaço geográfico.

Um outro aspecto que tem poderá ser preocupação nessa análise é a questão do risco associado à decisão. Num problema multi-critério está implícita a avaliação de diferentes aspectos que contribuem (a favor ou contra) para uma decisão. A forma de combinar os critérios, a consideração de todos ou apenas parte deles (os melhores, os piores, os médios, ou qualquer combinação), a forma como uns critérios podem compensar outros, são aspectos que assumem grande importância nas decisões, particularmente em contextos de recursos escassos.

## **1.5 Implementação da Avaliação Multi-Critério em Ambiente SIG**

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) são programas destinados à aquisição, gestão, análise e apresentação de informação georeferenciada. Utilizando a informação organizada em diferentes níveis temáticos (por exemplo, sistema viário, declividade, uso do solo, etc.) é possível fazer várias operações de análise lógica, estatística e matemática apresentando resultados em uma carta ou tabela. Este tipo de ferramenta revolucionou o monitoramento e a gestão dos recursos naturais e uso do solo, não sendo portanto surpreendente o interesse crescente no desenvolvimento de abordagens de suporte à decisão baseadas em SIG (EASTMAN et al., 1993, EASTMAN et al., 1998;

CARVER, 1991; JANSSEN & RIETVELD, 1990; HONEA et. al., 1991; CALIJURI, 2000).

A avaliação multi-critério pode ser implementada num SIG através de um dos dois procedimentos a seguir: o primeiro envolve a sobreposição booleana, na qual todos os critérios são reduzidos a declarações lógicas de adequabilidade (isto é, classificados de forma binária: 0/1) e então combinados por via de operadores lógicos como a interseção (AND - E) e a união (OR - OU). O segundo envolve a combinação de critérios contínuos (“factores”), através da normalização para uma escala comum e da aplicação de pesos para obter médias ponderadas. Por razões que remontam à facilidade com que estas abordagens podem ser implementadas, a sobreposição booleana tem dominado as aplicações em SIG vetoriais, enquanto que a combinação de critérios contínuos domina as aplicações em SIG raster (RAMOS & MENDES, 2001).

No trabalho proposto optou-se por um SIG raster, no qual as Restrições são processadas através de operações booleanas enquanto os “Factores” são processados por operadores matemáticos, recorrendo à álgebra de mapas.

A implementação do modelo corresponde, num SIG raster, ao processamento de cada pixel de uma imagem raster representativa da ilha de Santiago, permitindo obter um mapa de adequabilidade contínua. Em outras palavras, cada pixel tem uma aptidão para a localização da atividade impactante (aterro sanitário), o qual é submetido a uma avaliação multi-critério que determina a sua adequabilidade final, através ao recurso de uso de uma base de dados (carta militar, na escala de 1/25000, altimetria, hidrografia e Rede viária) da Direcção Geral do Ordenamento do Território, escala em diferentes escalas; mapa geológico, escala 1:100.000, do Instituto Nacional de Recursos Hídricos; mapa de solos, escala 1:100.000, desenvolvido no âmbito deste projeto.

As principais unidades geoambientais foram delimitadas com base no modelo digital de elevação hidrológica, a partir do mapa de solos, escala 1:25.000 e o mapa geológico, escala 1:100.000.

## 1.6 Estrutura do Modelo de Avaliação

O modelo de avaliação é estruturado por níveis hierárquicos de análise, sendo definido dentro de cada grupo de critérios. Esses grupos são processados segundo uma seqüência que envolve três etapas: padronização, comparação par a par (ou identificação de pesos) e combinação de factores.

Considerando que as variáveis que interferem na escolha de áreas para a implantação do aterro sanitário contribuem com pesos diferenciados no processo final de decisão, estabelece-se uma ponderação de acordo com a importância de cada uma para a aptidão da área. O algoritmo será utilizado os pesos finais através da comparação da importância relativa das variáveis duas a duas, diminuindo a subjetividade na decisão.

O peso final de cada variável será estimado através do método AHP (Analytical Hierarchy Process – Processo de Hierarquização Analítica) aplicado à matriz de comparação par a par, como:

- Distância da rede hidrográfica
- Distância da rede viária.
- Distância do Perímetro Urbano
- A Declividade
- A Geologia

## 1.7 Organização da Tese

Procura-se apresentar Materiais e Métodos aplicados no desenvolvimento do presente trabalho. Procura-se descrever detalhadamente os procedimentos adotados, onde são abordados os conceitos de lógica fuzzy e análise multi-critério e sua relação com o SIG.

No Capítulo 2 (Revisão Bibliográfica), inicialmente aborda-se o conceito sobre aterro sanitário além dos aspectos técnicos relacionados. Em seqüência, é apresentada uma revisão sobre algumas metodologias aplicadas na avaliação e seleção de área para instalação de aterros sanitários.

No capítulo 3 procura-se o enquadramento da ilha de Santiago, onde são apresentados a descrição da área de estudo e os principais indicadores ou condicionantes físicos.

O Capítulo 4 (Resultados e Discussões) aborda os resultados obtidos no estudo de caso desenvolvido no presente trabalho. São discutidos os aspectos referentes a tomada de decisão para seleção de áreas apropriadas à implantação de aterros sanitários. É neste capítulo que apresentam-se a avaliação e seleção final das áreas mais adequadas ao empreendimento.

No Capítulo 5 (Conclusões e Sugestões) são apresentadas as conclusões obtidas no desenvolvimento deste trabalho, abordando a importância de uma metodologia adequada a escolha do local para a disposição correta dos resíduos sólidos assim como os aspectos positivos referentes à metodologia utilizada. Apresenta-se também algumas sugestões de trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão apresentadas definições e classificação referentes aos resíduos sólidos e suas formas de tratamento. Também é incluída a gestão e o destino final dos resíduos sólidos urbanos.

### 2.1 DEFINIÇÕES

Os resíduos sólidos gerados pela atividade cotidiana dos cidadãos, pelos seus hábitos de consumo e pela produção industrial é um dos principais problemas presentes nos centros urbanos (DUNCKLEY apud CONRAD, 2000).

O problema tende a se agravar à medida que a população urbana e a quantidade de resíduos per capita gerada diariamente ainda aumenta a taxas significativas, enquanto diminuem as alternativas de áreas para disposição dos resíduos.

O lixo produzido em grandes cidades é um problema de dimensões ambientais e de saúde pública que deve merecer atenção especial. A disposição do lixo em aterros é uma prática bastante comum e a mais utilizada. MONTEIRO (2001).

#### 2.1.1 Resíduos Sólidos (RS)

Resíduos sólidos são resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (BRIDI 2008, citando ABNT - NBR 10.004, 2004).

#### 2.1.2 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

Resíduos sólidos urbanos são aqueles resíduos produzidos em edificações residenciais, em estabelecimentos e logradouros públicos, comércio em geral e os resultantes dos serviços públicos de manejo de resíduos sólidos, sempre que não sejam considerados em legislação específica como resíduo especial ou diferenciado (BRIDI 2008, citando IBGE, 2001).

Em relação a legislação caboverdiana o livro branco sobre o estado do Ambiente define que “os resíduos urbanos compreendem os resíduos domésticos, resíduos provenientes de estabelecimentos comerciais, do sector de serviços e outros resíduos que, pela sua natureza ou composição, sejam semelhantes aos resíduos domésticos. Contudo, num município, existem ainda resíduos especiais não equiparáveis aos resíduos domésticos, nomeadamente os provenientes de produtores de pequenas quantidades de resíduos de maior toxicidade, que incluem garagens, laboratórios fotográficos e os resíduos hospitalares contaminados”<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> - Livro Branco Sobre o Estado do Ambiente em Cabo Verde, DGA, Praia, 2004.

### **2.1.3 Resíduos Sólidos Urbanos Domésticos (RSUD)**

Resíduos sólidos urbanos domésticos são os resíduos normalmente produzidos nas habitações unifamiliares e plurifamiliares, nomeadamente os provenientes das atividades de preparação de alimentos e da limpeza normal desses locais.

### **2.1.4 Lixo**

O termo “lixo” provém do latim “lix”, que significa cinzas ou lixívia ou do verbo “lixare”, que significa polir, desbastar, arrancar o supérfluo (RODRIGUES, 1997).

### **2.1.5 Lixo Domiciliar**

Os resíduos “domésticos” e “comerciais” constituem o chamado “lixo domiciliar”, que junto com o resíduo “público” representam a maior parcela dos resíduos sólidos produzidos nas cidades (MONTEIRO et al., 2001). Partindo desta premissa, o resíduo sólido, separado na sua origem, ou seja, nas residências e empresas, e destinado à reciclagem ou à produção de composto, não pode ser considerado lixo ou rejeito, e sim, matéria-prima ou insumo para a indústria ou outros processos de produção, com valor comercial estabelecido pelo mercado.

### **2.1.6 Resíduo Industrial:**

O resíduo gerado em processos produtivos industriais, bem como o que resulte das atividades de produção e distribuição de electricidade, gás e água;

### **2.1.7 Resíduo Hospitalar:**

O resíduo resultante de actividades médicas desenvolvidas em unidades de prestação de cuidados de saúde, em actividades de prevenção, diagnóstico, tratamento, reabilitação e investigação, relacionada com seres humanos ou animais, em farmácias, em actividades médico-legais, de ensino e em quaisquer outras que envolvam procedimentos evasivos, tais como acupuntura, *piercings* e tatuagens;

### **2.1.8 Aterros sanitários**

Aterro é a disposição ou aterramento do lixo sobre o solo e deve ser diferenciado, tecnicamente, em aterro sanitário, aterro controlado e lixão ou vazadouro. Na verdade o aterro sanitário é um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente, lixo domiciliar que fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas. Permite a confinamento segura em termos de controle de poluição ambiental, proteção à saúde pública; ou, forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, através de confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente, solo, de acordo com normas operacionais específicas, e de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais.

Os aterros chamados de controlados, geralmente são antigos lixões que passaram por um processo de remediação da área do aterro, ou seja, isolamento do entorno para minimizar os efeitos do chorume gerado, canalização deste chorume para tratamento

adequado, remoção dos gases produzidos em diferentes profundidades do aterro, recobrimento das células expostas na superfície, compactação adequada, e gerenciamento do recebimento de novos resíduos. A gestão de todas estas características, permitem que o aterro passe a ser controlado!

Convém salientar de que antes de se projetar o aterro, são feitos estudos geológico e topográfico para seleccionar a área a ser destinada para sua instalação de forma que não comprometa o meio ambiente. É feita, inicialmente, impermeabilização do solo através de combinação de argila e lona plástica para evitar infiltração dos líquidos no solo. Os líquidos são captados (drenados) através de tubulações e escoados para lagoa de tratamento. Para evitar o excesso de águas de chuva, são colocados tubos ao redor do aterro, que permitem desvio dessas águas, do aterro.

A quantidade de lixo depositado é controlada na entrada do aterro através de balança. Os gases liberados durante a decomposição são captados e podem ser queimados com sistema de purificação de ar ou ainda utilizados como fonte de energia (aterros energéticos).

Em Cabo Verde, não existe legislação que especifique as características técnicas de construção de um aterro sanitário. Por outro lado, a classificação dos resíduos não é feita de igual forma em todos os países, o que dificulta a realização de correlações entre diversos e diferentes universos, RUSSO (2003).

Neste caso, só nos resta fazer uma análise comparativa, isto é, aquilo que já foi produzido noutros países. Por exemplo, no Brasil, segundo a Norma Técnica NBR 8419 (ABNT, 1984), o aterro sanitário não deve ser construído em áreas sujeitas à inundação. Entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada de espessura mínima de 1,5 m de solo insaturado. O nível do solo deve ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região. O solo deve ser de baixa permeabilidade (argiloso). O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 metros de qualquer curso d'água. Deve ser de fácil acesso. A arborização deve ser adequada nas redondezas para evitar erosões, espalhamento da poeira e retenção dos odores. Devem ser construídos poços de monitoramento para avaliar se estão ocorrendo vazamentos e contaminação do lençol freático: no mínimo quatro poços, sendo um a montante e três a jusante, no sentido do fluxo da água do lençol freático. O efluente da lagoa deve ser monitorado pelo menos quatro vezes ao ano.

Em Portugal, ao nível legislativo foi aprovada a Directiva Aterros 1999/31/CE de 26 de Abril, já convertida para a ordem jurídica interna através do Decreto-Lei n.º 152/2002 de 23 de Maio relativa à deposição de RSU em aterros que define metas temporais de admissão de resíduos biodegradáveis em aterros sanitários, que implicam na redução da deposição destes resíduos e na consequente valorização da fracção não admitida, nomeadamente através da compostagem e ou digestão anaeróbia ou outra forma de valorização, RUSSO (2003). De um modo geral, o local de implantação de um aterro sanitário deve satisfazer, tanto quanto possível, os seguintes critérios (DGQA, 1990/91):

1. Ser geológica e hidrogeologicamente aceitável, isto é, que não constitua um risco de contaminação das águas (subterrâneas ou superficiais) e terrenos adjacentes (recomendável um coeficiente de permeabilidade do solo,  $K \leq 10^{-9}$  m/s);
2. Situar-se de modo a conjugar os melhores acessos com os menores percursos (maiores distâncias significam maiores custos de transporte);
3. Não afectar locais relativamente ao arrastamento de cheiros e materiais pelo vento, devendo preferencialmente encontrar-se afastado um mínimo de:

- 250 metros de qualquer habitação isolada
- 400 metros de qualquer aglomerado populacional;
- 4. Garantir a existência de grandes quantidades de solo apropriado para cobertura diária e recobrimento final dos resíduos;
- 5. Estar afastado no mínimo 100 metros de captações de água subterrânea;
- 6. Não constituir risco de incêndio (ou outros) para as zonas envolventes;
- 7. Possuir facilidade para a instalação de electricidade e água;
- 8. Não ocupar terrenos afectos à zona agrícola ou à reserva ecológica nacional;
- 9. Permitir uma boa inserção na paisagem tanto durante a exploração como após o encerramento, RUSSO (2003)

Nos Estados Unidos e da USEPA de acordo com TCHOBANOGLIOUS, G. et al. (1993), DAVIS, L. M. et al (1991) e a USEPA, recomendam, entre outros, as seguintes condições de protecção e de construção de aterros:

Afastamentos mínimos de:

- 30 m de linhas de água (rios);
  - 160 m de poços de água potável;
  - 65 m de casas, escolas e parques;
  - Não localização em áreas inundáveis, a não ser sob condições excepcionais;
- A construção de aterros em áreas sísmicas e instáveis só é possível sob rigorosas condições de projecto, demonstrativas das condições de segurança.

Em França, foi a legislação é extremamente restritiva e exigente, com base em dois critérios: de exclusão e de hierarquia. No primeiro caso, são eliminados terrenos sem condições geológicas adequadas, independentemente das outras considerações (BEGASSAT, P. et al, 1995, Apud RUSSO, 2003).

Assim, devem obrigatoriamente ser seleccionados terrenos com constituição argilosa, por serem estas as únicas formações geológicas capazes de manter um comportamento plástico e não apresentar fracturas ou rupturas, contrariamente a outras formações rochosas. Os critérios adoptados são os seguintes:

- 1 - De exclusão: sismicidade, áreas expostas a inundações, geologia desfavorável e reservas naturais;
- 2 - Critérios hierárquicos: Protecção de fontes de abastecimento de água; características do subsolo; densidade populacional; protecção de áreas ecológicas sensíveis; protecção de áreas de reserva agrícola; protecção de edifícios históricos; proximidade das zonas produtoras de resíduos; proximidade de vias de comunicação; incómodos devidos ao tráfego; protecção da paisagem; protecção de recursos florestais.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, no designado Código Europeu, é recomendado para a implantação de aterros sanitários, que sejam respeitadas as seguintes distâncias de protecção:

- 200 m de imóveis habitados, terrenos de desporto ou locais de acampamento;
- 20 m dos espaços arborizados;
- 35 m dos cursos de água;
- 500 m de moinhos de água;
- 55 m das margens de represas de águas de abastecimento;

Em relação a distâncias mínimas apresentadas para cursos de água e margens de represas de abastecimento os valores são demasiado próximos, o que se acredita serem recomendações em casos extremos e com estruturas de controlo da unidade sanitária que garantam segurança contra eventual poluição dos mananciais. De qualquer dos modos não são recomendáveis tais distâncias como termos gerais, preferindo-se a sua

multiplicação por 10. De igual modo, por potenciarem a sua recuperação ambiental, também são aconselhados, ainda, segundo a OMS, terrenos propícios à localização de aterros, locais com as seguintes características:

- Terrenos baldios, charnecas, solos de rendimento pobre e, de uma maneira geral, todos os locais cujos terrenos poderão vir a beneficiarem com a instalação de um aterro;
- Locais onde foram extraídos saibro ou areia;
- Locais de antigas escavações mineiras;
- Antigas pedreiras;

Como se pode observar as recomendações são diversas e os valores de protecção igualmente diversos, o que querará dizer que, realidades e instituições que as fazem são diferentes. Por isso, é melhor que para cada realidade, deverá ter-se em conta os factores predominantes e garantias de segurança e qualidade das estruturas a implantar.

### **2.1.9 Aterro controlado**

Aterro controlado é definido como um método que utiliza alguns princípios da engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho (IPT, 2000).

Aterro sanitário é definido como uma técnica de disposição dos resíduos sólidos no solo, sem causar danos à saúde e à segurança pública, minimizando os impactos ambientais; método este que utiliza princípios de engenharia para confinar resíduos sólidos na menor área possível e reduzi-lo ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou em intervalos menores, se necessário. (ABNT, NBR-8419/84).

É uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e a sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Este método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho. Esta forma de disposição produz, em geral, poluição localizada, pois similarmente ao aterro sanitário, a extensão da área de disposição é minimizada. Porém, geralmente não dispõe de impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas), nem sistemas de tratamento de chorume ou de dispersão dos gases gerados. Este método é preferível ao lixão, mas, devido aos problemas ambientais que causa e aos seus custos de operação, a qualidade é inferior ao aterro sanitário. Na fase de operação, realiza-se uma impermeabilização do local, de modo a minimizar riscos de poluição, e a proveniência dos resíduos é devidamente controlada. O biogás é extraído e as águas lixiviantes são tratadas. A deposição faz-se por células que uma vez preenchidas são devidamente seladas e tapadas. A cobertura dos resíduos faz-se diariamente. Uma vez esgotado o tempo de vida útil do aterro, este é selado, efetuando-se o recobrimento da massa de resíduos com uma camada de terras com 1,0 a 1,5 metro de espessura. Posteriormente, a área pode ser utilizada para ocupações "leves" (zonas verdes, campos de jogos, etc.).

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB - 1989, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE - e editada em 1991, a disposição final de lixo nos municípios brasileiros assim se divide:

- 76% em lixões;
- 13% em aterros controlados;
- 10% em aterros sanitários;

1% passam por tratamento (compostagem, reciclagem e incineração).

Os aterros sanitários são planeados para reduzir ao máximo os impactos dos resíduos sólidos, como a captação e o tratamento do chorume, a impermeabilização do solo, construção de canais de drenagem pluviais, aproveitamento dos gases produzidos pela decomposição do lixo e ainda o impacto visual é minimizado, pois deve ser mantido um cinturão verde ao redor do aterro e o resíduo deve ser constantemente coberto (MANHAGO, 2008).

### **2.1.10 Lixão**

No Lixão (ou Vazadouro, como também pode ser denominado o lixão) não existe nenhum controle quanto aos tipos de resíduos depositados e quanto ao local de disposição dos mesmos. Nesses casos, resíduos domiciliares e comerciais de baixa periculosidade são depositados juntamente com os industriais e hospitalares, de alto poder poluidor.

Nos lixões pode haver outros problemas associados, como por exemplo a presença de animais (inclusive a criação de porcos), a presença de catadores (que na maioria dos casos residem no local), além de riscos de incêndios causados pelos gases gerados pela decomposição dos resíduos e de escorregamentos, quando da formação de pilhas muito íngremes, sem critérios técnicos.

Lixão é uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos municipais, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou a saúde pública (IPT, 2000).

(Obs: os lixões não podem ser considerados formas adequadas de disposição de resíduos, apesar de sua disseminação!)

### **2.1.11 Recolha seletiva**

A recolha selectiva é uma operação específica que visa recolher os materiais das diferentes categorias (vidro, papel/cartão, plástico/metálico, pilhas e aparelhos electrónicos). A eficiência desta recolha aumenta imenso através de um gesto simples e fácil por parte de todos, a separação dos resíduos na origem para posterior deposição nos locais apropriados, os Ecopontos ou Ecocentros, Pilhões e Electrões, em hipermercados, supermercados e lojas aderentes. Actualmente, considera-se em números aproximados que uma pessoa produz, em média, 1 kg de resíduos sólidos urbanos por dia. Pode parecer pouco, mas nas áreas urbanas com vários milhares de habitantes que, conseqüentemente, produzem milhares de toneladas de lixo diário, torna imprescindível esse processo. O estilo de vida adoptado actualmente, favorece a tendência de aumento dos Resíduos Sólidos Urbanos, e a solução não pode passar por construir outro Aterro Sanitário que só deverá ser uma solução de último recurso. Por isso, é necessária a consciencialização de todos para este problema e a separação dos nossos resíduos na origem tem de continuar a ser realizada e incentivada.

As vantagens da Recolha Selectiva são evidentes, desta forma, a partir da sua separação de resíduos na origem e conseqüente deposição, é possível encaminhar estes resíduos para valorização e reciclagem.

**Figura 1 - Símbolos da reciclagem por material**

Um processo de reciclagem exige um projecto multidisciplinar: psicólogos, advogados, técnicos ambientais, publicitários, professores, operários especializados na recolha e na transformação. São necessários meios logísticos de recolha como contentores e veículos de transporte, locais de armazenamento e transformação dos resíduos. Neste âmbito são também colocados em locais estratégicos pontos receptores. Este empreendimento exige recurso a campanhas publicitárias para informação e sensibilização da população dos perigos da não reciclagem, e os seus benefícios para a economia e para o ambiente. Para o efeito, apoiam-se geralmente numa campanha publicitária massiva que por vezes também consideram mecanismos de compensação.

**Quadro 1 – Cenário de Classificação dos Resíduos de acordo com os objectivos especificados**

OBJECTIVO	CLASSIFICAÇÃO
Identificar a fonte geradora de resíduo.	Domiciliares, comerciais, industriais, de serviço de saúde, de construção e demolição, de terminais de transporte, de poda e capinação, de estações de tratamento de água de esgoto.
Identificar a natureza física	Seco ou molhado
Identificar grau de biodegradabilidade	Facilmente biodegradável, moderadamente, difícil e não biodegradável
Avaliar a periculosidade	Perigoso, inerte e não inerte
Identificar o grau de reciclagem	Reciclagem, inservível, compostável

Por outro lado, recolha selectiva leva a reciclagem que apresenta inúmeros aspectos positivos, nomeadamente a quantidade de empregos que ela tem gerado nas grandes cidades.

Os resíduos sólidos urbanos, mais do que “lixo”, devem ser encarados como um recurso que não se deve nem pode ser desperdiçador. Experiências neste domínio tem demonstrado a importância ambiental da chamada 3R – reduzir, reutilizar e reciclar.

A maior parte dos resíduos sólidos urbanos, são materiais fermentáveis, mas os papéis e os cartões, os metais, os plásticos e os vidros representam também, de um modo geral, volumes significativos. Porém, todos estes componentes dever ser reaproveitados. Os aproveitamentos possíveis dependem, todavia, do destino final considerado.

### **2.1.12 Cenários de deposição atual dos resíduos sólidos nos municípios de Santiago**

Segundo o Decreto-Lei nº31/2003 de 1 de Setembro, a eliminação dos resíduos sólidos urbanos, industriais e hospitalares é sem dúvida um dos grandes problemas que o país enfrenta, tendo em conta não só os riscos ambientais decorrentes de uma deficiente eliminação dos resíduos, 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 ambiente sadio e equilibrado. Ainda o mesmo decreto regista que, Cabo Verde, como outros países em desenvolvimento, nomeadamente africanos, enfrenta dificuldades económicas que não têm permitido a necessária mobilização de recursos e técnicas para a eliminação e gestão adequadas e com eficiência dos resíduos.

Por isso, o tratamento dos resíduos sólidos urbanos ainda está numa fase inicial, à espera de soluções inovadoras. Procura-se uma solução de fundo para o problema de detritos e essa solução pode passar pela industrialização dos resíduos com a produção de água e de energia. Actualmente os resíduos sólidos são recolhidos e enviados para as lixeiras a céu aberto onde são queimados ou enterrados. A recolha de lixo é feita por camiões de caixa hermética e de caixa aberta, tractores e retro-escavadoras e contentores de 1.100 e 800 litros e de 8 e 4m<sup>3</sup>.

**Figura 2 - Um dos Aspectos da Lixeira de Caiada - Arredores da Cidade da Praia<sup>2</sup>**



Os serviços de saneamento dos vários municípios de Santiago recolhem diariamente, cerca de 800m<sup>3</sup> de resíduos, mas estima-se que a produção seja o dobro, tendo em conta que os comércios e as indústrias não estão abrangidos por este sistema de recolha, o que vem contribuindo para a degradação do meio ambiente, pois, os resíduos são colocados, sem um mínimo de controlo, principalmente nos leitos das Esta situação, para além dos problemas de estética e de saúde que daí advêm, é complicado por ocasião das chuvas, quando as águas transportam os resíduos para o mar, que os devolve de volta às praias que servem as cidades, ou zonas do litoral.

Os resíduos produzidos pela actividade humana podem enquadrar-se em quatro grandes grupos, designadamente sólidos urbanos, resíduos industriais, resíduos florestais e agroindustriais e resíduos tóxico-perigosos (hospitalares, radioactivos, etc.).

Na maior parte dos casos, os depósitos actuais de lixo encontram-se em pequenas áreas muito próximo das populações.

A localização sobre uma área que não é a melhor, associada aos potenciais impactos inerentes ao aterro, indica que a destinação final dos resíduos deveria ser deslocada para locais mais apropriados.

A quantidade de resíduos sólidos produzidos por uma comunidade varia de acordo com o nível sócio-económico da população e localização geográfica.

O aumento de poder de compra em meio urbano, a variedade de produtos postos à disposição e as limitações de tempo do consumidor urbano, fazem com que a composição física dos resíduos sólidos também seja diferente do meio urbano para o meio rural, já que no meio rural os resíduos produzidos tem maior percentagem de matérias orgânicas em detrimento de papel e cartão.

---

<sup>2</sup> - Fonte: Relatório sobre o sector de água e saneamento em Cabo Verde, 2004

O Livro Branco Sobre o Estado do Ambiente, 2004, considera que 34% da população produzem resíduos a um ritmo semelhante aos 66% da população servida. Partindo deste pressuposto, estabelece que a quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos produzidos, a nível nacional, é estimada em cerca de 101.000 toneladas/ano. Esta quantidade equivale a uma produção de resíduos de 600 gramas/habitante/dia.

Em geral, continua o mesmo documento, cada município tem uma lixeira oficial que coexiste com lixeiras selvagens. Estas, geralmente não são vedadas o que permite o livre acesso. Os resíduos não são cobertos diariamente com terra, sendo queimados a céu aberto.

Com uma população aproximadamente de 275.000 habitantes, adotando uma produção de lixo per capita da ordem de 0,50 kg/hab/dia, densidade média de lixo de 0,70 t/m<sup>3</sup> e uma vida útil do aterro de 10 anos, a produção calculada, no período, rondam cerca de 700.000 m<sup>3</sup> com um volume acumulado (lixo + cobertura de solo) de 900.000 m<sup>3</sup>.

Adotando-se o método da trincheira<sup>3</sup>, tem-se como área mínima de 13,5 ha. A fim de acomodar outras actividades operacionais do aterro, além de uma possível ampliação, pode-se optar por uma área mínima de 20 ha.

Em termos comparativo, segundo Pesquisa Nacional sobre Saneamento Básico (PNSB - 2000), a quantidade de resíduos sólidos gerados diariamente no Brasil varia de acordo com a região, entre 0,79 e 1,96 kg/hab/dia. A grande discrepância entre os valores se deve a presença dos resíduos não domiciliários. Segundo a mesma pesquisa a geração média per capita é de 1,35 kg/dia. Sobre a gestão de resíduos sólidos e limpeza urbana, a disposição e o tratamento de resíduos sólidos distribuem-se da seguinte forma: 69% depositados em lixões a céu aberto, 13% em aterros controlados, 13,8 % em aterros sanitários<sup>3</sup>, 4,2% têm outra destinação, como as usinas de compostagem e a incineração, diferenciados segundo o quadro a seguir:

**Quadro 2 - Código de cores para a recolha selectiva<sup>4</sup>.**

Cores	Resíduos
Azul	Papel/papelão
Vermelha	Plástico
Verde	Vidro
Amarela	Metal
Preta	Madeira
Laranja	Resíduos perigosos
Branca	Resíduos laboratoriais e de serviço de saúde.
Roxo	Resíduos radioactivos
Maron	Resíduos orgânicos
Cinza	Resíduos não reciclável ou misturado, ou contaminado não passível de ser separado

<sup>3</sup> - Ha três fatores a considerar: topografia da área; tipo de solo; profundidade do lençol freático. A análise desses fatores determinará o método a empregar. Existem três possibilidades: trincheira; rampa; área. Os procedimentos para a execução da obra são quase os mesmos, independente do método seguido. Eis aqui as regras básicas para operação em aterros sanitários: espalhamento e a compactação do lixo deverão ser efetuados, sempre que possível, de baixo para cima, a fim de se obter um melhor resultado; para uma boa compactação, o espalhamento do lixo de verá ser feito em camadas não muito espessas de cada vez, com o trator dando de três a seis passadas sobre a massa de resíduos; a altura da célula deve ser de 2 a 3 metros para que a decomposição do lixo aterrado ocorra em melhores condições; a camada de solo de cobertura ideal é de 20 a 30 cm para os recobrimentos diários de lixo; uma nova célula será instalada no dia seguinte em continuidade à que foi incluída no dia anterior; a execução de uma célula em sobreposição à outra ou o recobrimento final do lixo só deverá acontecer após um período de cerca de 60 dias; a camada final de material de cobertura deverá ter no mínimo 50 cm; a largura da célula de vera ser a menor possível (em geral, suficiente para descarga de três a cinco caminhões coletores). Método da trincheira - É a técnica mais apropriada para terrenos que sejam planos ou poucos inclinados, e onde o lençol freático esteja situado a uma profundidade maior em relação à superfície. Método da rampa - Indicado quando a área a ser aterrada é plana, seca e com um tipo de solo adequado para servir de cobertura. A permeabilidade do solo e a profundidade do lençol freático confirmarão ou não o uso desta técnica (BARBOSA, 1980).

<sup>4</sup> - Fonte: Resolução, Conama 275

No Livro Branco Sobre o Estado do Ambiente, em Portugal, elaborado em 1991, pelo Ministerio do Ambiente, fazem-se estimativas para a produção de resíduos para o ano de 1993 a partir dos valores conhecidos de 1987 e 1990. A partir das taxas de crescimentos encontradas, estimou-se então a capitação media no ano 2000 seria cerca de 960 g/(hab/dia).

Segundo o Plano Estrategico de Residuos Solidos Urbanos, de Portugal, em 2005, dos 4,5 milhoes de toneladas de Residuos recolhidos, 65% foram encaminhados para aterros, 8% foram reciclados e 7% foram para a compostagem.

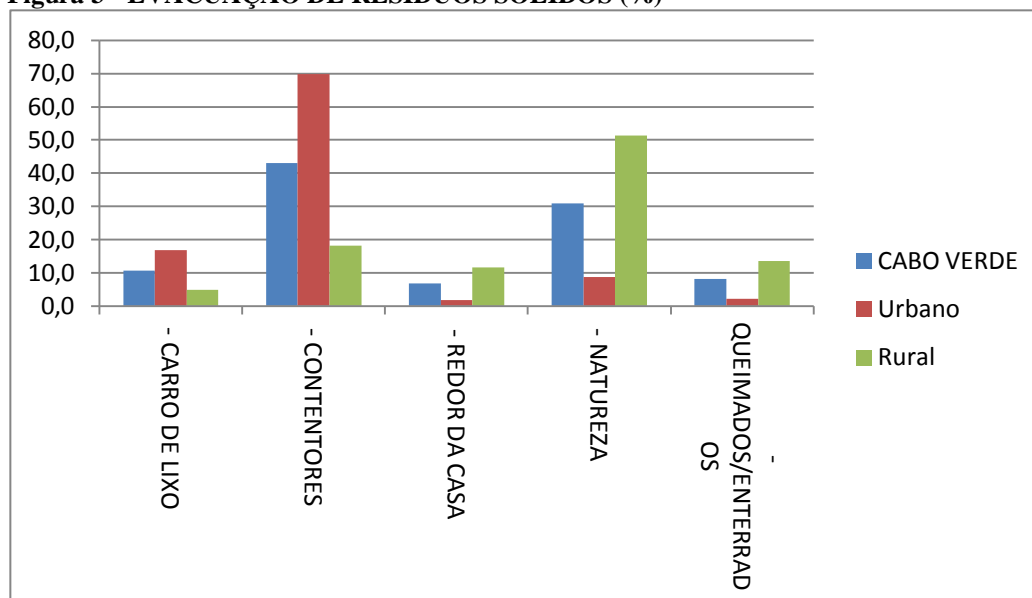
A matéria orgânica (restos de comida, resíduos resultantes de jardinagem...) constitui a maior fatia na produção de resíduos sólidos urbanos em Portugal Continental:

**Quadro 3 – Tipos de Residuos recolhidos em Portugal em 2000<sup>5</sup>**

Matéria orgânica	36%
Papel/cartão	24%
Finos	12%
Plástico	11%
Outros	6%
Vidro	6%
Têxtil	3%
Metal	2%

Pode-se ver que a nossa realidade está muito longe daquilo que passa noutras paragens, principalmente no que se refere a produção e tratamento final.

**Figura 3 - EVACUAÇÃO DE RESIDUOS SOLIDOS (%)<sup>6</sup>**



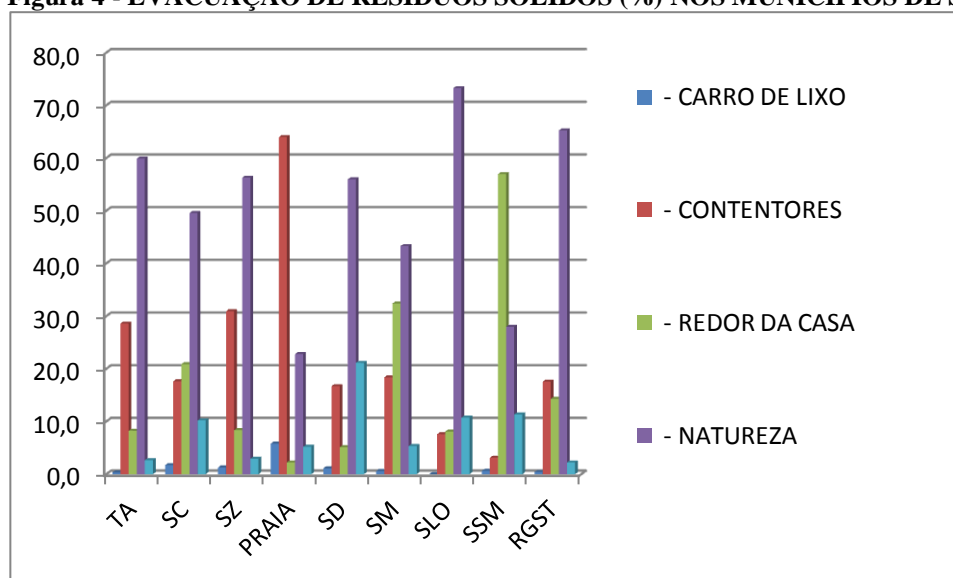
<sup>5</sup> - Fonte: Produção de RSU/2000. Instituto Nacional de Resíduos.

<sup>6</sup> - Fonte: QUIBB 2007

Apenas os centros urbanos oferecem mínimas condições de recolha de resíduos sólidos urbanos. Neste caso, conforme a figura 1, os contentores ultrapassam a média nacional. Nos municípios rurais, o destaque vai para a deposição de resíduos na natureza.

Já a figura 2, exceptuando a Cidade da Praia, onde a recolha nos contentores se destaca, os restantes municípios a natureza é o principal lugar para a deposição dos resíduos sólidos. Um outro dado importante de reter tem a ver com uma grande percentagem da população deitar os resíduos no redor de casa.

**Figura 4 - EVACUAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (%) NOS MUNICÍPIOS DE SANTIAGO<sup>7</sup>**



Pode-se constatar através da figura 2 de que, exceptuando o município da Praia a evacuação de resíduos sólidos na natureza se destacam e que redor de casa e queimadas tem uma grande percentagem em municípios onde a recolha em contentores é bastante residual.

Na tentativa de alterar a situação, principalmente no que se refere a saúde pública, que o Decreto Lei n.º 31/2003, aborda o aspecto da eliminação de resíduos para a protecção do meio ambiente e saúde pública, onde realça que os custos de eliminação dos resíduos são suportados pelo respectivo produtor e os responsáveis pelo destino final a dar aos resíduos são os municípios (resíduos urbanos), as empresas (resíduos industriais) e as unidades de saúde (resíduos hospitalares);

Segundo PANAI (Plano Nacional Ambiental) – 2004, a quantidade enorme de embalagens, descartáveis, resíduos comerciais jogados na natureza e a fraca capacidade ou inexistência de indústria de reciclagens no país, a falta de sensibilização dos consumidores e comerciantes e a inexistência de uma colecta e depósito selectiva de lixos tem contribuído para a degradação ambiental, resultante da actividade comercial. As práticas de consumo são também um dos aspectos importante na análise da poluição sólida. Numa sociedade de importação, onde tudo parece descartável o foco do conflito está entre a poluição sólida (comerciantes e consumidores) e a falta de indústrias de reciclagem e reaproveitamentos no país (indústria e governo).

**Quadro 4 - Dados sobre a produção e recolha de RSU<sup>8</sup>**

<sup>7</sup> - Fonte: QUIBB 2007

População total	270.087
População urbana	178.600
Produção RSU Santiago	39.100 t/a
Recolha RSU	31.300 t/a
População urbana Servida	143.100
Produção media por habitante	0,6 kg
Taxa cobertura de recolha na cidade da Praia	85%
Taxa cobertura de recolha na cidade noutros municipios	76%
Fracção orgânica	49%
Densidade solta na análise	155 kg/m <sup>2</sup>

Pose-se ver a a capacidade de recolha está muito aquém da quantidade produzida e a taxa de cobertura é muito diferente entre a Praia e os outros municipios de Santiago.

### **2.1.13 Aspectos Técnicos e Ambientais para Implantação de um Aterro Sanitário**

A prática da boa engenharia recomenda que a implantação de um aterro sanitário seja recedida de uma série de estudos que vão desde levantamentos de dados gerais passando pelos estudos de viabilização das áreas mais adequadas até a elaboração do projeto e dos planos de execução do aterro, nomeadamente as características do meio físico da área para instalação do aterro sanitário. Uma área adequada significa menores gastos com preparo, operação e encerramento do aterro, mas fundamentalmente significa menores riscos ao meio ambiente e à saúde pública. Por isso, procuramos realçar alguns aspectos relacionados com a implantação de um aterro sanitário.

#### ***A. Dados topográficos***

São informações sobre a compartimentação geomorfológica e características das unidades que compõem o relevo (colinas, encostas, talvegues, entre outras) e sobre a declividade dos terrenos. É um dos fatores mais relevantes na seleção de um local pois há uma relação muito grande entre o relevo e a ampliação dos problemas ambientais. Sendo assim, o terreno deve ter uma conformação e topografia compatíveis, onde Locais de baixa declividade são preferenciais a fim de minimizar o escoamento de águas superficiais para o aterro e a ocorrência de uma elevação ou desnível natural, com o objetivo de facilitar a construção das células do lixo.

#### ***B. Dados pedológicos***

São as informações sobre as características e distribuição do solo na região, onde irá instalar o aterro sanitário. A identificação do tipo de solo mais indicado para material de empréstimo e a avaliação da susceptibilidade de ocorrência de processos erosivos. O solo considerado apropriado é aquele de fácil escavação e de textura argilo-arenosa (baixo coeficiente de permeabilidade), que combine boa capacidade de depuração da argila e resistência de carga da areia. Considera-se desejável a existência, no local, de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais de baixa permeabilidade;

---

<sup>8</sup> - Fonte, Projecto Integrado de Recolha de Residuos Solidos Urbanos da ilha de Santiago, 2006

### ***C. Dados geológico-geotécnicos***

São as informações sobre as características, distribuição e ocorrência de materiais que compõem o substrato dos terrenos e das principais feições estruturais (foliação, falhas e fraturas), onde está incluso o tipo e a posição das fronteiras geológicas. Estudos sobre condutividade hidráulica, pH, capacidade de troca catiônica, salinidade, fator de retardamento, entre outros, são importantes para avaliar o tipo de interação solo/contaminante;

### ***D. Jazidas de empréstimo***

Quando se pensa em aterro sanitário é necessário fazer uma avaliação da disponibilidade de material de cobertura diária (qualidade e quantidade) e da disponibilidade de material para as camadas de impermeabilização e cobertura (com baixa permeabilidade). A proximidade de jazidas de terra é muito aconselhável, a fim de que haja sempre abundância de material de cobertura;

### ***E. Dados hidrológicos***

É necessário ter informações sobre as principais bacias e corpos de água de interesse ao abastecimento público (âmbito local e regional), bem como informações sobre áreas de proteção de manancial. Por isso é importante avaliar a influência do aterro na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas;

### ***F. Dados Climáticos***

São as informações sobre o regime de chuvas e precipitação volumétrica, principalmente a série histórica, incidência solar, evaporação e evapotranspiração, intensidade e direção predominante dos ventos. Esta direção deve ser, a princípio, contrária à aglomeração urbana, a fim de evitar incômodos causados pela incidência de odores;

### ***G. Vegetação***

A flora deve ser preservada a qualquer custo independentemente do empreendimento. Por isso na definição do local onde deve fixar o aterro sanitário, uma vez que a fauna é um dos fatores restritivos. No entanto, é importante, uma vez que pode influenciar na escolha da área, quanto aos seus aspectos de redução do fenômeno de erosão, da formação de poeiras e transporte de odores;

### ***H. Distância em relação a núcleos populacionais***

O local mais apropriado para instalação de um aterro sanitário é obrigado, segundo a legislação, de estar afastado da aglomeração urbana a uma distância mínima de 500 m;

### ***I. Distância dos centros urbanos geradores do lixo***

Por ser o centro gerador de lixo, recomenda-se que a área deva estar situada distante de residências. Porém o mais próximo possível de centro de geração do lixo, diminuindo as despesas com transporte e aumentando a produtividade da coleta. Por se tratar de uma

ilha constituída de 9 concelhos, a distância ideal não deve estar muito longe do maior centro produtor de lixo, neste caso a cidade da Praia;

### ***J. Acessos***

Se o acesso ao aterro sanitário não atravessar os aglomerados urbanos, seria ótimo. Também é ótimo se existir mais do que uma via, de forma a evitar aglomerações de camiões cheios de material.

### 3. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ARQUIPÉLAGO DE CABO VERDE

A República de Cabo Verde é um pequeno estado, arquipélago de origem vulcânica, localizado no oceano atlântico cerca de 500 km do promontório de Cabo Verde na África Ocidental, de onde lhe veio o nome. As ilhas foram descobertas nos meados do século XV<sup>9</sup> por navegadores portugueses, na primeira fase de expansão portuguesa. Segundo a documentação da época, as ilhas achavam-se despovoadas e sem vestígios de presença humana, pelo que foi necessário trazer, praticamente tudo (pessoas, gado e plantas) para dar início a um processo de permanência dos habitantes iniciada em 1462 (SEMEDO, 2004).

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E DIMENSÕES

O arquipélago de Cabo Verde localiza-se no Oceano Atlântico, ao largo da costa da África Ocidental do Senegal e da Mauritânia, mais precisamente do Cabo Homónimo, (Cabo Verde senegalês) do qual recebeu o nome, separado cerca de 500 km do continente africano, entre as latitudes de 17° 30' e 15°00' Norte e as longitudes 22° 30' e 25° 30' Oeste (ALVES et al., 1979 apud HERNANDEZ, 2008), (Figura 5). O ponto mais próximo do cabo Verde no Senegal, ilhéu Baluarte, na ilha da Boavista, dista 455 Km da costa africana. As coordenadas geográficas dos pontos extremos e as dimensões das diferentes ilhas e ilhéus são encontradas nos Quadros 4 e 5.

**Figura 5 - Localização de Cabo Verde na África Ocidental<sup>10</sup>.**



<sup>9</sup> - Entre as várias hipóteses, admite-se como a data oficial o ano de 1460, pelos navegadores António de Nola e Diogo Gomes.

<sup>10</sup> - Fonte: <http://www.africa-turismo.com/mapas/cabo-verde.htm>

**Quadro 5- . Pontos extremos do arquipélago<sup>11</sup>.**

Local	Ilha	Coordenadas	
Ponta do Sol	Santo Antão	Latitude	17° 12'N
Ponta de Nho Martinho	Brava	Latitude	14° 48'N
Ilhéu Baluarte	Boa Vista	Longitude	22° 40'W
Ponta de Mangrade	Santo Antão	Longitude	25° 22'W

O vulcanismo, a insularidade atlântica e a aridez saheliana constituem as características naturais mais notáveis de Cabo Verde. O arquipélago é formado por dez ilhas e vários ilhéus, donde destacamos os mais importantes. A superfície emersa cobre uma área de 4.033 Km<sup>2</sup>. A dimensão das ilhas varia entre 991 Km<sup>2</sup> (Santiago) e 35km<sup>2</sup> (Santa Luzia) – Quadro 6.

**Quadro 6 - Dimensões comparativas das ilhas<sup>12</sup>.**

Ilhas e ilhéus	Superfície em Km2	Comprimento em máximo em metros	Largura máxima em metros	Ponto culminante	Altitude em metros
Santo Antão	779	42 750	23 970	Tope da Coroa	1 979
São Vicente	227	24 250	16 250	Monte Verde	725
Santa Luzia	35	12 370	5 350	Topona	395
Ilhéu Branco	03	3 975	1 270		327
Ilhéu Raso	07	3 600	2 770		164
São Nicolau	343	44 500	22 000	Monte Gordo	1 304
Sal	216	29 700	11 800	Monte Grande	406
Boavista	620	28 900	30 800	Estancia	387
Maio	269	24 100	16 300	Penoso	436
Santiago	991	54 900	28 800	Pico de António	1 394
Fogo	476	26 300	23 900	Pico do Fogo	2 829
Brava	64	10 500	9 310	Fontainhas	976

<sup>11</sup> - **Fonte:** Bacelar Bebiano, 1932.

<sup>12</sup> - **Fonte:** Bacelar Bebiano, 1932.

Ilhéu Grande	02	2 350	1 850		95
Ilhéu Luís Carneiro	0.22	1 950	500		32
Ilhéu de Cima	1.15	2 400	750		77

### 3.2 O Clima e o tempo

O clima de Cabo Verde está fortemente condicionado pela sua localização no Atlântico Oriental na zona de circulação dos ventos alísios<sup>13</sup> e na sua inserção numa extensão oceânica de uma vasta zona de climas áridos e semiáridos que abrange toda a África ao sul do Sahara, na faixa de transição entre o deserto e os climas úmidos tropicais. Esta zona é designada por Sahel<sup>14</sup>.

O clima desta zona é caracterizado por uma longa estação seca - intercalada por apenas um período de três meses úmidos, durante os quais as chuvas se concentram em alguns dias. Com relativa frequência ocorrem períodos de seca que podem durar vários anos.

A localização em pleno oceano constitui um importante fator moderador da temperatura das ilhas. Por esta razão, o ar mantém-se mais fresco, e as amplitudes térmicas anual e diurna registram valores baixos quando comparados com latitudes semelhantes do continente vizinho.

A precipitação e a humidade sofrem a influência marítima devido à existência de uma corrente fria a norte de Cabo Verde - a corrente de Canárias. No tempo de alísios, a massa de ar proveniente do Anticiclone dos Açores é arrefecido em contacto com o mar frio, mantendo condições de estabilidade atmosférica pouco favorável à ocorrência de precipitações.

As ilhas do sul (Brava, Fogo, Santiago e Maio) registram chuvas mais frequentes e mais abundantes, devido à maior probabilidade da Convergência Intertropical (CIT) no verão, chegar às suas latitudes. Por esta razão, os anos secos são mais frequentes nas ilhas do Norte (Barlavento), por isso, DUARTE FONSECA (1956) caracteriza as secas em Cabo Verde de gerais e regionais, sendo as secas regionais de Barlavento as mais frequentes.

O relevo constitui um importante fator de diferenciação micro-climática em andares, mais árido no litoral e mais húmido até altitudes da ordem dos 1500 metros. Nesta via, as ilhas orientais planas e baixas, limitam-se praticamente aos andares áridos e semiáridos.

Nas ilhas montanhosas as vertentes voltadas a Norte e a Nordeste, donde provêm os ventos dominantes, são mais frescas e com maior vegetação. Este fato deve-se às “precipitações ocultas”<sup>15</sup> provocadas pelos nevoeiros de altitude, resultantes da subida do ar dos alísios.

Assim, entre os principais fatores que influenciam as características climáticas do arquipélago destacamos: a localização oceânica na extensão da zona saheliana, a influência da corrente fria das Canárias e a latitude. E como fatores de diferenciação, a nível local: o relevo, a exposição aos ventos dominantes e a proximidade do continente.

<sup>13</sup> Vento proveniente dos Anticiclones subtropicais que se dirigem para as regiões equatoriais; no caso de Cabo Verde os alísios têm origem no Anticiclone do Açores pelo que a sua direção dominante é de Nordeste para Sudoeste.

<sup>14</sup> - Termo de origem árabe que designa a transição entre o deserto e o espaço urbanizado, na linguagem climática significa a transição entre a África húmida e o deserto do Sahara.- AMARAL (1964).

<sup>15</sup> - Também denominada *lluvia horizontal* em espanhol

À semelhança de toda a região saheliana, o arquipélago apresenta duas estações contrastadas, ligadas ao movimento da Convergência Intertropical (CIT).

Estação seca - de Novembro a Junho;

Estação húmida - de Julho a Outubro.

Os meses de Julho e Outubro são de transição, podendo apresentar as características da estação húmida ou da estação seca, consoante a maior ou menor duração anual das precipitações.

O estado de tempo nas ilhas de Cabo Verde está dependente da influência de três massas de ar com características diferentes e o regime dos ventos varia de acordo com a intensidade dos centros anticiclónicos de Açores e Santa Helena (Figura 5).

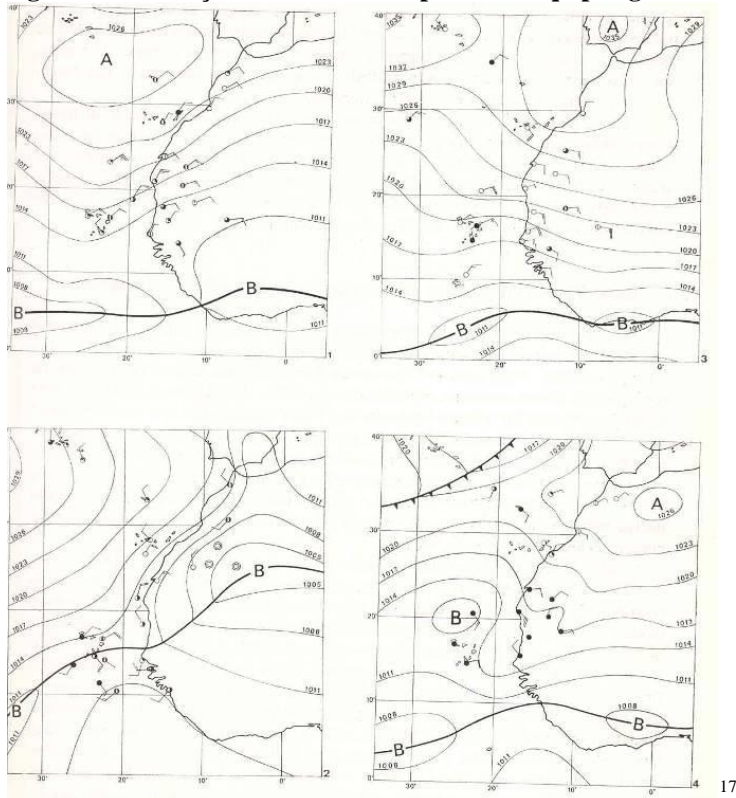
Alísio marítimo - massa de ar marítimo, originário do Anticiclone dos Açores, no seu trajeto conserva uma certa umidade, torna-se estável devido ao percurso sobre a corrente fria de Canárias e à inversão térmica em altitude; no entanto nas ilhas montanhosas, origina nuvens nas vertentes voltadas para norte e nordeste e alguma precipitação oculta.

Alísio continental - harmatão, massa de ar tropical continental, quente e seco proveniente do deserto do Sahara, originário da associação temporária do Anticiclone dos Açores com o da Líbia. É uma massa de ar quente e seco, que quando surge na sequência de tempestades de deserto arrasta uma grande quantidade de poeiras "bruma seca", e por vezes pode favorecer o transporte de pragas de gafanhotos do deserto (*Shistocerca gregaria*).

Invernada – entre os meses de Dezembro e Fevereiro podem ocorrer casos de invasão de massa de ar polar marítimo, que apesar de muito modificado, afecta o arquipélago originando um abaixamento geral da temperatura. Dominam ventos do Norte ou Ésnordeste e podem cair precipitações fracas, sobretudo nas ilhas montanhosas e nas vertentes voltadas a Norte.

Monção do atlântico sul-massa de ar úmido de carácter instável, proveniente do Anticiclone de Santa Helena. A monção, associada às flutuações da Convergência Intertropical é a principal responsável pelas precipitações registradas na estação húmida.

**Figura 6 - Condições atmosféricas típicas no arquipélago<sup>16</sup>**



17

As precipitações apesar de escassas ocorrem de forma torrencial, provocando grandes enxurradas e inundações. Por este motivo a erosão é muito intensa, quer pelas características das precipitações quer pela natureza do relevo.

### 3.3 Cobertura vegetal, flora e fauna terrestres

Não constitui tarefa fácil avaliar com rigor qual era a cobertura vegetal do arquipélago antes do povoamento iniciado na segunda metade do século XV. É provável que a atividade humana, ligada à criação extensiva do gado e à agricultura, tenha rompido o frágil equilíbrio ambiental das ilhas e favorecendo uma drástica diminuição da vegetação e alterado a sua flora original (CHEVALIER 1935, TEIXEIRA & BARBOSA, 1958).

Por outro lado, a insularidade longínqua e a origem vulcânica condicionaram seriamente o povoamento vegetal e animal das ilhas. Se por um lado o afastamento do continente constituiu uma barreira importante na chegada espontânea de animais de grande porte, a vegetação cujas sementes são trazidas pelo vento, pelas aves e pelas correntes marítimas, poderiam ser destruídas por correntes de lavas e cinzas vulcânicas nos períodos mais intensos de atividades vulcânicas nesta fase inicial de sucessão vegetal.

De um modo geral, a flora e a fauna deste arquipélago são relativamente pobres em termos de abundância e diversidade. Os ciclos de seca e a curta estação úmida são fatores naturais que limitam a formação de uma vegetação arbórea densa, o que justifica

<sup>16</sup> - . I – Tempo de alísios, II - Monção, III – Harmatão, IV – Invernada no tempo de alísio. Fonte: Amaral (1964).

uma vegetação espontânea predominantemente herbácea pontuada de algumas árvores e arbustos.

Depois do povoamento, a flora de Cabo Verde foi enriquecida com a introdução de espécies vegetais de vários quadrantes o que conduziu a um aumento considerável do número de espécies arbóreas. Em Cabo Verde, não existe cobertura florestal natural. Os espaços arborizados resultaram de iniciativas, principalmente governamentais, na perspectiva de proteger o solo, os recursos hídricos e diversificar os recursos lenhosos.

As acções de florestação iniciaram-se principalmente nas zonas altas: Serra Malagueta (1929), Pico de Antónia (1935) e Rui Vaz (1941) em Santiago, Monte Velha (1941) no Fogo, Monte Gordo (1941) em São Nicolau e Planalto Leste (1942) na ilha de Santo Antão.

É a seguinte a evolução das áreas florestadas, em diferentes períodos<sup>18</sup>:

1929 a 1974..... 2997 ha (0,7% da superfície do país

1976 a 1978..... 1575 ha

1986 a 1990..... 30601 ha

Até 1997, foi florestada em Cabo Verde uma superfície de 80303 ha, com a fixação de 32,226,806 plantas florestais.

Estima-se que em 1995, 80% das áreas arborizadas situavam-se nas zonas áridas e semi-áridas, e 20% (15203 ha) em zonas húmidas e sub-húmidas de altitude.

Os perímetros florestais de altitude são considerados de protecção pelo papel que desempenha na regularização do regime hídrico (escorrimento superficial e infiltração de águas pluviais) das bacias hidrográficas. Igualmente são objectos de protecção os perímetros implantados nas faixas litorais com o objectivo de impedir a invasão das areias principalmente nas ilhas de Boavista e S. Vicente.

As principais espécies utilizadas nas zonas áridas, são quanto a sua percentagem no contexto geral das plantações as seguintes: *Prosopis juliflora*, *Parkinsonia aculeata*, *Jatropha curcas*, *Atriplex* ssp, *Acacia holoserica*, *Acacia victoriae*, etc. Nas zonas de altitude, são *Eucalyptus camaldulensi*, *Grevillea robusta*, *Pinus* e *Cupressus* ssp.

A *Prosopis Juliflora* é aceite, dum modo geral, como a espécie que melhor se adapta às zonas áridas e semi-áridas. Contudo, a sua introdução vem diminuindo ao longo dos anos, concentrando a sua plantação nas zonas mais áridas.

O relevo e a exposição aos ventos dominantes criaram condições favoráveis a uma diferenciação micro-climática em andares. Assim, numa mesma ilha registram-se grandes contrastes de vegetação entre as vertentes e entre o litoral e a montanha.

TEIXEIRA e BARBOSA (1958) estabeleceram, com base nos dados pluviométricos, na exposição aos ventos dominantes, na cobertura vegetal e na flora os seguintes andares:

- Andar árido - desde o litoral até altitudes da ordem dos 150/200 metros; as precipitações anuais costumam ser inferiores a 300 mm; a frequência da seca é muito grande. Neste andar predominam as herbáceas xerofíticas. Predominam espécies vegetais afins à região saheliana. São exemplo de herbáceas a *Aerva javanica* (Burm. f.) ex Schultes, *Aristida cardosoi* P. Cout., *Amaranthus spinosus* L., *Indigofera colutea* (Burm. f.) Merrill; entre as arbustivas destacamos a *Calotropis procera* (Ait.) Ait. f., *Ziziphus mauritanicus* Lam., *Jatropha curcas* L. a arbórea mais notável é a *Acacia albida* Del.
- Andar semi-árido - localizado entre 150/200 metros a 300/400 metros de altitude. Neste andar, as precipitações anuais rondam os 300 e 400 mm - os arbustos são mais

<sup>18</sup> - Fonte: Direcção Geral de Agricultura e Pecuária, 2000, citado pelo Livro Branco sobre o estado de ambiente

frequentes, e a cobertura herbácea mais diversificada. Neste andar as culturas de sequeiro e a criação do gado ganham certa expressão. Entre as herbáceas destacamos a *Aristida cardosoi* P. Cout., *Bidens bipinata* L., *Hyparrhenia hirta* (L.) Stapf; entre as arbustivas a *Lantana camara* L., *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. var. *africana* Brenan, *Grewia villosa* Willd., nas arbóreas destacamos a *Phoenix atlantica* Chev., *Ficus capensis* Thunb., *Acacia albida* Del.

- Andar sub-húmido - situado entre os 300/400 metros e os 500/700 metros. As precipitações anuais oscilam entre os 400 mm e 600 mm. Predominam nesta zona as culturas de sequeiro e espécies arbóreas. Nas herbáceas destacamos o *Lotus melilitoides* Webb, *Andropogon gyanus* Kunth, *Desmanthus virgatus* (L.) Willd; entre as arbustivas, *Euphorbia tuckeyana* Steud, *Echium hypertropicum* Webb, *Lantana camara* L.. Atualmente predominam árvores exóticas, *Tamarindus indica* L., *Prosopis juliflora* (Sw.) DC, *Mangifera indica*, etc.
- Andar húmido - dos 500/700 metros a 1000/1400 metros encontramos o andar húmido. Aqui as precipitações anuais podem ser superiores a 600 mm. Predominam as culturas de sequeiro. Localmente, sobretudo em áreas não cultivadas, podemos encontrar espécies arbustivas que eventualmente formam mato denso. É neste andar que pode ser vista a maior parte das espécies endémicas das ilhas com destaque para o *Echium hypertropicum* Webb, *Artemisia gorgonum* Webb (arbustivos) *Sideroxilon marginata* (Decne.) Cout., (arbórea), *Campanula jacobea* (Bolle) Chev., *Diploaxis varia* Rustan, *Erysimum caboverdeanum* (Chev.), (herbáceas).

Os serviços florestais introduziram neste andar algumas espécies de árvores como: *Eucaliptus* spp; *Cupressus* spp. *Khaya senegalensis*, *Ceratonia siliqua*, etc.

Andar árido de altitude - acima dos 1300/1400 metros a humidade volta a diminuir, surgindo assim, um andar árido de altitude. Apenas as ilhas do Fogo e Santo Antão registram esta cintura seca, marcada por uma estepe de altitude, dado que só nestas ilhas o relevo atinge cotas superiores a 1500 metros. A vegetação é essencialmente herbácea. CHEVALIER (1935) considera três grandes etapas no povoamento vegetal de Cabo Verde, em função quer da área de proveniência das plantas, quer dos processos que conduziram à sua introdução:

As Espécies da Macaronésia – A circulação do vento, dominante, de Nordeste para Sudoeste, poderia explicar o processo de propagação e proveniências destas plantas. É neste grupo de plantas que se encontra a maior percentagem das espécies vegetais endémicas de Cabo Verde. Dominam espécies com afinidades aos arquipélagos das Canárias e Madeira. No entanto, a flora cabo-verdiana é nitidamente mais pobre, isto é, o número de espécies vegetais genuínas da Macaronésia é menor.

Neste conjunto encontramos as principais relíquias vegetais de Cabo Verde donde destacamos: o marmulano (*Sideroxilon marginata* (Decne.) Cout., o drageiro (*Dracaena draco* (L.) L., a tamareira cabo-verdiana (*Phoenix atlantica* Chev.), a língua de vaca (*Echium vulcanorum* Chev; *Echium hypertropicum* Webb e *Echium stenosphon* Webb), o tortolho (*Euphorbia tuckeyana* Steud), o lantisco (*Periploca laevigata* var. *chevalieri* Brow), a losna (*Artemisia gorgonum* Webb) etc., e muitas outras plantas aromáticas utilizadas na medicina tradicional.

Espécies da África tropical, principalmente da zona saheliana. Predominam nos andares baixos, espécies vegetais comuns à região saheliano-sudanesa. Tudo leva a crer que estas plantas existiam já no arquipélago antes do povoamento. A ocorrência de um fraco endemismo, neste grupo, permite especular que esta introdução seja posterior à das espécies da Macaronésia.

No entanto, é provável que muitas plantas africanas tenham sido introduzidas depois do povoamento. São exemplos de plantas de origem sudano-saheliana:

O Espinho Branco (*Acacia albida* Del.), a Calabaceira (*Adansonia digitata* L.), o Poilão (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn, o Tamarindeiro (*Tamarindus indica* L.), a Figueira Brava (*Ficus capensis* Thunb. e *Ficus sycomorus* L. subsp. *gnafalocarpus* (Miq.) C.C.Berg), o Zimbrão (*Ziziphus mauritianus* Lam.), o Bombardeiro (*Calotropis procera* (Ait.) Ait. f. ), o Barnelo (*Grewia villosa* Willd.), etc.

As aves, o vento e, eventualmente, as correntes marítimas, terão sido os responsáveis pela introdução destas plantas no arquipélago, uma das características comuns às plantas da Macaronésia e da região sahel-sudanesa (CHEVALIER 1935), (TEIXEIRA e BARBOSA 1958), (BAEZ & SANCHEZ-PINTO – 1983).

Neste particular, convem salientar que mais de duzentas espécies foram introduzidas, com procedência de quase todos os continentes. A América deu um grande contributo em plantas alimentares, ervas daninhas e plantas utilizadas para os mais diversos fins. Dada a grande lista, citamos apenas alguns exemplos:

- Plantas utilizadas na alimentação: o milho (*Zea mays* L.), a fava (*Phaseolus lunatus* L.), a batata-doce (*Ipomoea batata* Poir.), a batata comum (*Solanum tuberosum* L.), o tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.);

- Plantas utilizadas para outros fins: a lantana (*Lantana camara* L.), o carrapato (*Furcraea gigante* Vent.), o sisal (*Agave sisalana* Perrine), a purgueira (*Jatropha curcas* L.) o rícino (*Ricinus communis* L.), ...

Da Europa foram trazidas as primeiras plantas agrícolas. No entanto, as características climáticas das ilhas limitaram a sua propagação. A título de exemplo citamos: a vinha (*Vitis vinifera* L), a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), a macieira (*Malus* spp), a laranjeira, (*Citrus aurantium* L.) a figueira-de-Portugal (*Ficus carica* L.), etc.

Segundo o “Livro Branco sobre o Estado do Ambiente em Cabo Verde” (2000) a flora vascular está representada por 755 taxa espontânea. Mais de 50% da flora cabo-verdiana (331 taxa) foi provavelmente, introduzida pela ação humana. A flora indígena está representada por 224 espécies. Os endemismos estão representados por 85 espécies, pertencentes a 11 famílias e 17 gêneros.

A fauna indígena engloba espécies de recifes de corais, moluscos (bivalves, gastrópodes e cefalópodes), artrópodes (insetos, crustáceos e aracnídeos), peixes (grandes pelágicos, pequenos pelágicos e demersais), répteis e aves e, provavelmente, algumas espécies de mamíferos marinhos.

No domínio da fauna terrestre, da classe de animais representados em Cabo Verde, os répteis terrestres<sup>19</sup>, é aquela que melhor representa a fauna indígena do Arquipélago com 23 (82%) taxa (formas) endêmicos (SCHLEICH, 1996),

A avifauna indígena está representada por 36 taxa (formas) que se reproduzem no arquipélago, subdivididos em 6 espécies e 16 subespécies endêmicas (HAZEVOET, C.J. 1995 e 1996), totalizando 22 endemismos ou seja 58% do total da avifauna do território nacional. As restantes formas são consideradas naturalizadas.

Os estudos da entomofauna ainda estão muito limitados. No entanto a Lista Vermelha apresenta para os coleópteros indígenas um total de 155 (33%) espécies endêmicas e 100 espécies definitivamente introduzidas (cosmopolitas e subcosmopolitas), totalizando 42% de endemismos, considerada por GEISTHARDT (1996), a maior

<sup>19</sup> - Os répteis marinhos são representados por cinco espécies de Tartarugas marinhas.

representação de coleópteros das Ilhas Atlântidas<sup>20</sup>. Em relação aos acrídeos das 38 espécies existentes apenas 2 são endémicas, LECOQ (1996).

Os aracnídeos indígenas englobam 46 (41%) espécies endémicas de Cabo Verde. SCHMIDT & GEISTHARDT (1996).

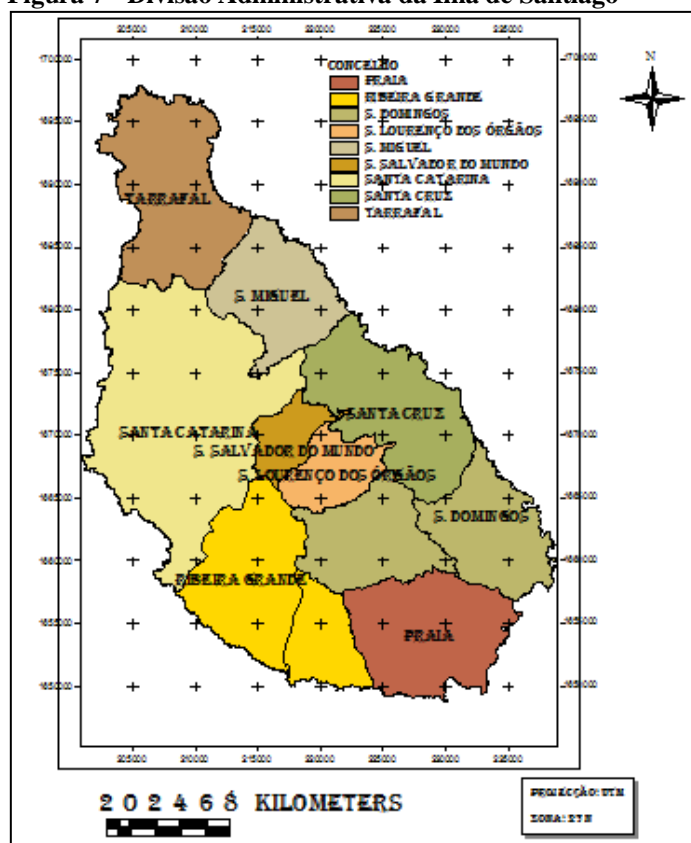
### 3.4 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ILHA DE SANTIAGO

Situada na parte Sul do arquipélago entre os paralelos 15° 20` e 14° 50` de latitude Norte e entre os meridianos 23° 50` e 23° 20` de longitude Oeste de Greenwich, apresenta uma forma adelgada na direcção Norte-Sul com comprimento máximo de 54,9 km, entre a ponta Moreia, a Norte, e a ponta Mulher Branca, a Sul, e uma largura máxima de 29km, entre a ponta Janela, a Oeste, e a ponta Praia Baixo, a Leste.

Deve-se assinalar um estreitamento pronunciado na região Norte entre Chão Bom, a Oeste e Porto Formoso, a Leste, atingindo 6 km.

Administrativamente a ilha é constituída por nove (9) concelhos e onze (11) freguesias, Figura 6.

Figura 7 - Divisão Administrativa da Ilha de Santiago



Quadro 7 - População Residente na ilha de Santiago, por Concelho e por sexo<sup>21</sup>

Concelhos	Masculino	Feminino	Total
Tarrafal	8400	10165	18565
Santa Catarina	20272	23025	43297
Santa Cruz	12863	13754	26617
Praia	64702	67017	131719

<sup>20</sup> - Ou Macaronésia

<sup>21</sup> - Fonte: Instituto Nacional de Estatísticas, Censo 2010.

S. Domingos	6704	7104	13808
Calheta de S. Miguel	7025	8623	15648
S. Salvador do Mundo	4066	4611	8677
S. Lourenço dos Órgãos	3571	3817	7388
Ribeira Grande de Santiago	3951	4374	8325
<b>Total</b>	<b>131554</b>	<b>142490</b>	<b>274044</b>

Em relação a RURALIDADE, o quadro a seguir apresenta-nos os seguintes valores:

**Quadro 8 - Percentagem da população urbana e rural dos diferentes concelhos da ilha de Santiago<sup>22</sup>**

Concelhos	População urbana	% População rural
Tarrafal	33,3%	66,7%
Santa Catarina	27,8%	72,2%
Santa Cruz	35,1%	64,9%
Praia	97,1%	2,9%
S. Domingos	18,7%	81,3%
Calheta de S. Miguel	27,0%	73,0%
S. Salvador do Mundo	16,2%	83,8%
S. Lourenço dos Órgãos	23,0%	77,0%
Ribeira Grande de Santiago	14,6%	85,4%

### 3.4.1 Geologia

ANTÓNIO SERRALHEIRO (1976), apud MOTA GOMES (2007), na sua publicação “A Geologia da Ilha de Santiago (Cabo Verde)”, p.195, 196, 197 e 198, afirma que se pode resumir a história geológica da ilha de Santiago, no seguinte:

As primeiras manifestações vulcânicas no arquipélago deram-se no paleogénico na ilha do maio. Não é de admitir uma data muito posterior para Santiago. Esta atividade exclusivamente submarina quando extrusiva teve três focos principais, definidos pelo estudo geofísico, os quais estão associados aos baricentros. Não se conhecem testemunhos indiscutíveis de construções vulcânicas extrusivas associadas aos afloramentos do complexo antigo (CA).

Resta-nos, apenas, a presença de calhaus rolados nos diferentes sedimentos de fácies terrestres (conglomerados antigos e CB), que dão indicações petrográficas.

Os edifícios subaéreos relacionados com a atividade pré-formação dos flamengos ou foram totalmente destruídos ou estão ocultos sob os derrames mais modernos. Os atuais afloramentos do CA devem corresponder, certamente, aos locais onde se situavam aqueles relevos residuais, que a erosão vem destruindo até a atualidade. É bem de ver que os derrames da formação dos flamengos contrastavam fortemente com os antigos, devido à frescura das lavas e, por esse fato aqueles foram mais rápida e facilmente arrasados.

Os depósitos continentais e marinhos da formação dos órgãos marcam longo período de acalmia na atividade vulcânica, apesar de dois episódios eruptivos de curta duração, assinalados na bidela.

A história geológica de Santiago, até esta altura, tem fases importantes, a saber:

<sup>22</sup> - Fonte: Instituto Nacional de Estatísticas, Censo 2010.

1 – Erupções iniciais submarinas até que o edifício emergiu, passando a ter vulcanismo subaéreo. Desconhecem-se quais as formações e tipos petrográficos que lhes correspondem, havendo apenas o complexo interno, como testemunho, em parte, dessas actividades.

**Paleogénico.**

2 – Longa pausa na atividade vulcânica e intensa ação erosiva, com destruição dos aparelhos emersos. Formação de grandes depósitos submarinos correspondentes aos materiais desses edifícios.

**Oligocénico e início do miocénico inferior (?).**

3 – Transgressão marinha, que elevou o nível do mar acima da altitude de 450m.

**Miocénico inferior.**

4 – Intensa atividade ígnea com formação de extensos mantos, formação dos flamengos, (atualmente, em Santiago só se conhece a fácies submarina).

**Miocénico médio.**

5 – Regressão, mas até um nível não inferior a 250 m, associada a pausa na atividade ígnea, e com formação de espessos depósitos sedimentares de fácies terrestres e marinha (formação dos órgãos)

**Miocénico médio-superior.**

Em Santiago, repousando sobre as formações mais antigas, eruptivas e sedimentares, encontram-se os primeiros derrames do complexo eruptivo do Pico da Antónia (PA). Neste complexo distinguem-se subunidades bem individualizadas, de fácies terrestre e submarina, separadas umas das outras por superfícies de erosão e/ou por sedimentos, fossilíferos quando marinhos. Não só houve pausas na atividade vulcânica geral, como também oscilações no nível do mar. Há grandes interrupções na atividade ígnea do pa, com formação de vales onde se depositaram aluviões espessas. Durante os primeiros tempos de construção do grande edifício vulcânico, há mudança nos tipos petrográficos expelidos, com construção de vários domas endógenos de rochas mais saturadas (traquíticas e fonolíticas) do que as habituais, as quais se situam no lado noroeste da ilha. A atividade básica recomeça e forma-se a parte mais alta da ilha, cobrindo os materiais anteriores, pelo menos na parte central.

Existe uma grande depressão, caldeira de erosão, que ocupa área praticamente igual em configuração e superfície, à da situada na vertente leste da serra do pico da antónia onde anteriormente se depositaram os materiais da formação dos órgãos. Esta caldeira de erosão, da assomada, situa-se entre as serras do pico da antónia, palha carga e a da malagueta. Esta depressão, semelhante à que atualmente se desenvolve na zona de s. Jorge dos órgãos, por evolução avançada, destruiu progressivamente a bordeira da mesma. Tal evolução levou ao isolamento da parte central da ilha, dos atuais relevos, de palha carga e brianda, no lado poente, e a serra da malagueta, no lado setentrional. É evidente que o exagero das dimensões da caldeira, tal como se apresenta, fez perder as características de depressão fechada. É preciso acrescentar à evolução da própria caldeira, a de outros acidentes vizinhos que, forçosamente, acabaram por imbricar-se e, como tal, destruir as características morfológicas típicas de tais bacias de erosão. A relativa conservação da caldeira deve-se aos derrames da formação da assomada, que evitaram o recuo rápido das suas paredes. Atualmente, e a partir das zonas fracas (contactos laterais das escoadas com os materiais antigos) levou à instalação rápida de

linhas de água na periferia daqueles derrames, com aprofundamento acentuado dos leitos, deixando em pedestal as lavas mais resistentes. Os derrames da assomada que ocuparam a depressão até ao mar, formam discordância com os mantos antigos daquelas serras. Não foi possível averiguar quando tiveram lugar aqueles derrames mais modernos, admitindo que possam ser contemporâneos de algumas das fases superiores, c) ou d) do complexo eruptivo do pico da antónia.

Segue-se nova pausa na atividade vulcânica e acentua-se a erosão com aprofundamento das depressões existentes.

Em períodos mais recentes há a derradeira atividade vulcânica com formação por toda a ilha de numerosos cones adventícios de escórias e piroclastos.

Há formação de sedimentos ligados aos movimentos eustáticos quaternários.

#### **Resumindo estes últimos períodos, tem-se:**

6 – Intensa atividade ígnea, subaérea e submarina. Há pausas relativamente longas durante a construção da maior parte do edifício vulcânico, traduzidas por discordâncias erosivas, e sedimentos de fáceis terrestre e marinha.

#### **Miocénico superior.**

7 - Continuação da regressão marinha com pequenos períodos transgressivos.

8- Fase eruptiva fonolítica e traquítica.

#### **Miocénico superior – pliocénico inferior.**

9 - Recomeço das actividades lávicas basálticas em algumas partes da ilha, podendo a formação da assomada, ser contemporânea dos últimos estádios do complexo eruptivo do pico de antónia.

#### **Pliocénico.**

10 - Fase eruptiva explosiva, da formação do monte das vacas. Esta fase prolonga-se por bastante tempo, até o plistocénico.

11- Transgressão que eleva o nível do mar até, pelo menos 200 m de altitude.

#### **Pliocénico superior.**

12- Regressão escalonada com formação de plataformas de abrasão e sedimentos fossilíferos.

#### **Plistocénico.**

Sequência Vulcano – Estratigráfica

Os trabalhos realizados por ANTÓNIO SERRALHEIRO, que conduziram à elaboração e publicação das Cartas Geológicas na escala 1:25.000 e a respectiva Notícia Explicativa (1976), permitiram estabelecer a Sequência Vulcano-Estratigráfica da ilha de Santiago, que tem servido de suporte básico aos trabalhos de Hidrogeologia e Recursos Hídricos.

Também se deverá salientar a contribuição dada pelo “Estudo geológico, petrológico e vulcanológico da ilha de Santiago (Cabo Verde)” da autoria de C.A. MATOS ALVES; J. R. MACEDO; L. CELESTINO SILVA; A. SERRALHEIRO E A. F. PEIXOTO (1979), no reforço dos conhecimentos da Sequência Vulcano-Estratigráfica da ilha de Santiago cuja a carta geológica é apresentada nas Figuras 7 e 8.

É neste contexto que passaremos a descrever a ocorrência dos acontecimentos geológicos, tomando como princípio do mais antigo (I) ao mais recente (X):

I – Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA).

Complexo filoniano de base de natureza essencialmente basáltica (CA);

Intrusões de rochas granulares silicatadas ( $\gamma$ );

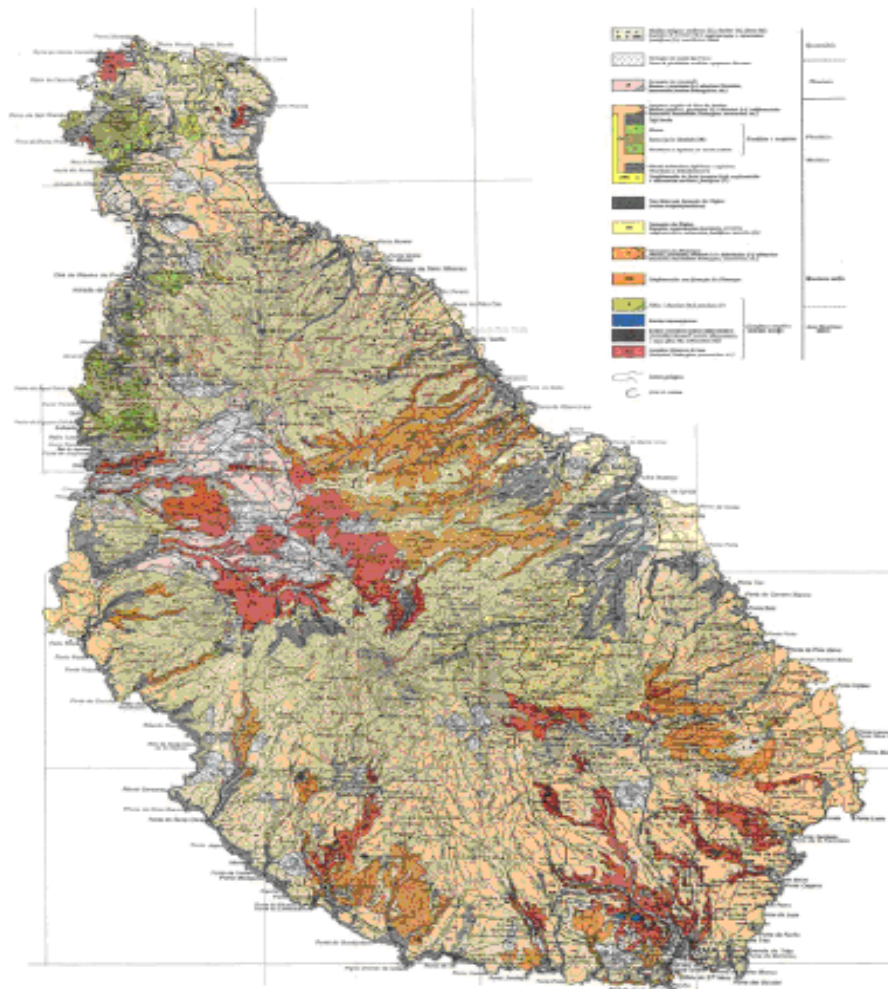
Brechas intravulcânicas e filões brechóides (B);

Intrusões e extrusões fonolíticas e traquíticas ( $\phi$ );

Carbonatitos (Cb).

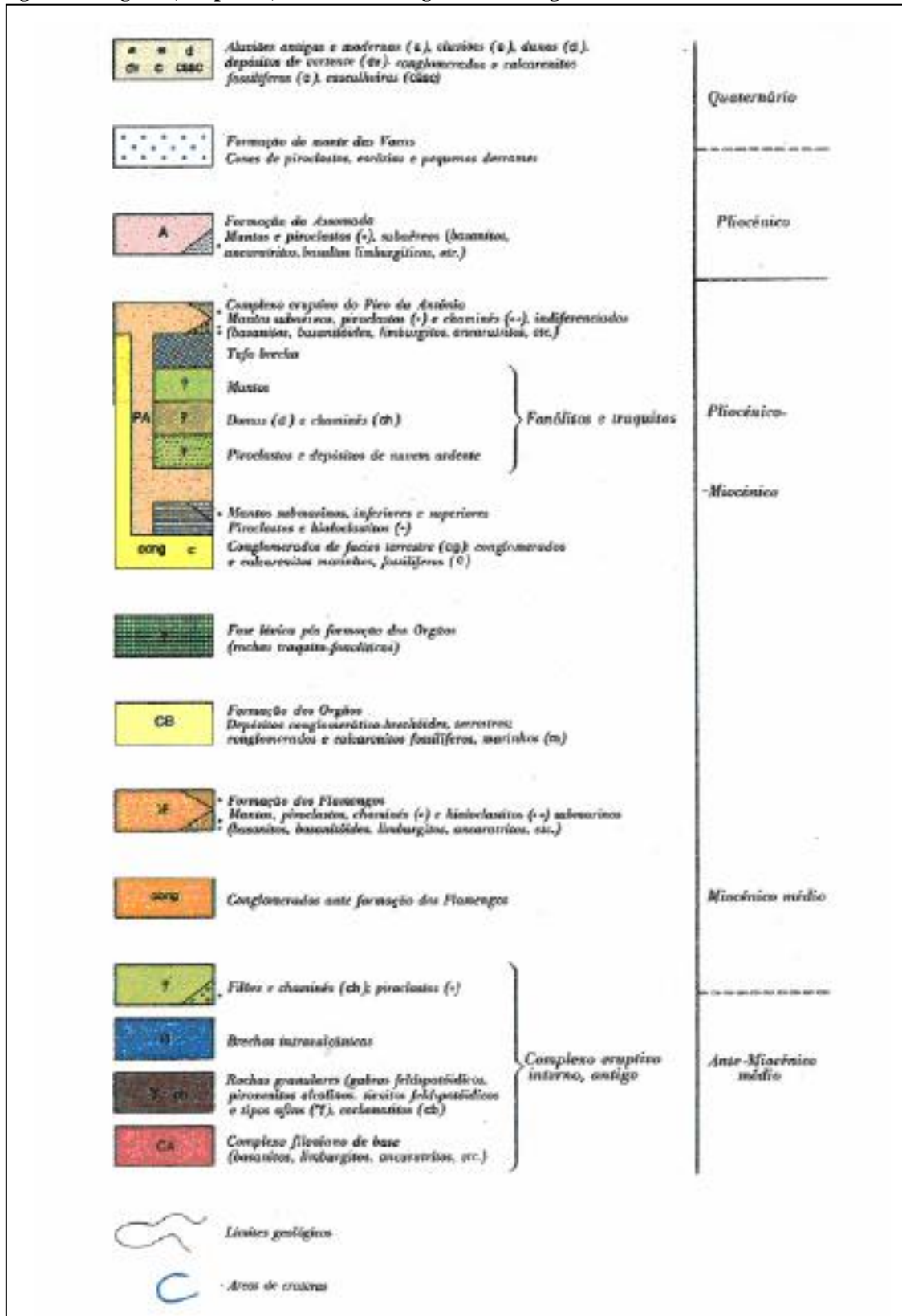
- II – Conglomerados até-formação dos Flamengos.
- III – Formação dos Flamengos ( $\lambda\rho$ ).
- IV – Formação dos Órgãos (CB).
- V – Formação Lávica pós-Formação dos Órgãos.
- VI – Sedimentos posteriores à Formação dos Órgãos e anteriores às lavas submarinas inferiores (LRi) do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia.
- VII – Complexo Eruptivo do Pico da Antónia (PA).
- VIII – Formação da Assomada (A).
- IX – Formação do Monte das Vacas (MV).
- X – Formações Sedimentares Recentes de Idade Quaternária

**Figura 8 - Carta geológica de Santiago à escala aproximada 1:100.000<sup>23</sup>**



<sup>23</sup> - Fonte: MATOS ALVES et al., 1979.

Figura 9 - Legenda, ampliada, da Carta Geologica de Santiago<sup>24</sup>



<sup>24</sup> -Fonte: MATOS ALVES et al., 1979 - Adaptação do Autor

### 3.4.2 Geomorfologia

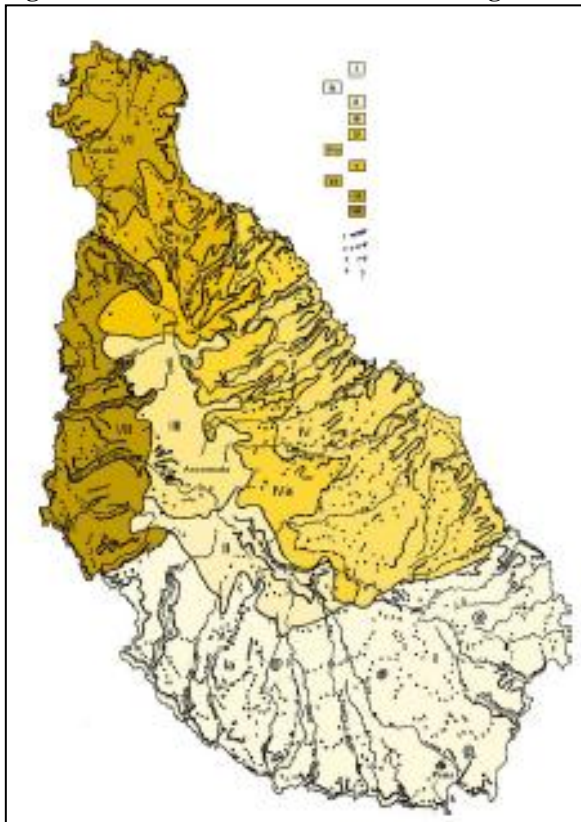
A ilha de Santiago apresenta uma grande diversidade de formas de relevo desde, os mais acentuados constituídos por picos e encostas declivosas e com afloramentos rochosos, separados muitas vezes por vales profundos (formas jovens) até as superfícies planas, que se desenvolvem principalmente na periferia da ilha (FARIA, 1970, apud HERNANDEZ, R.V 2008).

A ilha apresenta duas zonas montanhosas assimétricas, o Maciço do Pico da Antónia (1392m), a sul, e a Serra da Malagueta (1063m), a norte, separadas por uma área planáltica a 550m de altitude média, arquetetada de cones e outros relevos em vários estados de destruição (AMARAL, 1964 apud MOTA GOMES, 2007). A altitude média da ilha de Santiago é de 278,5m, sendo a altitude máxima de 1392m (Maciço do Pico da Antónia).

De acordo com AMARAL (1964, apud MOTA GOMES, 2007) e MARQUES (1990, apud MOTA GOMES, 2007), na ilha de Santiago, consideram-se 7 unidades morfoestruturais, assim designadas – Figura 7:

- Achadas Meridionais (I);
- Maciço Montanhoso do Pico da Antónia (II);
- Planalto de Santa Catarina (III);
- Flanco Oriental (IV);
- Maciço Montanhoso da Malagueta (V);
- Tarrafal (VI);
- Flanco Ocidental (VII)

**Figura 10 - Grandes Unidades Geomorfológicas da ilha de Santiago<sup>25</sup>**



<sup>25</sup> - Fonte: Manuel Monteiro Marques – Garcia da Orta, Sér. Est. Agron., Lisboa, 17 (1-2), 1990, 19-29

### 3.4.3 Meio Biológico: Clima, Vegetação, Flora e Fauna

Como acontece nas restantes ilhas do arquipélago, o quadro climático da ilha de Santiago está dominado pela sua inserção na região árida do Sahel (FERREIRA, 1986). Ao longo do ano persiste uma longa estação seca com mais de nove meses de duração, sobretudo entre os meses de outubro a junho. As precipitações são muito concentradas e na prática ocorre um número reduzido de dias de chuvas. São frequentes os anos de secas com muito reduzida ou mesmo nula precipitação.

O clima de Santiago tem as mesmas características que a do arquipélago de Cabo Verde. É do tipo árido e semi-árido com uma temperatura média de 25°C e irregularidade de precipitações (AMARAL, 1964).

A localização em pleno oceano, a exposição das vertentes aos ventos dominantes de Nordeste e a diversidade do relevo origina uma variedade de topoclimas que se refletem na humidade, na vegetação, na flora e na ocupação das parcelas.

Mesmo durante a estação húmida os andares de altitude recebem precipitações mais abundantes e com maior frequência.

O estado do tempo na ilha de Santiago depende da circulação dos ventos provenientes dos anticiclones subtropicais, Açores e Santa Helena.

O tempo mais comum é denominado tempo de alísios, ou das brisas – caracterizado por um vento fresco de nordeste, acumulação de nuvens nas zonas altas, mas sem precipitações. É típico durante a estação seca, sendo pontualmente interrompido quer pela invernada quer pela lestada.

No tempo de invernada - tipo de tempo que ocorre entre os meses de Novembro e Fevereiro - o vento é predominante do norte. Com este tempo, o céu apresenta-se muito nublado, podendo ocorrer precipitações fracas nas zonas altas.

O tempo de lestada ou Harmatão é caracterizado por rajadas de vento quente e seco, proveniente do deserto do Sahara. É o flagelo dos agricultores, geralmente transporta a bruma seca e em casos excepcionais, gafanhotos do deserto.

O tempo de Monção - caracteriza-se por um vento de sul ou sudoeste, ar quente e muito húmido e aparecimento de nuvens com desenvolvimento vertical - cúmulos e cúmulos-nimbos, responsáveis por precipitações abundantes, mas dispersas. Com este tipo de tempo, as chuvas são muito concentradas, podendo dar origem a inundações e correntes de enxurradas.

Tendo em conta a altitude as zonas climáticas classificam-se em:

Zona árida - altitude abaixo dos 100 metros, precipitações inferiores a 250 mm.

Zona semi árida- altitude compreendida entre 100 a 200 metros e precipitações entre 250 a 400 mm.

Zona sub - húmida -altitude acima de 200 m abaixo dos 500 m, a precipitação varia entre 400 a 500 mm

Zona húmida - altitude acima dos 500 metros e precipitações superiores a 500 mm.

A flora que antecede à ocupação humana das ilhas era dominada, sobretudo por plantas procedentes do conjunto das ilhas da Macaronésia, sobretudo nos andares mais úmidos de altitude, ainda hoje é neste conjunto que encontramos a maioria dos endemismos da ilha de Santiago. Nos andares áridos do litoral abundam espécies provenientes da África continental, especialmente da região saheliana, espécies vegetais mais adequadas para ecossistemas áridos.

Com o início do povoamento no século XV, foram trazidas plantas e animais das mais diversas paragens, principalmente da América, da Europa e da Ásia. As plantas americanas deram um grande impulso na criação da agricultura nesta ilha, sobretudo o milho e as variedades de leguminosas, mas também uma grande variedade de plantas que se tornaram subespontâneas e hoje concorrem com a flora autóctone.

As campanhas de luta contra a desertificação e aos efeitos de seca introduziram várias dezenas de espécies exóticas, sobretudo arbóreas na perspectiva de se criarem espaços florestais. Esta alteração florística é mais sensível nos andares áridos e nas montanhas.

A flora e fauna da área em questão não deixam de estar negativamente influenciada pela ação do homem, encontramos alguns espécies como algarobas (*Prosopis juliflora*), tendente (*Azadirachta indica*), lantuna (*Lantana câmara*), carapate (*Furcraeya foetida*) espinho cathupa (*Dichrostachys cinera*) etc.

Sendo uma insularidade longínqua, a fauna terrestre originária é dominada por aves, pequenos répteis (lagartos, lagartixas e osgas) e insetos. Apesar de a população ser modesta face às características climáticas, as aves e os répteis deram origem a um número expressivo de endemismos. Na zona da pesquisa encontramos algumas espécies como asa curta (*Buteo bonnermani*), corvo (*Corvus ruficollis*), francelho (*Falco tinnunculus*), pombo das rochas (*Columba livia*), tchota de cana (*Acrocephalus brevipennis*), galinha de mato (*Númida meleagris*), bico de lacre (*Estrigilda astrild*), passarinha (*Halcyon leucocephala*), Codorniz (*Cotornix cotornix*), coruja (*Tyto alba*), Andorinhão preto (*Apus apus alexandri*), tchota de coco (*Passer hispaniolensis*), Pardal-das-casas (*Passer domesticus*), espécies essas, que para além de nidificarem nessa zona, refugiam-se nas árvores ou nos buracos que foram destruídos com as atividades de construção de acordo com a visita de campo realizado no período de 2003 a 2007. E a garça vermelha (*Ardea Purpurca*) que é uma variedade endêmica muito rara que vive em apenas duas pequenas colônias no interior da Ilha de Santiago.

### 3.4.4 Solos

O quadro, a seguir, faz o resumo dos principais tipos de solos da ilha de Santiago, a partir da carta agro-ecológica:

**Quadro 9 – Resumo dos diferentes tipos de Solos da ilha de Santiago<sup>26</sup>**

Geologia	Caracterização Pedológica de Cabo Verde	Textura
CB	Fluissolos (Neossolo Flúvico)	Areno-franco
CA	Cambissolos eutricos (Cambissolo) Castanozemes haplicos (Chernossolo)	Franco/Franco-arenoso
CA	Castanozemes haplicos (Chernossolo)	Argiloso
CB	Litossolos (Neossolo Litológico)	Franco-arenoso
PA	Castanozemes haplicos (Chernossolo)	Franco-argiloso
CB/PA	Litossolos/Castanozemes haplicos (Neossolo Litológico/Chernossolo)	Franco-arenoso / Franco-argiloso / Areno-franco

<sup>26</sup> - Fonte: Hernandez (2008).

CA/CB	Litossolos/Castanozemes haplicos (Neossolo Litólico/Chernossolo)	Franco/Areno-franco
PA	Litossolos/Cambissolos eutricos (Neossolo Litólico/Cambissolo)	Franco/Franco-arenoso
CA	Castanozemes haplicos (Chernossolo)	Franco/Franco-argiloso
MV	Litossolos/Cambissolos eutricos (Neossolo Litólico/Cambissolo)	Franco/Franco-argiloso

**Quadro 10 - Repartição das terras da ilha de Santiago<sup>27</sup>**

Utilização/ Zonas	Zona humida	Zona sub húmida	Zona sub árida	Regadio	Sup. Agrícola útil	Terras incultas	Sup. Total
Total				1568	70600	28500	99100
Sequeiro	3657	8065	5065				
Agrícola silvo pastoril	348	1786	1767				
Silvo pastoril florestal	4200	22135	22009				

<sup>27</sup> - SCETAGRI e Ministerio de Desenvolvimento Rrural, 1981, baseado nos factores biofísicos (pluviometria, altitude, vegetação, exposição, solo) – PANA II, 2004

## 4. Definição de Critérios para o Problema

A quantidade de opções possíveis na definição de cenários é, teoricamente, infinita, considerando diferentes combinações de pesos e diferentes combinações de técnicas nos diferentes níveis de critérios. Neste trabalho, optou-se por um conjunto de cenários com significado do ponto de vista do seu interesse prático, no contexto da realidade da ilha de Santiago, segundo determinados critérios.

Critérios são atributos que podem ser quantificados ou avaliados e que contribuem para a decisão. A busca da solução de um problema frequentemente ocorre em ambiente onde os critérios são conflitantes, ou seja, onde o ganho de um critério poderá causar uma perda em outro. Estes critérios podem ser do tipo factor, compostos por variáveis que acentuam ou diminuem a aptidão de uma determinada alternativa para o objetivo em causa ou podem ser do tipo exclusão, variáveis que limitam as alternativas em consideração na análise, excluindo-as do conjunto solução (MOUSSEAU, 1997).

A seleção das técnicas a utilizar depende, desde logo, da sua adequação à situação particular em análise, mas também dos dados e recursos disponíveis.

No que se refere à avaliação de pesos, sempre que estiver em causa expressar aquelas que são prioridades de um grupo de decisores, deverá ser utilizado o Método de Comparações Par-a-Par. Embora seja um método mais complexo e demorado, que por vezes impõe a iteração para garantir um grau de consistência aceitável, os resultados e o próprio procedimento adequam-se perfeitamente ao problema de localização do aterro sanitário, pois permite uma avaliação da importância relativa dos critérios de localização.

No que se refere à normalização de critérios, o procedimento mais adequado para variáveis contínuas (distâncias, por exemplo), é a aplicação de uma função fuzzy, que deverá ser escolhida e calibrada criteriosamente. Por sua vez, nos casos em que se está em presença de critérios envolvendo escalas nominais (uso do solo, por exemplo) deverão ser atribuídos arbitrariamente os valores, de acordo com a escala normalizada adotada.

Finalmente, no que se refere à combinação de critérios, podem ser utilizados os procedimentos de agregação WLC (combinação linear ponderada) ou OWA (média ponderada ordenada), ou ainda uma combinação de ambos ao longo da estrutura hierárquica de decisão. Interessa recorrer ao procedimento OWA sobretudo quando se pretende explorar cenários de risco e variação de compensação.

Começando pela definição básica, Decisão é a escolha entre alternativas. As alternativas podem representar diferentes localizações, planos, classificações ou hipóteses sobre um fenómeno. Por exemplo, a escolha entre três classificações de aptidão (Alta, Média, Baixa) para um determinado uso do solo relativamente a uma determinada parcela de terreno é um ato que se designa por Decisão. A decisão é suportada pela consideração de Critérios, que representam condições possíveis de quantificar ou avaliar e que contribuem para a tomada de decisão. Os critérios podem ser de dois tipos: Restrições e Factores.

As restrições estão fundamentadas em critérios booleanos (verdadeiro ou falso) que cerceiam ou limitam a análise a regiões geográficas específicas. As restrições diferenciam áreas aptas das não aptas (CALIJURI, 2000). Na maioria dos casos, uma restrição traduz-se na criação de limitações ao espaço de análise, definindo as alternativas não elegíveis que deverão ser excluídas do espaço inicial de soluções possíveis (RAMOS & MENDES, 2001). Por isso, serão identificadas áreas que não podem, ou melhor, não são aptas à implantação do aterro sanitário, como, por exemplo, áreas de preservação ambiental ou mesmo próximas aos mananciais.

Já os factores, são critérios que definem algum grau de aptidão para todas as regiões geográficas (CALIJURI, 2000). Normalmente esta aptidão é medida numa escala contínua e de forma a abranger todo o espaço de solução inicialmente previsto (RAMOS & MENDES, 2001). Por isso, serão identificados e relacionados a uma função que represente, da melhor forma possível, a variação da adequabilidade no espaço geográfico. Por exemplo, à medida que aumenta a distância do sistema viário, aumenta-se, de acordo com uma função, o custo de transporte por parte dos caminhões, onerando, sensivelmente, o custo operacional do aterro.

A avaliação e selecção de áreas aptas à implantação de um aterro sanitário, implica uma decisão entre várias alternativas possíveis, com base em alguns critérios. Nesse trabalho, as restrições diferenciam áreas ou alternativas que podem ser consideradas aptas para destinação final de resíduos sólidos daquelas que não são aptas sob condição alguma. Por sua vez, os factores definem áreas ou alternativas em termos de uma medida contínua de aptidão, realçando ou diminuindo a importância de uma alternativa em consideração naqueles locais fora das restrições absolutas.

A Regra de Decisão é o procedimento através do qual os critérios são combinados para chegar a uma determinada avaliação, incluindo a própria comparação entre avaliações no sentido de produzir decisões (RAMOS & MENDES, 2001). Tipicamente, as regras de decisão incluem procedimentos para normalizar e combinar diferentes critérios, resultando um índice composto e uma regra que regem a comparação entre alternativas utilizando este índice. Em outras palavras, a regra de decisão é o procedimento pelo qual os critérios eleitos, factores ou restrições, são combinados.

A forma como os dados disponíveis influem na definição da adequabilidade de uma área à implantação de um aterro sanitário foi definida considerando os diferentes critérios, normalmente adoptados na selecção de locais para esse propósito. Como resultado, alguns dados foram classificados em escores em função de sua aptidão para o uso desejado, tornando-se factores, e outros, em barreiras absolutas, impedindo o uso da área, tornando-se restrições.

Por sua vez, o método cartográfico compara e avalia alternativas utilizando mapas e é usado nas fases de identificação de locais, como aquilo que acontece no método Pairwise comparison, em que utiliza-se uma comparação sequencial de alternativas duas a duas como base para o subsequente ordenamento de preferências, já que em nenhuma região existe um “sítio ideal perfeito” que satisfaça simultaneamente e no mais elevado grau todos os requisitos para a implantação de um aterro sanitário. Em todos os casos, nota-se que existem áreas inadequadas e áreas adequadas e, dentro destas últimas, é de esperar que existam locais potencialmente mais adequados, cada um deles caracterizado por aspectos mais favoráveis e outros menos favoráveis.

CANSONI et. al. (1995b) propõem uma compatibilização de vários factores, buscando-se o equilíbrio entre os aspectos sociais, as alterações no meio ambiente e os custos inerentes ao empreendimento. Parte-se de estudos gerais, identificando-se as várias áreas potenciais, sendo priorizadas as mais promissoras para os estudos de detalhe,

nomeadamente o levantamento de dados gerais, pré-seleção (escala regional), estudos para a viabilização de áreas pré-selecionadas (escala local).

Na etapa "levantamento de dados gerais" lança-se mão das informações existentes como são os casos de dados populacionais, características do lixo, dados da colecta e transporte actual do lixo.

A ponderação dos diversos dados considerados e a análise integrada destes, permitem a identificação das zonas mais favoráveis, nas quais, através de uma vistoria de campo, serão individualizadas as candidatas à instalação do aterro (CANSONI et. al., 1995b), o que resultará na classificação das áreas selecionadas em uma das seguintes categorias: "recomendado"- quando pode ser utilizada nas presentes condições, atendendo às normas vigentes com baixo investimento; "recomendado com restrições " - quando pode ser utilizada necessitando de medidas complementares de médio investimento; "não recomendado"- quando não se recomenda sua utilização em função da necessidade de medidas complementares de alto investimento.

LIMA (1999) propõe uma metodologia de avaliação e hierarquização de um universo pré-definido de objetos. O seu desenvolvimento baseia-se inicialmente na "análise do valor - AV" e, num segundo momento na "lógica fuzzy - LF". A AV é orientada para a análise e solução de problemas, constituindo um esforço deliberado para identificar e seleccionar o método de menor custo. Segue os clássicos passos do processo decisório: Definir o problema, analisá-lo, definir o objetivo e seu escopo; Estabelecer alternativas; Avaliar as conseqüências de cada alternativa (abordagem funcional); Escolher a melhor alternativa (seleção de idéias); implementação.

É nesta fase, que é feita a escolha da alternativa mais viável, ou seja, aquela que previne os impactos ambientais e evite os elevados custos para a recuperação ambiental deve ser priorizada. Para isso, LIMA (1999), opta, numa segunda etapa, pela aplicação de modelos "fuzzy " de decisão para a seleção de áreas. A "Lógica Fuzzy" é uma extensão da lógica convencional (booleana).

As áreas pré-selecionadas devem satisfazer aos atributos ou parâmetros relevantes para a instalação de um aterro sanitário. Atributos como topografia, geologia, pedologia, acessos, hidrologia, climatologia, valor da terra, entre outros. Cada atributo é relacionado a um conjunto referencial (escalas de peso) e são associados a uma "função de pertinência".

A tomada de decisão no ambiente "fuzzy " é orientada a esclarecer incertezas, as quais se referem aos graus de pertinência de um determinado elemento. As opiniões individuais são agregadas através da média para se obter a comparação das importâncias relativas de cada função.

**Quadro 11 - Função e aspecto técnico relacionado<sup>28</sup>.**

Função	Aspecto técnico
Garantir a segurança da população vizinha. Distância em relação à área:	O local mais apropriado deve estar afastado da aglomeração urbana a uma distância mínima permitida pela lei.
Minimizar o preço do valor da área:	O uso do solo na região deve comportar a presença do aterro e sua aquisição ser economicamente viável.
Disponer de boas condições de acesso:	Deve haver a integração da malha viária e

<sup>28</sup> - Fonte: Adaptado de LIMA (1999).

	prover vias de acesso em boas condições de tráfego, mesmo em épocas de chuva.
Distar dos centros produtores de lixo:	A área deve estar situada distante de residências, porém o mais próximo possível do centro de geração do lixo. Sendo considerado 30 km a distância ideal em viagem de ida e volta.
Oferecer topografia compatível com o projeto:	A área deve ter formações geomorfológicas e topográficas compatíveis com o projeto de instalação de um aterro sanitário.
Clima:	Estudos sobre o regime das chuvas, evapotranspiração, direção predominante dos ventos, etc.
Promover durabilidade Capacidade volumétrica:	A área escolhida para implantar o aterro deve ter vida útil estimada em mais de 10 anos.
Disponer de material para recobrimento diário	Jazidas de material de cobertura: avaliação da disponibilidade de material de cobertura, quantidade, qualidade e distância.
Disponer de solo adequado	São informações sobre as características e propriedades do solo da região.
Proteger os cursos de água superficiais:	Conjunto de informações sobre os principais corpos de água de interesse ao abastecimento público.
Ser favorecido por legislação	Informações sobre as leis ambientais e de zoneamento urbano. Assim, a área escolhida deve estar dentro das considerações exigidas por lei.

ANDRADE (1999) utiliza mapas de uso do solo, modelo de elevação do terreno (DEM), declividade, vulnerabilidade geotécnica, lineamento estrutural, hidrogeológico, unidades de conservação, entre outros. Com estes dados em mãos, procede-se à identificação de critérios e zonas "tampão", ou seja, zonas em que não é permitido a construção de aterros sanitários devido às suas peculiaridades. Utiliza-se para isso a lógica booleana, onde corresponde as áreas impróprias e as áreas aptas à instalação do aterro sanitário, em função do aspecto analisado.

Os modelos baseados em decisão multicritério são indicados para problemas onde existam vários critérios de avaliação. Para a localização de aterros sanitários, os critérios analisados podem ser conflitantes, já que um aterro viável não é garantia de ser ambientalmente aconselhável.

Antes, porém, cabe aqui um comentário a respeito do SIG empregado como plataforma para as análises. O SIG baseia-se em uma estrutura tipo vectorial para representação de dados espaciais, através da qual as entidades são representadas por pontos, áreas ou linhas, nomeadamente:

#### a) Critérios Socio-econômicos

Estes critérios contribuem para a análise econômica do problema de localização do aterro sanitário e podem ser considerados como critérios factores, compostos por variáveis que acentuam ou diminuem a aptidão de uma determinada alternativa para o

objetivo em questão. As alternativas são constituídas pelos locais com potencial para instalação do aterro sanitário que sirva toda a ilha de Santiago.

De acordo com os critérios socioeconômicos relacionados à selecção e implantação de aterros sanitários podemos destacar:

- Distância mínima de 500m de residências e áreas urbanizadas (Segundo orientações do EROT de Santiago). Da mesma forma, os aterros sanitários devem estar situados a uma distância mínima de 3 km de aeroportos, a menos que as autoridades aeronáuticas dêem permissão por escrito, estabelecendo que as instalações não oferecem riscos para a aviação (LEVINE, 1996). No nosso caso, o EROT de Santiago propõe como área de *“Servidão aeronáutica que objectivam garantir a segurança e eficiência da utilização e funcionamento dos aeródromos civis e das pessoas e bens á superfície. Compreende as zonas confinantes com aeródromos civis e instalações de apoio á aviação civil.*

*A servidão aeronáutica estabelecida no EROT de Santiago corresponde á área que circunda o Aeroporto Internacional da Praia, tal como delimitada pela Agencia da Aviação Civil, nos termos da lei. A edificação nestas áreas rege-se pelo Decreto-Lei n°18/2009, de 22 de Junho, que estabelece o regime geral de servidões aeronáutica e sujeita-se a parecer da entidade tutelar.”*

Ainda, pode-se considerar aspectos posteriores a implantação de aterros sanitários relacionadas com a educação da comunidade que poderá ser favorecida com o aterro.

#### b) Transporte

As rodovias, meios comumente utilizados para transportar os resíduos para o aterro podem ser georeferenciados no SIG utilizado como bases de dados de linhas que inclui rotinas específicas para transporte, logo o cálculo do melhor caminho e a distância a ser percorrida entre os pontos de recolha locais (municípios) considerados na análise do problema são realizados.

#### c) Critérios ambientais

Neste trabalho as reservas naturais (critério de exclusão), consideradas áreas de preservação ambiental e que não podem ser modificadas por acções do homem. Neste caso, serão identificadas e georeferenciadas as reservas naturais que compõem o conjunto de áreas de preservação ambiental, onde não podem ser construídas os aterros sanitários.

Segundo BRITO & SANTOS (1998), os condicionantes geológicos, hidrológicos, geotécnicos e geomorfológicos, de importância na disposição de resíduos e para a compreensão e avaliação da migração dos contaminantes nos solos e nas águas subterrâneas, estão resumidos com a seguinte ordem de prioridades:

- Zonas de alto risco sísmico;
- Zonas de falhamentos regionais;
- Zonas cársticas e de subsistência;
- Estratigrafia, tipos litológicos, heterogeneidades e anisotropias do maciço rochoso;
- Estruturas geológicas, como plano de acamamento, fraturas, falhas e dobras;
- Características do manto de alteração e dos solos superficiais, como a capacidade de troca de cátions, conteúdo de matéria orgânica, composição geoquímica, principalmente de óxidos-hidróxidos, fosfatos e carbonatos, espessura, granulometria e estruturas.

Como condicionantes hidrogeológicos, destacam-se:

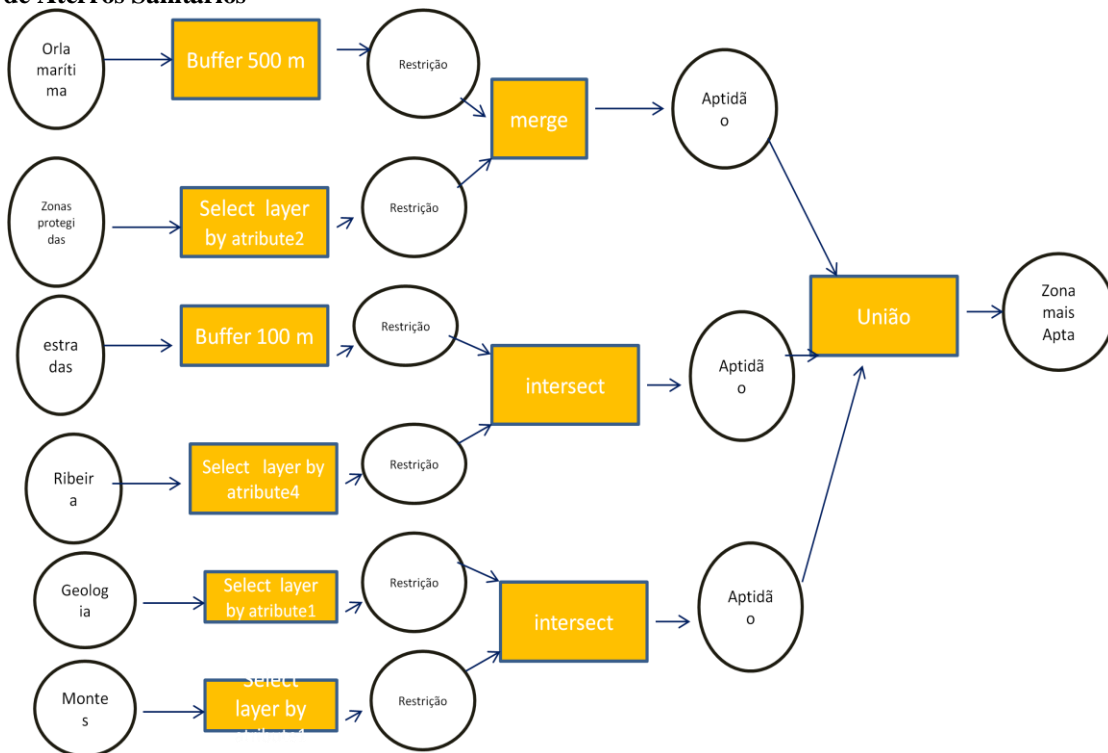
- Presença de aquíferos;
- Zonas de recarga de aquíferos;

- Cargas e gradientes hidráulicos, condutividades hidráulicas e transmissividades, porosidades totais e efetivas, armazenamentos específicos e coeficientes de armazenamento, velocidades e direcções, fluxo regional e local das águas subterrâneas, coeficientes de dispersão e retardamento;
- Características da zona não-saturada, como as propriedades hidráulicas e químicas;
- A posição do nível d'água e suas variações em relação à base da disposição;
- Qualidade e utilização das águas subterrâneas;
- Proximidade, qualidade e utilização das águas superficiais.

Dos condicionantes geomorfológicos, os mais importantes são:

- Áreas sujeitas à inundação;
- Áreas com declividades elevadas;

**Figura 11 - cruzamentos dos mapas temáticos para seleção de possíveis áreas para Implantação de Aterros Sanitários**



## 4.1 Abordagem multicriterial

A abordagem multicriterial é uma das técnicas empregadas para a tomada de decisão e a sua integração com os SIGs foi considerada um avanço em relação ao procedimento convencional de cruzamento de planos de informação para a priorização de áreas (EASTMAN, 1997; MALCZEWSKI, 1999; THILL, 1999). Com essa integração a abordagem multicriterial pode ser considerada como um processo que combina e transforma dados espaciais (planos de informação de entrada) em mapas finais para a tomada de decisão, sendo as regras de decisão que definem as relações entre os dados de entrada e os mapas finais (MALCZEWSKI, 1999).

Segundo MALCZEWSKI (2004), essa abordagem envolve a utilização de dados georreferenciados, os conceitos dos tomadores de decisão e a manipulação desses dados e conceitos com base em regras de decisão específicas. Para esse autor duas considerações são, dessa forma, de extrema importância para a utilização dessa abordagem: (i) a capacidade do SIG de adquirir, armazenar, recuperar, manipular e analisar os dados georreferenciados e (ii) a capacidade de combinar esses dados e os conceitos dos tomadores de decisão em alternativas de decisões.

Os conceitos dos tomadores de decisão são expressos pelos critérios que, de acordo com EASTMAN (2001), são a base do processo de tomada de decisão e que podem ser medidos e avaliados. Para esse autor, o critério é a evidência sobre a qual um indivíduo pode ser designado a um conjunto de decisão. Os critérios podem ser de dois tipos: fatores e restrições e podem referir-se tanto a atributos do indivíduo como ao conjunto todo de decisão (EASTMAN, 2001).

Os fatores irão realçar ou diminuir a suscetibilidade de uma alternativa específica para uma actividade ou objectivo (EASTMAN, (2001). Para RANDHIR et al. (2001) os factores utilizados no processo de tomada de decisão são aqueles que representam as características críticas de um habitat.

As restrições podem ser entendidas como categorias restritivas das alternativas (fatores), excluindo áreas e limitando espacialmente a distribuição das possibilidades de escolha (EASTMAN et al., 1993).

Para a integração dos diferentes fatores, com base na abordagem multicriterial, vários métodos vêm sendo utilizados, como o Booleano; o do Ponto Ideal; o da Combinação Linear Ponderada; o da Análise de Concordância; e mais recentemente o da Média Ponderada Ordenada (MALCZEWSKI, 2000). Dentre esses métodos a Combinação Linear Ponderada e o Booleano são os mais robustos e os empregados com mais frequência (MALCZEWSKI, 2004).

No Método Booleano os critérios são reduzidos a declarações lógicas de adequação e então combinados por meio de um ou mais operadores lógicos, tais como intersecção (AND) e união (OR) (EASTMAN, 2001).

Na definição de áreas prioritárias, de acordo com CARVER (1991), a lógica booleana não tem apresentado resultados satisfatórios, pela dificuldade de representar os diferentes atributos das paisagens em classes com intervalos discretos o que, por sua vez, acarreta na perda de informação e, provavelmente, na geração de erros no processo de tomada de decisão.

A Combinação Linear Ponderada (CARVER, 1991; JANKOWSHI, 1995; MALCZEWSKI, 1996; e JIANG & EASTMAN, 2000) e a Média Ponderada Ordenada (MALCZEWSKI, 1999; EASTMAN, 2001; MALCZEWSKI, 2004) têm sido empregadas em substituição à lógica booleana na determinação de áreas de suscetíveis, de risco e prioritárias.

Na Combinação Linear Ponderada (VOOGD, 1983) os critérios (fatores) são padronizados para uma escala numérica comum, recebem pesos e são combinados por meio de uma média ponderada. O resultado é um mapa de prioridades, que pode ser limitado espacialmente por uma ou mais restrições booleanas (EASTMAN, 2001).

A principal razão da popularidade deste método está na facilidade de sua implementação no ambiente dos SIGs, usando álgebra de mapas e modelagem cartográfica (BERRY, 1993). MALCZEWSKI (2000) ressalta a facilidade de entendimento e aplicação do método por parte dos tomadores de decisão.

O método apresenta como principais vantagens em relação à lógica booleana: (i) a representação contínua da paisagem e (ii) a possibilidade dos fatores receberem pesos,

de acordo com a importância que possuem para o objetivo do trabalho (KANGAS et al. 1998; CHEN et al., 2001; STORE & KANGAS, 2001).

A representação contínua da paisagem é possível com a padronização dos fatores para uma escala numérica comum, baseada na lógica fuzzy (EASTMAN, 2001). Por essa lógica, um conjunto de valores expressos numa dada escala é convertido em outro comparável, expresso em uma escala normalizada (MALCZEWSKI, 1996). Por esse motivo é comum denominar essa etapa de padronização dos fatores, no ambiente da abordagem multicriterial, de normalização (MALCZEWSKI, 1999; EASTMAN, 2001). Segundo ZADEH (1965), citado por MALCZEWSKI (1999), a teoria dos conjuntos fuzzy é, em resumo, o passo seguinte de aproximação entre a precisão da matemática clássica e a imprecisão do mundo real. O conjunto fuzzy é uma generalização do conjunto ordinário. É definido a partir de um domínio contínuo, com graus de pertinência variando de 0 a 1 ou 0 a 255 (bytes), após a normalização. Na teoria geral, a pertinência ou afirmativa de um dado fenômeno é relativa. Com o advento dessa teoria obteve-se uma estrutura conceptual apropriada de tomada de decisão, pois a lógica fuzzy auxilia a diminuir a subjetividade na escolha e aumentar o raciocínio no processo de decisão (CALIJURI et al., 2002).

EASTMAN (2001) cita que várias funções de pertinência (por ex.: linear, sigmoideal e j-invertido) ao conjunto fuzzy podem ser utilizadas na etapa de normalização, sendo a escolha da função relacionada à melhor representação espacial do fator a ser normalizado. Dessa maneira garante-se que o mapa de fator seja positivamente relacionado com o atributo da paisagem por ele representado (EASTMAN & JIANG, 1996).

Para a comparação dos métodos da Combinação Linear Ponderada e Booleano, JIANG & EASTMAN (2000) utilizaram a definição de áreas para a locação do parque industrial de Nakuru, no leste da África. Os resultados obtidos com a aplicação dos dois métodos, nesse caso, foram bem distintos, sendo o produto do método Booleano muito influenciado pelas classes de uso e cobertura do solo, não se mostrando satisfatório.

LIOTTE (2002) também fez a comparação desses dois métodos em seu estudo sobre planejamento físico-territorial do Município de Pariquera-Açu, SP, obtendo, da mesma forma que JIANG & EASTMAN (2000), áreas bens distintas como resultado da aplicação de cada um dos métodos. O autor concluiu que para melhor planejamento é indicado o uso da Combinação Linear Ponderada.

Para a definição de áreas sensíveis, prioritárias ou de risco, o método da Combinação Linear Ponderada vem sendo empregado em diversos campos da pesquisa. MALCZEWSKI (1996) o utilizou para determinação de locais para empreendimentos nocivos. CAFISO et al. (2002) para definir áreas próprias para locação de estradas, na Catania, Itália. ZHU & DALE (2001) desenvolveram um software, com base nesse método, e o empregaram para a determinação de áreas prioritárias para o manejo sustentável, tendo em vista a qualidade da água, de uma bacia hidrográfica na região centro-oeste da Austrália.

Na priorização de áreas para o manejo sustentável de florestas, VARMA et al. (2000) utilizaram esse método na Austrália, sendo seus fatores baseados em características físicas, espaciais, ecológicas e econômicas. KANGAS et al. (2000) o empregaram para o manejo florestal na Finlândia, porém com a abordagem multi-critérios/múltiplos objetivos. Os autores utilizaram múltiplos objetivos porque tinham em vista a produção de madeira e o manejo florestal com base nos princípios da Ecologia da Paisagem.

Na maioria dos trabalhos desenvolvidos, sobre a priorização de áreas relacionada aos recursos naturais, observa-se que a estrutura do processo de tomada de decisão tem por base múltiplos critérios (KANGAS et al., 2000). EASTMAN (2001) ressalta que podem existir variações nessa estrutura, sendo possível todas as combinações, entre único e múltiplos critérios e único e múltiplos objetivos.

No campo da conservação e preservação florestal pode-se citar LATHROP et al. (1998), que integraram os fatores declividade, proximidade aos corpos d'água, distância às estradas, proximidade às áreas sensíveis para a vida silvestre, com a Combinação Linear Ponderada, para determinar áreas prioritárias para a conservação da Floresta de Sterling, região metropolitana de Nova York.

VETTORAZZI et al. (2000) e CHEN et al. (2001), utilizaram o mesmo método, para a determinação de áreas de risco de incêndios florestais. Foi desenvolvido em Sidney, Austrália, com os fatores proximidade às áreas urbanas, proximidade aos corpos d'água, declividade e aspecto. GENELETTI (2004) identificou, na Província de Trento, Itália, áreas prioritárias para a conservação de ecossistemas importantes à sua região, com base na abordagem multicriterial - método da Combinação Linear Ponderada. O autor utilizou os fatores insularidade, isolamento, distúrbio e área nuclear.

GRARAVELLI et al. (2004) priorizaram áreas para a restauração florestal. Também com a Combinação Linear Ponderada, no Parque Nacional de Snowdonia, Inglaterra, com base em critérios importantes às espécies florestais da região. Para Jiang & EASTMAN (2000) a Combinação Linear Ponderada, apesar de sua ampla utilização, apresenta limitações para algumas aplicações no processo de tomada de decisão. Os autores discutem essas limitações e sugerem a utilização do método da Média Ponderada Ordenada.

## 4.2 Média Ponderada Ordenada

A Média Ponderada Ordenada (YAGER, 1988) diferencia-se da Combinação Linear Ponderada, principalmente pela presença de um segundo grupo de pesos, denominados de ordenação (EASTMAN, 1997). Os pesos de fatores (Combinação Linear Ponderada) passam, nesse método, a ser nomeados de pesos de compensação (MALCZEWSKI, 1999).

Os pesos de ordenação não se aplicam a qualquer factor. Eles são aplicados pixel-a-pixel a escores de factores, determinado pelo ranqueamento desses fatores em cada local (pixel). O peso de ordenação 1 (um) é assinalado ao fator de menor ranqueamento para aquele pixel (isto é, fator com menor score), peso de ordenação 2 (dois) para o próximo fator melhor ranqueado, e assim por diante (EASTMAN, 2001).

Segundo JIANG & EASTMAN (2000) os pesos de ordenação controlam a maneira pela qual os pesos de compensação serão agregados e determinam o nível de compensação necessário entre os fatores. Os autores citam que um fator ao qual foi atribuído um alto peso de compensação pode receber, por exemplo, um baixo peso de ordenação.

MALCZEWSKI (2004) cita que, enquanto o método Booleano caracteriza-se por ser um método de extremos e, dessa forma, por apresentar soluções totalmente adversas a risco (operador de intersecção AND – um local deve atender a todos os critérios para ser incluído no conjunto de decisão) ou totalmente arriscadas (operador de união OR – um local será incluído no conjunto de decisão se pelo menos um critério for atendido), o método da Média Ponderada Ordenada tem a flexibilidade de assumir soluções em qualquer ponto entre esses extremos. MALCZEWSKI (2003) complementa que são os pesos de ordenação que determinarão essa posição, das soluções/hipóteses, entre os extremos e, portanto, o risco assumido no processo de tomada de decisão.

O método da Combinação Linear Ponderada é, segundo MALCZEWSKI (2000), formalizado por médias e, dessa maneira, suas soluções não serão nem arriscadas e nem aversas a risco porque sempre estarão no meio dos extremos (AND e OR). MALCZEWSKI (1996) cita que esse método pode ser considerado uma simples variação do método da Média Ponderada Ordenada.

O método da Média Ponderada Ordenada pode ser, assim, considerado como uma extensão e uma generalização dos procedimentos convencionais nos SIGs, especialmente daqueles relacionados à abordagem multicriterial (JIANG & EASTMAN, 2000). Os mesmos autores comparam soluções obtidas com os métodos Booleano, da Combinação Linear Ponderada e da Média Ponderada Ordenada, para a locação de um parque industrial, no leste da África. Essas soluções (mapas) mostraram-se bem distintas, principalmente as obtidas com variações dos pesos de ordenação, no método da Média Ponderada Ordenada. Nessas últimas observou-se um aumento no número de classes à medida em que a solução “caminhava” entre os extremos (AND para OR), o que indica a melhor definição das áreas adequadas à locação do parque industrial.

ARAÚJO (1999), comparando os três métodos em seu estudo de avaliação da favorabilidade de mineralizações de metais básicos, obteve conclusões semelhantes. O método da Média Ponderada Ordenada possibilitou a obtenção de um maior número de classes, enquanto com a Combinação Linear Ponderada essas classes passaram a constituir uma única região.

MALCZEWSKI (1999) utilizou o método da Média Ponderada Ordenada para determinação de áreas adequadas à urbanização no México. Segundo o autor, as alternativas propostas apresentaram alta correlação com a realidade da região.

CALIJURI et al. (2002), na identificação de áreas para a implantação de aterros sanitários em Cachoeiro do Itapemirim, ES, com o método da Média Ponderada Ordenada, também obtiveram soluções compatíveis com as características da paisagem, tendo a melhor solução risco médio-alto e compensação parcial entre os fatores utilizados.

MALCZEWSKI (2003) empregou esse mesmo método para a priorização de áreas à serem reabilitadas/restauradas na bacia hidrográfica de Cedar Creek, Canadá, com os objetivos de incrementar a sua cobertura florestal natural; incrementar a qualidade e a biodiversidade de suas áreas naturais; proteger sua água superficial; e melhorar a “saúde” de seus corpos d’água. Foram utilizados os factores: protecção de áreas de recarga; distância às nascentes; protecção as áreas suscetíveis à erosão; protecção de áreas húmidas; protecção da área nuclear de floresta; proximidade aos corpos d’água de superfície; proximidade às áreas naturais; protecção ao uso do solo; protecção às propriedades particulares; e visibilidade. Para determinar a melhor alternativa/solução foi considerada a viabilidade econômica de implantação de projetos. Dessa forma, foi escolhida uma solução com risco e compensação, entre factores, moderados. Os tomadores de decisão consideraram adequada a solução proposta porque foi recomendado que a restauração fosse iniciada onde já existissem áreas naturais. As áreas de prioridade muito alta foram as próximas às áreas húmidas de Cedar Creek e ao redor dos bosques. As áreas próximas aos cursos d’água foram identificadas como de alta ou média prioridade.

### **4.3 Definição de critérios e pesos**

EASTMAN et al. (1993), MALCZEWSKI (1999), KANGAS et al. (2000), ROY & TOMAR (2000), CHEN et al. (2001) e STORE & KANGAS (2001) propõem o

emprego da Técnica Participatória, que consiste na reunião entre especialistas nas diferentes áreas de interesse ao projeto, para auxiliar na definição dos critérios e dos pesos (fatores).

Para MALCZEWSKI (2004) essa integração entre especialistas e os SIGs colabora para o sucesso da priorização de áreas e caracteriza o processo de tomada de decisão como um processo socioeconômico, além de ambiental.

Vários métodos foram desenvolvidos para auxiliar na definição dos pesos de compensação dos factores, dentre eles o da ordenação, da escala de pontos, da distribuição de pontos e da comparação pareada (MALCZEWSKI, 1999; THILL, 1999; RAMOS & MENDES, 2001). O mais promissor e utilizado é o método da Comparação Pareada, desenvolvido por SAATY (1977) no contexto do Processo Hierárquico Analítico e adaptado, pela primeira vez, para o uso em um SIG, por RAO et al. (1991) (ALHO & KANGAS, 1997). Para MENDOZA & PRABHU (2000), a grande aceitação do método por parte dos tomadores de decisão, está na consistência entre os pesos atribuídos aos fatores e a importância, nas paisagens, de características por eles representadas.

**Quadro 12 - Escala de comparação de critérios<sup>29</sup>**

Valor	Definição	Explicação
1	Igual importância	Os 2 critérios contribuem de forma idêntica para o objectivo
3	Pouco mais importante	A análise e a experiência mostram que 1 critério é um pouco mais importante que outro
5	Muito mais importante	A análise e a experiência mostram que 1 critério é claramente mais importante que outro
7	Bastante mais importante	A análise e a experiência mostram que 1 dos critérios é predominante para o objectivo
9	Extremamente mais importante	Sem qualquer dúvida um dos critérios é absolutamente predominante para o objectivo
2, 4, 6, 8 valores recíprocos dos anteriores	Valores intermediários	Também podem ser utilizados

Neste método, para a elaboração de uma matriz de comparação, os valores atribuídos aos fatores são derivados de uma escala contínua de nove pontos, sendo que os fatores são comparados entre si, dois a dois, e classificados segundo a importância relativa entre eles (EASTMAN, 2001).

Segundo SAATY (1980), a matriz de comparação é simétrica, sendo necessário preencher somente sua parte triangular inferior. A consistência dessa matriz é avaliada por sua Taxa de Consistência (TC), que indica a probabilidade de que os valores de comparação entre os fatores tenham sido gerados aleatoriamente. O autor cita que os valores de TC devem estar sempre abaixo de 0,10 e, no caso de estarem acima deste valor, o autor sugere que se reorganize a matriz, alterando os valores de comparação entre os fatores.

<sup>29</sup> - Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

**Quadro 13 - Escala de comparações de critérios<sup>30</sup>**

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Bastante	Muito	Pouco	Igual	Pouco	Muito	Bastante	Extremamente
Menos importante				Mais importante				

As análises espaciais foram realizadas utilizando-se o módulo de apoio à decisão, com critérios múltiplos para selecionar as áreas mais adequadas à disposição de resíduos sólidos.

A avaliação por critérios múltiplos foi utilizada para avaliar e agregar os critérios oriundos de informações existentes ou geradas. Como critérios foram utilizados fatores e restrições. Os fatores são limitações relativas que definem algum grau de aptidão para as regiões geográficas, enquanto as restrições possibilitam a imposição de limitações absolutas a determinados espaços geográficos.

Os valores de adequabilidade foram padronizados em uma escala contínua, utilizando a lógica fuzzy através de suas funções ou definidos pelo usuário (dados categóricos). O quadro 13 apresenta, de forma sintética, os critérios estabelecidos para a análise.

**Quadro 14 - Os diferentes variáveis de análise**

Tema	Restrição	Função
Hidrografia	Distância mínima de 10 m (Buffer)	Linear crescente
Afluentes	Distância mínima de 5 metros (Buffer)	Linear crescente
Geologia	Definida em função do quadro 15	Linear crescente
Cobertura vegetal	Distância mínima de 500 metros	Linear crescente
Áreas urbanizadas	Distância mínima de 500 metros	Linear decrescente
Falhas e fraturas	Distância mínima de 50 metros	Linear crescente
Rede viária	Distância mínima de 50 metros	Linear decrescente
Declividade	Entre 0 e 1 e maior que 30	80 para 1 a 10 100 para 10 a 20 200 para 20 a 30

**Quadro 15 - Pesos ponderados obtidos da matriz de comparação**

Fator ambiental	Distância dos cursos de água	0.4480
	Distância das rochas piroclásticas	0.3917
	Fator geológico	0.0934
	Unidades naturais	0.0669
Factor operacional	Declividade	0.0910
	Distância do sistema viário	0.4545
	Distância do perímetro urbano	0.4545
Factor socio-economico	Distância da sede dos concelhos	0.2790
	Distância da cidade de maior aglomerado	0.6491
	Distância das habitações	0.0719

**Quadro 16 - Pesos atribuídos a cada variável**

Distância dos cursos de água	0.10
Fator geológico	0.30
Unidades naturais	0.30
Declividade	0.10

<sup>30</sup> - Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Distância do sistema viário	0.10
Distância do perímetro urbano	0.10
Total	1.00

Os fatores foram agregados, numa primeira etapa, usando o procedimento da Combinação Linear Ponderada. Nesse método cada factor padronizado é multiplicado pelo seu peso correspondente, somados, e a soma é dividida pelo número de fatores. Obtém-se um cenário com risco médio e compensação máxima entre os fatores.

Numa segunda etapa, os fatores e as restrições foram agregados pelo processo da Média Ponderada Ordenada, no qual aplica-se um segundo conjunto de pesos. Esse processo permite o estabelecimento de cenários com variação da compensação entre os fatores e do risco na análise. Foram identificados cinco cenários, buscando-se sempre explorar, ao máximo, a compensação entre os fatores.

A atitude de risco, da análise, e o grau de compensação entre os fatores foram medidos, respectivamente, pelas variáveis RISCO (R) e COMPENSAÇÃO (C) dadas pelas Equações 1 e 2.

$$RISCO = \frac{1}{n-1} \times \sum_i [(n-i) \times O_i] \quad (1)$$

$$COMPENSAÇÃO = 1 - \sqrt{\frac{n \times \sum_i (O_i - \frac{1}{n})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Onde:

- n é o número total de factores;
- i é a ordem do fator;
- $O_i$  é o peso para o fator de ordem i.

## 4.4 Caso de estudo

### 4.4.1 Combinação dos Critérios

Uma vez normalizados os escores dos critérios para um intervalo fixado [0-255], estes já podem ser agregados de acordo com a regra de decisão. Existem diversos métodos de combinação de critérios MALCZEWSKI, (1999). Os procedimentos que, no âmbito dos processos de decisão de natureza espacial, objetivo geral do trabalho aqui proposto, é mais relevantes: a Combinação Linear Ponderada (WLC – Weighted Linear Combination) e a Média Ponderada Ordenada (OWA – Ordered Weighted Average).

Identificando-se a relação de importância entre os fatores (ambientais, operacionais e sócio-econômicos), procedeu-se à agregação, utilizando tanto o módulo MCE-WLC (Multi-Criteria Evaluation - Weighted Linear Combination / Combinação Linear Ponderada) quanto o módulo MCE-OWA (Multi-Criteria Evaluation - Ordered Weighted Average / Média Ponderada Ordenada) de apoio à tomada de decisão. O resultado do procedimento, acima descrito, terá como consequência a geração de uma

imagem de adequabilidade caracterizada pelos critérios apresentados e, principalmente, pela técnica de agregação utilizada.

#### **4.4.2 Média Ponderada Ordenada – OWA**

YAGER (1988) introduziu uma nova perspectiva de análise através de outro procedimento de agregação de fatores. Esta técnica, além de utilizar os pesos de critérios usados no procedimento WLC, considera outro conjunto de pesos que não estão especificamente ligados a quaisquer fatores, mas que lhes são aplicados por uma ordem que depende do valor dos fatores após aplicação normal do primeiro conjunto de pesos. Este procedimento denomina-se OWA e estes novos pesos denominam-se "order weights" (pesos ordenados), visto que sua aplicação depende da ordenação dos fatores a serem agregados, EASTMAN et. al., (1998).

Depois da aplicação do primeiro conjunto de pesos aos fatores (tal como no procedimento WLC), os valores resultantes (agora ponderados) são ordenados do valor mais baixo para o mais elevado. Ao fator com o valor ponderado mais baixo é aplicado o primeiro peso ordenado, ao fator com o segundo valor mais baixo é aplicado o segundo peso ordenado, e assim sucessivamente. Trata-se, portanto, de ponderar os fatores com base na sua ordem, do mínimo para o máximo.

#### **4.4.3 Implementação da Avaliação Multi-Critério em Ambiente SIG**

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) são programas destinados à aquisição, gestão, análise e apresentação de informação georeferenciada. Utilizando a informação organizada em diferentes níveis temáticos (por exemplo, sistema viário, declividade, uso do solo, cobertura vegetal) é possível fazer várias operações de análise lógica, estatística e matemática apresentando resultados em uma carta ou tabela. Este tipo de ferramenta permite o monitoramento e a gestão dos recursos naturais e uso do solo (EASTMAN et. al., 1993, 1994; EASTMAN et. al., 1998; CAVER, 1991; JANSSEN & RIETVELD, 1990; HONEA et. al., 1991; CALIJURI, 2000).

A avaliação multi-critério pode ser implementada num SIG através de um dos dois procedimentos a seguir. O primeiro envolve a sobreposição booleana, na qual todos os critérios são reduzidos a declarações lógicas de adequabilidade (isto é, classificados de forma binária: 0/1) e então combinados por via de operadores lógicos como a interseção (AND - E) e a união (OR - OU). O segundo envolve a combinação de critérios contínuos (fatores), através da normalização para uma escala comum e da aplicação de pesos para obter médias ponderadas. Por razões que remontam à facilidade com que estas abordagens podem ser implementadas, a sobreposição booleana tem dominado as aplicações em SIG vetoriais, enquanto que a combinação de critérios contínuos domina as aplicações em SIG raster (RAMOS & MENDES, 2001).

No trabalho proposto optou-se por um SIG raster, no qual as Restrições são processadas através de operações booleanas enquanto os Fatores são processados por operadores matemáticos, recorrendo à álgebra de mapas.

A implementação do modelo corresponde, em um SIG raster, ao processamento de cada pixel de uma imagem raster representativa do território em estudo, permitindo obter um mapa de adequabilidade contínua.

#### **4.4.4 - Estabelecimento dos Critérios**

No presente trabalho, optou-se por subdividir a análise inicial em três critérios (ambiental, operacional e sócio-econômico). Esta divisão tem por objetivo discernir os aspectos que individualizam cada critério (importância relativa), o que permite uma melhor comparação par-a-par dos fatores envolvidos. Este procedimento possibilita inicialmente que fatores de mesma natureza sejam relacionados.

##### **4.4.4.1 Critérios Restritivos (restrições)**

As Restrições são um tipo de critério que, como já foi dito, restringem o espaço de solução do problema, através da exclusão de áreas de acordo com determinadas condições. Foram consideradas as restrições associadas aos critérios ambiental, operacional e sócio-econômico, de acordo com o quadro 15. Os critérios restritivos, como representam restrições absolutas à implantação do aterro, foram aplicados como máscaras para descartar todas as áreas que não atendem a alguma das restrições que elas representam.

##### **4.4.4.2 Critérios Escalonados (fatores)**

Fatores, por outro lado, são critérios que definem algum grau de aptidão para a área considerada. Eles definem áreas ou alternativas em termos de uma medida contínua de adequabilidade, realçando ou diminuindo a importância de uma alternativa em consideração naqueles locais fora das restrições absolutas. Foram considerados os fatores associados aos critérios ambiental, operacional e sócio-econômico, de acordo com o quadro 15.

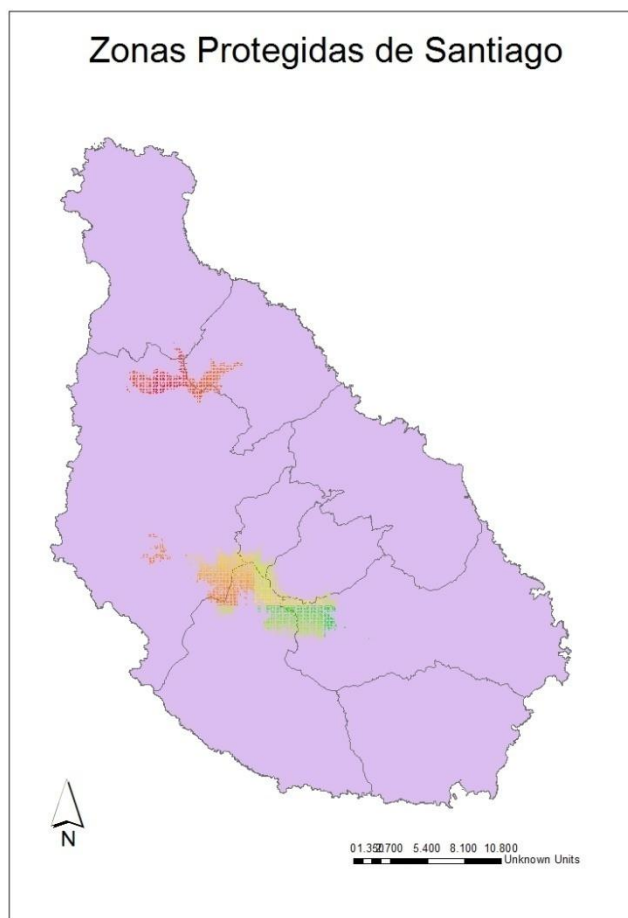
##### **4.4.4.3 Descrição e Justificação dos Critérios**

A seguir, são apresentadas a descrição e a justificativa dos critérios adotados no presente trabalho.

###### **4.4.4.3.1 Critérios Restritivos Ambientais (RA)**

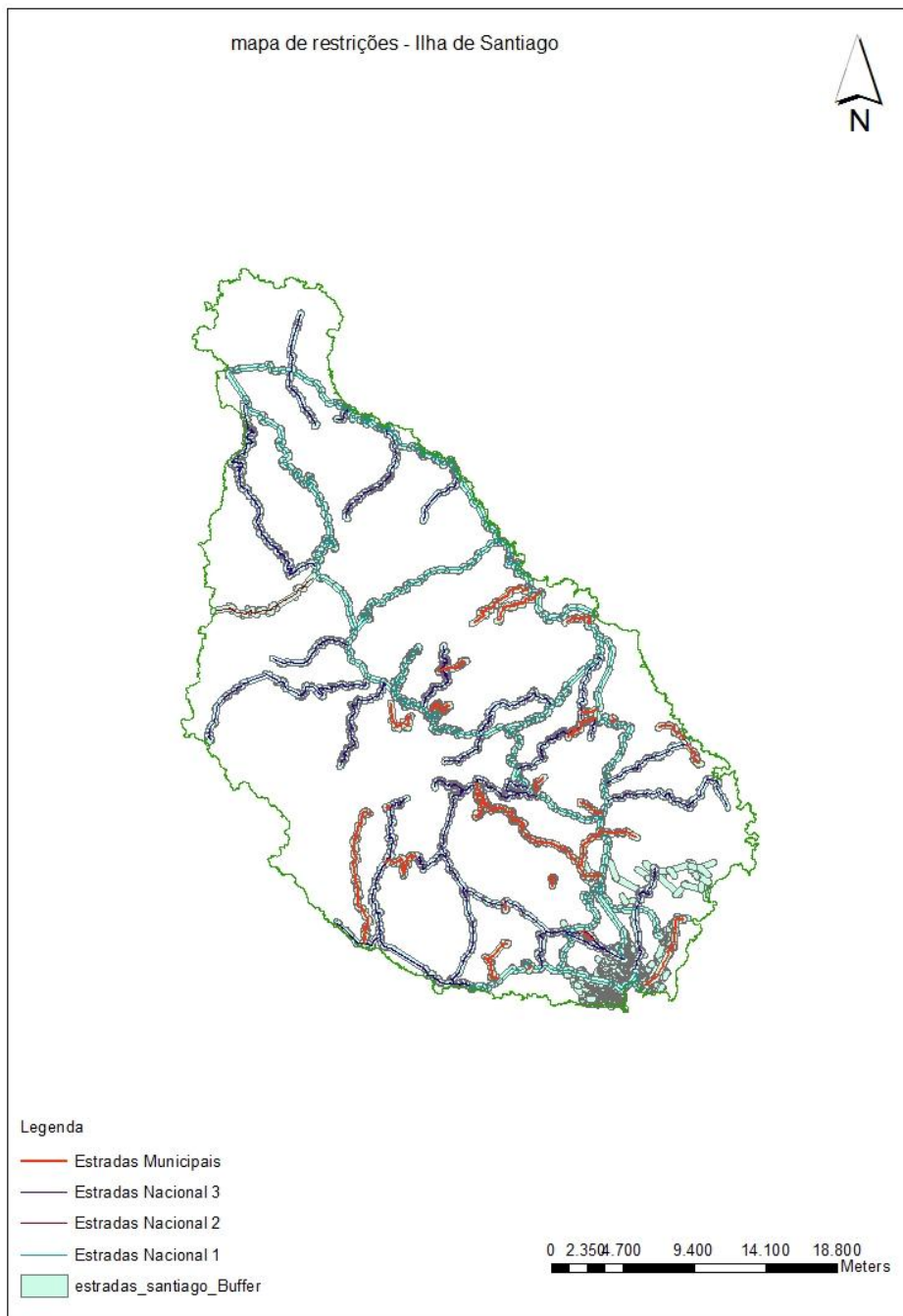
- Distância mínima (“buffer”) das áreas de preservação permanente (florestas e zonas protegidas), fixada em 200 metros, visando preservar a fauna e a flora. Figura 12

**Figura 12 - Zonas Florestais Protegidas da ilha de Santiago<sup>31</sup>**



- Distância mínima (“buffer”) do sistema viário, fixada em 200 metros, objetivando preservar as áreas de circulação do impacto visual do aterro. Somente as áreas a mais de 200 metros de rodovias são consideradas aptas e as demais excluídas da análise, conforme ilustra a figura 13

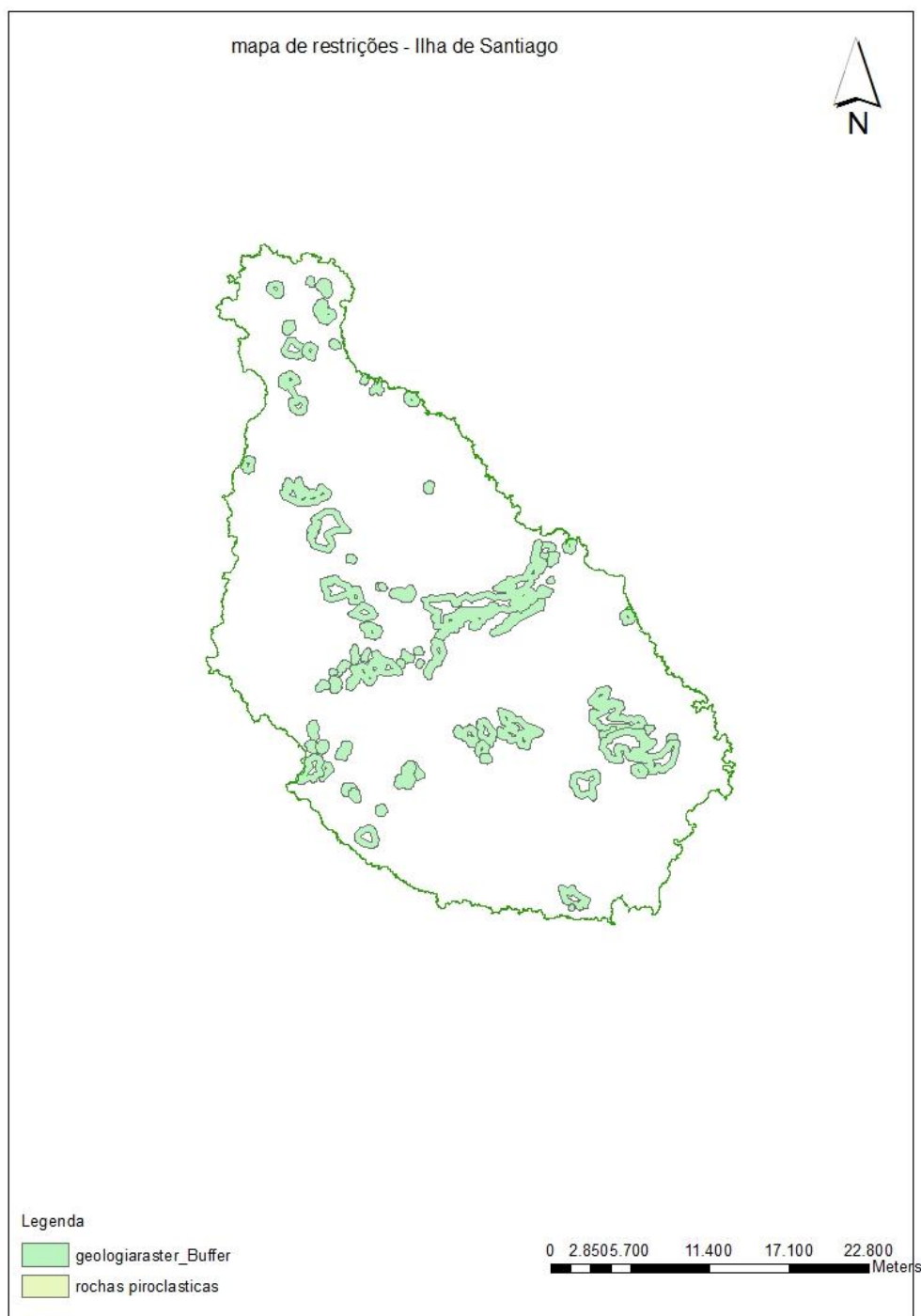
<sup>31</sup> - Fonte: Autor, Setembro de 2011 em ArcGIS, 9.3

**Figura 13 - Restrições das rodovias da ilha de Santiago<sup>32</sup>**

- Distância mínima (“buffer”) das rochas piroclásticas, estabelecida em 100 metros, visando preservar os caminhos preferenciais dos efluentes provenientes do aterro sanitário. Assim, somente as áreas com uma distância das rochas piroclásticas consideradas serão aceites, de acordo com a figura 14.

<sup>32</sup> - Fonte: Autor, Setembro de 2011 em ArcGIS, 9.3

Figura 14 - Restrições em relação as rochas piroclásticas<sup>33</sup>

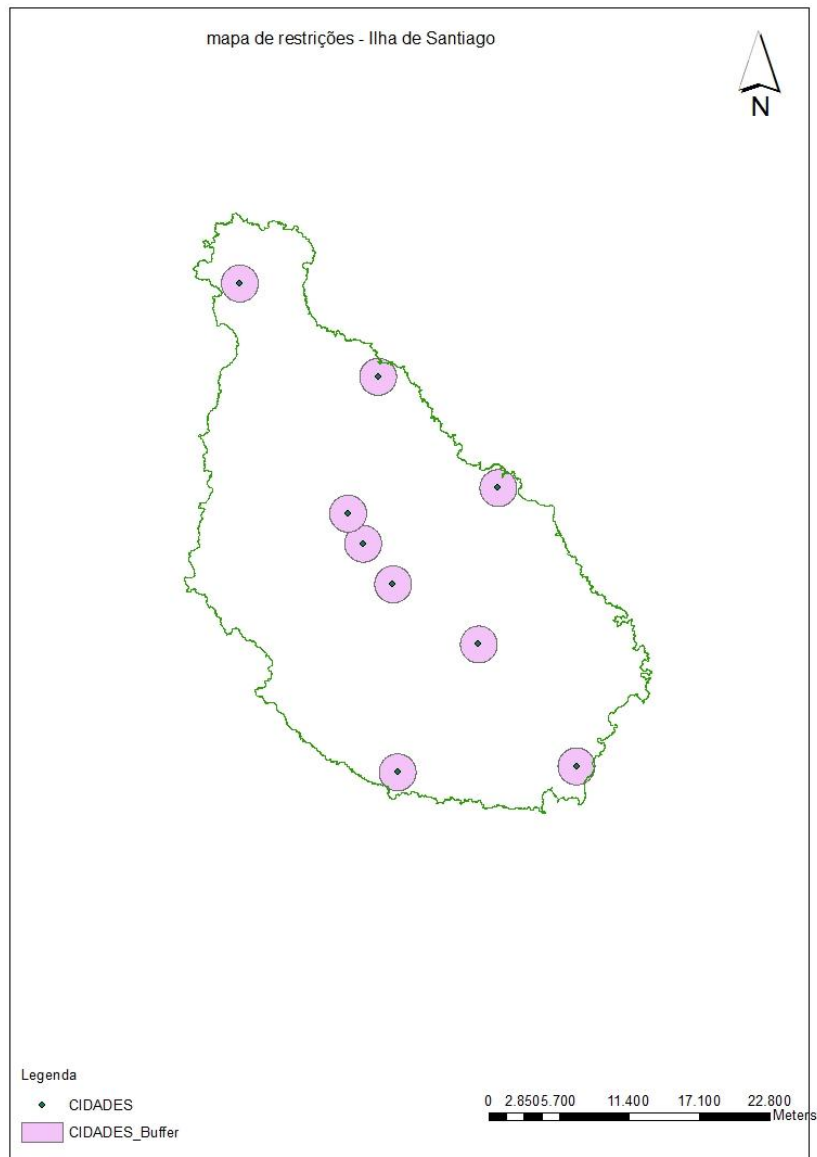


#### 4.4.4.3.2 Critérios Restritivos Operacionais (RO)

- Declividades situadas em locais com inclinação entre 1% e 30% são consideradas aptas e, portanto, incluídas na análise. Sendo assim, somente as áreas com declividade superior a 30% não são consideradas.

<sup>33</sup> - Fonte: Autor, Setembro de 2011 em ArcGIS, 9.3

**Figura 15 - Mapa das cidades da ilha de Santiago<sup>34</sup>**



#### **4.4.4.3.3 Critérios Restritivos Sócio-Econômicos (RS)**

- Distância mínima de 500m (“buffer”) dos núcleos populacionais, objetivando minimizar o contato da população com a operação do aterro (cheiro desagradável e poeira) conforme ilustra a figura 15
- Distância mínima de 500m (“buffer”) das povoações, com o objetivo de evitar à proximidade do aterro sanitário

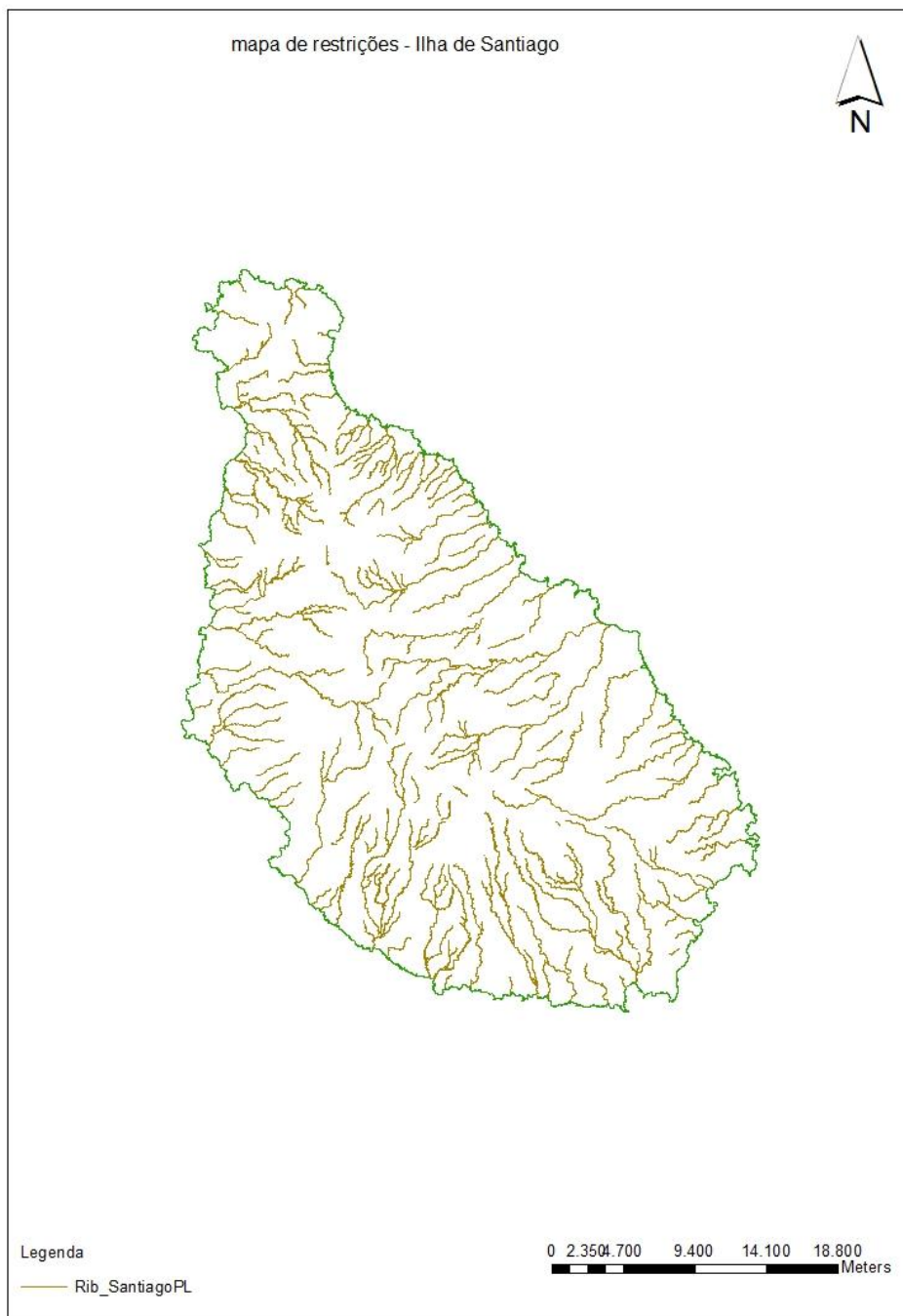
#### **4.4.4.3.4 Critérios Escalonados Ambientais (FA)**

- Distância mínima de 20m de qualquer coleção hídrica ou curso d’água. Como em Cabo Verde não existe cursos de água permanente, acredita-se que uma distância de

<sup>34</sup> - Fonte: Autor, Setembro de 2011 em ArcGIS, 9.3

50m seria ideal. Com isso, optou-se por escalonar o valor da adequabilidade entre 20m e 50m, acima da qual a aptidão não apresenta sensível alteração. Figura 16

**Figura 16 - Mapa de rede hidrografica<sup>35</sup>**

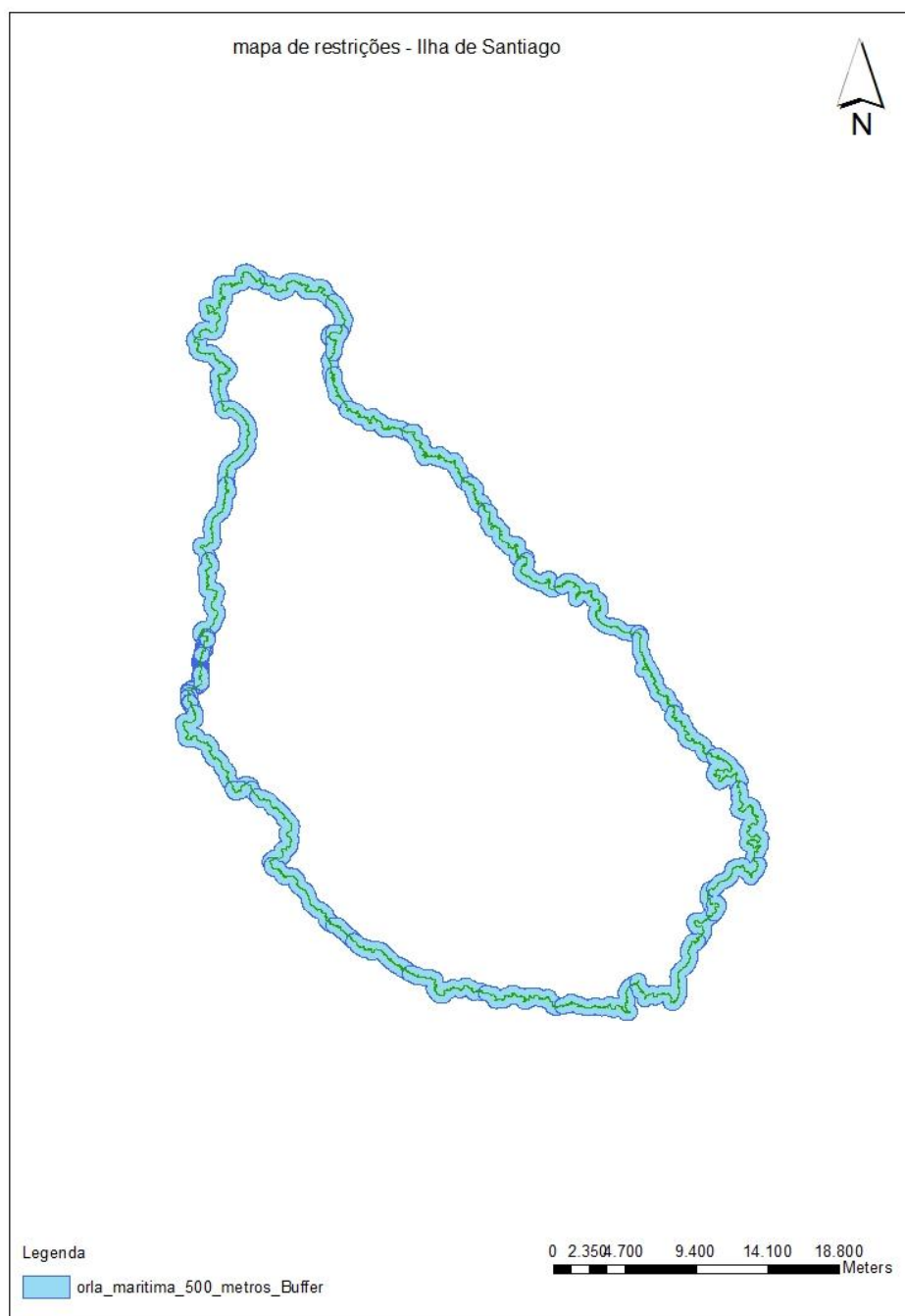


- Distância mínima de 100m das rochas piroclásticas, visando preservar a infiltração. Neste caso, distâncias entre 100m e 300m são consideradas ideais. Sendo assim, optou-se por escalonar o valor da adequabilidade entre 100m e 300m, acima do qual a aptidão não apresenta alteração.
- Pedologia (solos), considerando -se as áreas mais propícias para a implantação do aterro em função da permeabilidade do terreno, disponibilidade de material terroso para

<sup>35</sup> - Fonte: Autor, Setembro de 2011 em ArcGIS, 9.3

recobrimento e profundidade do lençol freático. Quanto mais favoráveis essas características nas unidades de mapeamento, maior sua aptidão à implantação de um aterro sanitário.

**Figura 17 - Orla Marítima<sup>36</sup>**



#### 4.4.5 Critérios Escalonados Operacionais (FO)

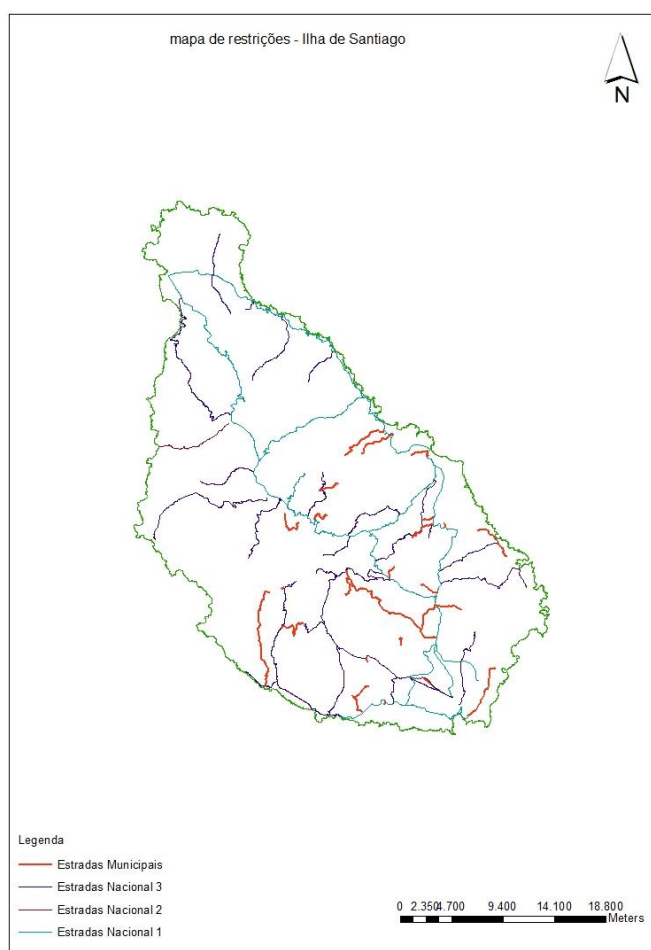
- Declividades entre 1% e 30% s, considerando-se que baixas declividades favorecem as operações de movimentação de resíduos e solos, além de oferecer condições menos

<sup>36</sup> - Fonte: Autor, Setembro de 2011 em ArcGIS, 9.3

críticas para os sistemas de drenagem. Quanto menor for a declividade da área em análise, mais apta ela será para a implantação de um aterro sanitário. Acredita-se que declividades entre 1 e 5% são mais adequadas do que entre 20 e 30%. No entanto, por se tratar de uma ilha, portanto cercada por mar, tivemos que preservar a orla marítima, não só porque é imposta pela legislação vigente, como todas as ZDTI'S (Zona de Desenvolvimento Turístico Integrado), situam na orla Marítima. Figura 17

- Distâncias superiores a 500m do sistema viário oneram consideravelmente os custos de operação do aterro sanitário, uma vez que obriga a abertura de um acesso para a área de forma que encarece os custos de implantação e operação do aterro sanitário. Dessa forma, quanto mais próximo de uma rodovia estiver a área em análise (limitado ao critério restritivo ambiental), mais apta ela será para a implantação do aterro, pois menores serão os custos de transporte. Figura 18.

**Figura 18 - Vias da Ilha de Santiago escalonadas segundo grau de importancia<sup>37</sup>**



#### 4.4.5.1 Critérios Escalonados Sócio-Econômicos (FS)

- Distância mínima de 500m das cidades – núcleos populacionais, com o objetivo de minimizar o contato da população com a operação do aterro (de acordo com a legislação em vigor). Distâncias entre 500m e 700m são consideradas adequadas para o empreendimento proposto. Com isso, procurou -se escalonar o valor da adequabilidade entre 500m e 700m, acima do qual a aptidão não apresenta ganhos sensíveis.

<sup>37</sup> - Fonte: Autor, Setembro de 2011 em ArcGIS, 9.3

## 4.4.6 Ponderação das Variáveis

### 4.4.6.1 Comparação Par-a-Par

Considerando-se que as variáveis que interferem na escolha de uma área para a implantação de um aterro sanitário contribuem com pesos diferenciados no processo final de decisão, estabeleceu-se uma ponderação das variáveis de acordo com sua importância na decisão sobre a aptidão de uma área. A rotina utilizada auxilia o estabelecimento dos pesos finais através da comparação da importância relativa das variáveis duas a duas, diminuindo a subjetividade na decisão. É importante salientar que as comparações foram desenvolvidas em seus respectivos critérios (ambiental, operacional e sócio-econômico).

O peso final de cada variável é estimado através do método AHP (“Analytical Hierarchy Process” – Processo de Hierarquização Analítica) aplicado à matriz de comparação par-a-par. Com isso, obtém-se os pesos para as variáveis utilizadas na presente análise.

#### 4.4.6.1.1 Comparação Par-a-Par– Fator Ambiental

A seguir, é apresentada a matriz de comparação dos fatores ambientais e o resultado final dos pesos calculados.

##### 4.4.6.1.1.1 Fatores Ambientais

- Fator Distância da rede hidrográfica e Fator Distância das rochas piroclásticas: 3

O fator Distância da rede hidrográfica é mais importante do que o fator rochas piroclásticas, porque, praticamente o risco de efluentes atingir a malha hidrográfica é maior, uma vez que a densidade e distribuição dessa malha é superior às rochas existentes.

- Fator Distância da rede hidrográfica e Fator Geológico:5

Fator Distância da rede hidrográfica é fortemente mais importante do que o fator Geológico, pois o risco do fluxo de contaminantes atingir as águas sub-superficiais e superficiais é maior, mesmo em classes geológicas de maior consistência.

- Fator Distância da rede hidrográfica e Fator Unidades Naturais: 9

O Fator Distância da rede hidrográfica é extremamente mais importante do que o fator Unidades Naturais, pois o risco dos poluentes atingirem as águas superficiais é maior, mesmo em áreas com características peculiares como são os casos de lugares, planos e férteis.

- Fator Distância das rochas piroclásticas e Fator geológico: 5

O fator Distância das Falhas Geológicas é fortemente mais importante do que o fator Pedológico, da mesma forma que o Fator Distância da rede hidrográfica ou seja, a possibilidade de ocorrência do fluxo de contaminantes em direção às rochas piroclásticas é considerável.

- Fator Distância das Rochas Piroclásticas e Fator Geomorfológico: 7

O fator Distância das Rochas Piroclásticas é muito mais importante do que o fator Geomorfológico, da mesma forma que o Fator Distância da rede hidrográfica, ou seja, a possibilidade da ocorrência do transporte de contaminantes em direção as zonas de infiltração é o ponto crítico da consideração.

- Fator Rochas Piroclásticas e Fator Unidades Naturais: 9

O fator Distância das Rochas Piroclásticas é muito mais importante do que o fator Unidades Naturais, da mesma forma que o fator Fator Distância da rede hidrográfica.

- Fator Geológico e Fator Geomorfológico: 3

O fator Geológico é moderadamente mais importante do que o fator Geomorfológico, pois acredita-se que a formação geológica é mais importante que a forma do terreno, uma vez que os critérios de declividade estão sendo atendidos (1-30%).

- Fator Geológico e Fator Unidades Naturais: 5

O fator Geológico é relativamente mais importante do que o fator Unidades Naturais, pois o risco de utilizar áreas com formações geológicas inadequadas é maior, principalmente no desenvolvimento das operações do aterro sanitário.

#### **4.4.6.1.1.2 Fatores Operacionais**

- Fator Declividade e Fator Distância do Sistema Viário: 1/5

O fator Declividade é fortemente menos importante do que o fator Distância do Sistema Viário, pois o custo de implantação e operação do aterro envolvem investimentos menores quando comparados com os gastos em equipamentos, manutenção e combustíveis para o transporte do lixo durante a vida útil do aterro.

- Fator Declividade e Fator Distância de Custo do Perímetro Urbano: 1/5

O fator Declividade é fortemente menos importante do que o fator Distância de Custo do Perímetro Urbano, pois os investimentos em infra-estrutura (abertura de estradas, por exemplo) para escoar o transporte do lixo envolvem consideráveis investimentos quando comparados com o custo de implantação e operação do aterro.

- Fator Distância do Sistema Viário e Fator Distância de Custo do Perímetro Urbano: 1

O fator Distância do Sistema Viário e fator Distância de Custo do Perímetro Urbano são igualmente importantes, pois estão relacionados.

#### **4.4.6.1.1.3 Fatores Sócio-Econômicos**

- Fator Distância das Cidades e Fator Distância da Cidade de Maior Aglomeração: 1/3

O fator Distância das Cidades é menos importante do que o fator Distância da Cidade de maior aglomeração, pois a concentração populacional e a intensa atividade humana se concentra nessa cidade.

- Fator Distância das Cidades e Fator Distância dos povoados: 5

O fator Distância das Cidades é fortemente mais importante do que o fator Distância dos Povoados, uma vez que as atividades sócio-econômicas são muito mais ativas nas cidades do que nos povoados.

- Fator Distância da Cidade de Maior Aglomeração e Fator Distância dos povoados: 7

O fator Distância da Cidade de Maior Aglomeração é muitíssimo mais importante do que o fator Distância dos Povoados, pois a concentração populacional e a intensa atividade humana não se compara.

### **4.5 Interpretação/análise de resultados**

Este trabalho apresenta a metodologia utilizada na avaliação e seleção de áreas para implantação de aterros sanitários que possa servir toda a ilha de Santiago, com uso de análise multicritério e sistemas de informação geográfica. Foram encontradas 15 áreas entre 20 e 200 ha que apresentaram alta adequabilidade (superior a 220).

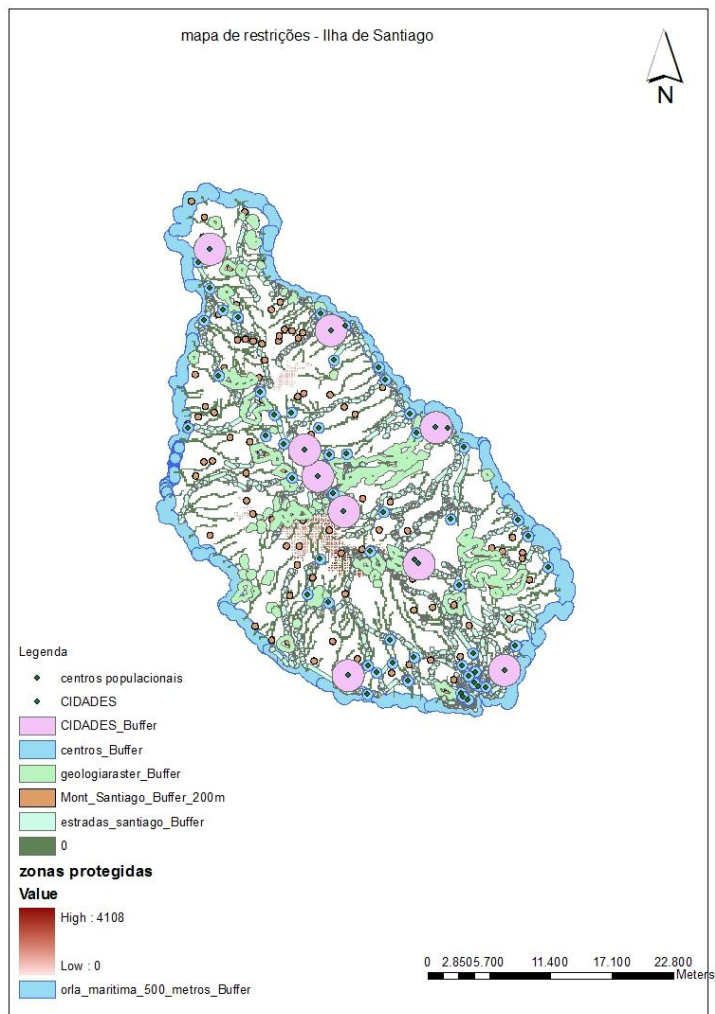
O resultado da combinação das imagens a partir de combinação de critérios ambiental, operacional e sócio - econômico, para cada uma das quais foram definidos pesos desenvolvidos através da comparação par-a-par, mostram os resultados deste primeiro procedimento de agregação de critérios, saindo os mapas de aptidão à implantação de aterro sanitário na ilha de Santiago, gerados através da análise integrada dos dados disponíveis sobre a área em estudo, segundo os critérios e pesos estabelecidos.

Esses mapas não identificam as áreas aptas ou inaptas, mas representam uma superfície de adequabilidade, resultante da aplicação dos critérios e de sua análise ponderada, que indica sua aptidão individual ao propósito desejado. A partir dessas superfícies, é possível estabelecer um limiar para a seleção das melhores áreas, ou efetuar uma hierarquização das células de forma a selecionar apenas os melhores hectares para a implantação de um aterro sanitário, e sobre estes isolar uma ou mais áreas contíguas do tamanho mínimo desejado. Dessa forma, os mapas permitem ter uma visão de como a ilha, no seu todo, se comporta em termos de aptidão à implantação de um aterro, possibilitando a escolha dos locais dentro das áreas mais aptas que merecem um estudo detalhado.

Convém realçar que optou-se por desenvolver uma metodologia onde o maior peso é aplicado ao fator operacional em detrimento dos outros fatores. Esta decisão foi baseada em dois critérios: o primeiro, refere-se ao fato de que as restrições adotadas já abordam intensamente os aspectos ambientais e, o segundo, está relacionado com a elevação dos custos operacionais que podem inviabilizar o empreendimento. Sabendo que Praia é o centro de maior número de população seria imprudente que a localização do aterro sanitário estivesse muito afastado o que implicaria o aumento do custo de transportes, consequentemente inviabiliza qualquer projeto do tipo.

Os outros cenários processados foram comparados com os cenários acima e, por não atenderem as características propostas, não foi realizado uma análise mais aprofundada.

Figura 19 – mapa da ilha de Santiago incluindo todas as restrições<sup>38</sup>



Com essa abordagem, foi possível limitar o número de áreas a serem analisadas em estudos superficiais e sub-superficiais localizados, permitindo racionalizar a aplicação de recursos financeiros e a escolha de alternativas mais adequadas do ponto de vista ambiental, operacional e socioeconômico. Análises como esta realçam as potencialidades do geoprocessamento para a tomada de decisão em empreendimentos, que directos ou indirectamente estão relacionados com o ambiente. O processo de ponderação, além de permitir a compensação de uma variável pela outra, pode ser usado para gerar vários cenários para o mesmo objetivo por meio da simples alteração dos pesos ou da inclusão ou exclusão de variáveis.

Neste estudo, foi possível quantificar as diferentes variáveis e encontrar a melhor solução com resposta a várias questões. O método de análise hierárquico é, actualmente aplicado na prática das decisões multi-critério envolvendo complexidade e subjetividade. O método tem sido empregado para situações de: definição de prioridades, avaliação de custos e benefícios (CBA-Cost and Benefit Analysis), alocação de recursos, mensuração de desempenho (benchmarking), avaliação ou

<sup>38</sup> - Fonte: Autor, Outubro de 2011 em ArcGIS, 9.3

pesquisa de mercado, determinação de requisitos, decisões estratégicas (Forward & Backward Planning), planejamento e sequenciação de atividades, previsão de cenários (forecasting), negociação e resolução de conflitos, decisões e previsões políticas ou sociais, e análise de decisão sob risco (MORITA et al., 1999 in LAURINDO, 2002). Contudo, CARVALHO (1997) adverte que, apesar do amplo e crescente espectro de aplicações do AHP, existem algumas restrições quanto ao uso deste método, tais como a quantidade de comparações paritárias necessárias que cresce muito rapidamente com o tamanho da matriz e a reversão de ordem, a alteração das alternativas dominantes em função da inclusão ou exclusão de alternativas irrelevantes (DYER, 1990a e 1990b; SAATY; 1990; MORITA et al., 1999). A ferramenta permite modelar o problema, de forma que o objetivo a ser alcançado e os critérios envolvidos no processo de decisão sejam claros a todos os níveis; os critérios são mensurados numa escala de prioridades relativas; os objetivos estratégicos podem facilmente ser contemplados.

Segundo CRUZ Jr. & CARVALHO (2003), para que a modelagem seja bem feita, na construção das hierarquias devem ser incluídos todos os detalhes relevantes para a representação do problema, o mais próximo da real possível, considerando o ambiente que envolve o problema e todos os tomadores de decisão.

#### 4.5.1 Cálculo da Área Mínima

A ilha de Santiago apresenta uma população de aproximadamente 274.319 habitantes. Adotando-se uma produção de lixo per capita da ordem de 0,60 Kg/hab/dia, densidade média de lixo de 0,70 t/m<sup>3</sup> e uma vida útil de 20 anos é possível estimar a produção de lixo neste período.

Segundo MONTEIRO et al. (2001), a seleção preliminar das áreas disponíveis deve ser feita da seguinte forma:

- Estima-se preliminarmente a área total do aterro, em metros quadrados, levando-se em consideração o cálculo da área da seguinte forma: multiplica-se a quantidade de resíduos sólidos coletada diariamente, em toneladas, pelo fator 560 (Este fator se baseia nos seguintes parâmetros, usualmente utilizados em projetos de aterros: vida útil = 20 anos; altura do aterro = 20 m; taludes de 1:3 e ocupação de 80% do terreno com área operacional);
- Levantamento das áreas disponíveis, dentro dos perímetros delimitados anteriormente, com dimensões compatíveis com a estimativa realizada;

Não podendo ter estimativas das coletas diárias na ilha de Santiago, recoremos a produção diária, por pessoa que situa a volta de 600 g/d, numa população de 274.319 habitantes, resultando em produção diária em cerca de 265 toneladas.

Calculou-se a área mínima de um aterro que pudesse atender a necessidade de toda a ilha de Santiago, multiplicando 265 ton.dia<sup>-1</sup> pelo fator 560, que resulta numa área mínima de 148.400 m<sup>2</sup>. Esta informação foi usada no SIG para verificar se todas as áreas que foram calculadas eram iguais ou maiores que a área mínima.

Ao final da vida útil considerada (20 anos), a ilha terá produzido mais de 5000.000.000m<sup>3</sup> de lixo, com um volume acumulado (lixo + cobertura de solo) cerca de 600.000,00 m<sup>3</sup>. Adotando-se o método da trincheira, tem-se como área mínima o valor que situa entre 13 a 20 ha (hectares). A fim de acomodar outras atividades operacionais do aterro, além de uma possível ampliação, optou-se por uma área mínima de 20 ha (hectares).

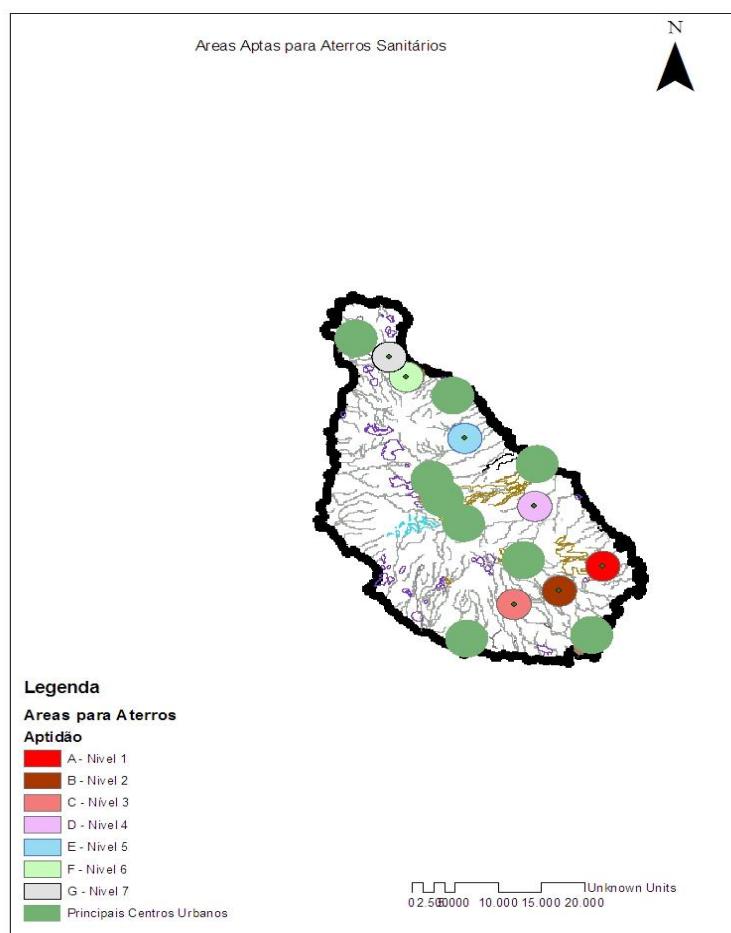
## 4.5.2 Seleção das Áreas com Maior Adequabilidade

Com a imagem de adequabilidade final e a área mínima necessária (20 ha) definidas, é possível selecionar algumas áreas aptas à implantação do empreendimento.

Utilizando-se SELECT do Software ARC-GIS, 9.3, foi possível encontrar 7 locais que apresentam áreas superiores a 20 ha., tendo em conta os custos de transporte, as zonas urbanas de mais produção de resíduos sólidos e em conjugação com os factores físicos, permitiu a escolha de principais locais, em diferentes níveis, que pode ser verificado na figura 20.

A localização sobre uma área que não é a melhor, associada aos potenciais impactos inerentes ao aterro, sugerem que a destinação final dos resíduos sólidos seja deslocada para locais mais apropriados, utilizando-se o mapa de aptidão como guia. Existem inúmeras alternativas, incluindo áreas não muito distantes da localização atual que podem ser utilizadas caso o deslocamento para locais mais distantes incorram em transtornos não previstos no presente estudo. Além de mudar a localização, ressalta -se a necessidade de todas as outras medidas desejáveis para uma adequada disposição de resíduos sólidos urbanos.

**Figura 20 - Áreas Potenciais para Instalação do Aterro sanitário<sup>39</sup>**



<sup>39</sup> - Fonte: Autor, em ArcGis 9.3 - Outubro de 2011.

## 5. Conclusões e recomendações

O crescimento da população e da produção de lixo se depara com a redução do número de áreas adequadas à implantação de aterro sanitário disponíveis na ilha de Santiago, que terá daqui a 20 anos, produzido mais de 5000.000,000 m<sup>3</sup>. Sabe-se que áreas disponíveis para a instalação de aterro sanitário são cada vez mais escassas devido, principalmente, à intensa urbanização;

Uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos é o lançamento ou deposição a céu aberto, na qual estes são simplesmente descarregados sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Esta forma de disposição facilita a proliferação de insetos vetores (moscas, mosquitos, baratas, ratos), geração de maus odores, poluição das águas superficiais e subterrâneas pelo lixiviado, além de não possibilitar o controle dos resíduos encaminhados para o local de disposição. Entretanto, existem outras formas de disposição final de resíduos sólidos: aterro controlado, aterro sanitário e aterro sanitário-energético (BIDONE & POVINELLI, 1999).

O depósito atual de lixo encontra-se sobre uma área, muito próximo das áreas com aptidão para habitação que deverá ser deslocado. Utilizando-se o mapa de aptidão como guia, verifica-se a existência de inúmeras alternativas, incluindo áreas não muito distantes da localização atual, que poderiam ser utilizadas.

Os resultados obtidos revelaram que o método de análise estratégica de decisão, viabilizada pela potencialidade do SIG, permite a integração de informações espaciais para tomada de decisão no processo de avaliação e seleção de áreas para a implantação de empreendimentos impactantes, como é o caso de aterro sanitário.

Procurou-se apresentar uma metodologia que permita a avaliação e seleção de áreas para implantação de aterros sanitários que possa servir toda a ilha de Santiago.

O problema da localização de aterro sanitário é caracterizado por um grande número de variáveis que compõem os critérios relevantes ao processo de decisão dos locais com potencial para a sua instalação. Estes critérios são, em sua maioria, considerados conflitantes, como os de ordem econômica e os de ordem ambiental. Além disso, são fornecidos por diferentes sectores e em geral, não são padronizados para efeito de comparação entre si. Para a resolução deste problema, o modelo aqui proposto integra as componentes espaciais do problema (municípios, centros urbanos, vias, geologia, ...) através de um SIG, na fase de geração de alternativas, e incorpora as técnicas de análise multicritério na fase de ordenação das alternativas válidas para a instalação do aterro.

No planeamento é especialmente importante o uso de ferramentas de apoio à decisão e, por este motivo, o modelo proposto pode ser utilizado por empresas ou órgãos responsáveis pelo licenciamento de empreendimentos deste tipo.

A análise multicritério, aplicada às diferentes técnicas de avaliação, proporcionou ao modelo consistência nos processos de ordenação das alternativas. A técnica WLC tem a importante característica de permitir a compensação entre os critérios (trade-off), o que significa que um critério com valor baixo pode ser compensado por outros com valores mais altos no processo de agregação. Pela técnica OWA é possível avaliar diversos cenários em que situações como a de risco mínimo, médio e máximo possam ocorrer, sendo os scores extremos considerados nas análises de risco máximo e mínimo, o que

significa que os critérios não podem ser compensados uns pelos outros (ausência de trade-off).

Na aplicação destas técnicas podem ser observados os resultados obtidos e apresentados. A utilização da ferramenta SIG nos processos de localização em geral tem se mostrado eficiente, contribuindo para o desenvolvimento de modelos como o proposto neste trabalho. A incorporação de técnicas de decisão multicritério para o aprimoramento dos resultados obtidos no SIG tem trazido inúmeros benefícios para as avaliações. O modelo proposto é aplicável em qualquer sistema ou região com a substituição dos dados correspondentes à área desejada, alimentando os bancos de dados, o que para o caso em estudo é fundamental. Além disso, novos critérios, pesos e parâmetros podem ser incorporados ao trabalho sem prejuízo da modelagem aqui proposta.

Para as condições específicas em que foi realizado o presente trabalho foi possível concluir que:

- (1) A abordagem multicriterial, com o método da Média Ponderada Ordenada, possibilita a definição de áreas prioritárias para a conservação e a preservação florestal, visando ao incremento da biodiversidade regional;
- (2) Para utilização desse método deve-se ter um bom conhecimento da paisagem a ser estudada, para que se defina com coerência os pesos de compensação, de ordenação e as alternativas propostas.
- (3) O método da Média Ponderada Ordenada é flexível, fácil de ser implementado e permite a interação de conhecimentos, pesquisadores, analistas etc.) e de características da paisagem, no processo de tomada de decisão;
- (4) Dos fatores inicialmente propostos, para os objetivos deste trabalho somente a proximidade à rede hidrográfica não tomada como importante porque entendeu-se que é um fator que pode ser facilmente desviado, já que os cursos de água não são permanentes;
- (5) A análise de sensibilidade é essencial na avaliação dos fatores, de seus pesos (compensação e ordenação) e das soluções propostas;
- (6) A coerência apresentada entre os pesos de compensação, de ordenação e a solução final conferem robustez ao processo de tomada de decisão.

O Método utilizado demonstrou ser de fácil aplicação e importante para suscitar discussões relevantes para aumentar a eficácia na seleção de melhor local para instalação do aterro sanitário que sirva toda a ilha de Santiago.

A utilização da ferramenta SIG nos processos de localização em geral tem se mostrado eficiente, contribuindo para o desenvolvimento de modelos como o proposto neste trabalho. A incorporação de técnicas de decisão multicritério para o aprimoramento dos resultados obtidos no SIG tem trazido inúmeros benefícios para as avaliações e planejamento não só para implantação de aterros sanitários, com para a decisão de planejamento da expansão de qualquer infraestrutura em que se usa múltiplas variáveis.

O modelo proposto é aplicável em qualquer sistema ou região com a substituição dos dados correspondentes à área desejada, alimentando os bancos de dados, o que para o setor de energia é fundamental. Além disso, novos critérios, pesos e parâmetros podem ser incorporados ao trabalho sem prejuízo da modelagem aqui proposta.

O modelo de avaliação foi estruturado por níveis hierárquicos de análise, sendo definido dentro de cada grupo de critérios definidos segundo uma seqüência que envolve três

etapas, descritas no item 2 (Metodologia): padronização (ou normalização) dos fatores, comparação par a par (ou identificação de pesos) e combinação (WLC e OWA). A Estrutura do Modelo de Avaliação utilizada está ilustrada na Figura 20.

Na Ponderação das Variáveis-Comparação Par a Par Considerando que as variáveis que interferem na escolha de áreas para a implantação do aterro sanitário contribuem com pesos diferenciados no processo final de decisão, estabeleceu-se uma ponderação de acordo com a importância de cada uma para a aptidão da área. O algoritmo utilizado auxiliou-nos no estabelecimento dos pesos finais através da comparação da importância relativa das variáveis duas a duas, diminuindo a subjetividade na decisão.

O peso final de cada variável foi estimado através do método AHP (Analytical Hierarchy Process – Processo de Hierarquização Analítica) aplicado à matriz de comparação par a par.

É importante notar de que os problemas de localização reais, em geral, envolvem um grande volume de dados. Como os dados necessários geralmente não estiveram estruturados, um grande tempo dos estudos foi dedicado à localização, coleta, organização e sua estruturação.

Ao analisar a sobreposição das áreas mais adequadas (aptidão maior que 220 e área maior que 20 ha) é possível observar que algumas destas áreas encontram-se sobre regiões cuja cobertura vegetal é praticamente nula. Aliado a isso, tem-se o fato de que um número considerável de áreas, apresentam-se perto do principal centro gerador de resíduos sólidos: a cidade da Praia e distante do Segundo Polo, Assomada, no concelho de Santa Catarina.

Com essa abordagem, é possível limitar o número de áreas a serem analisadas através de estudos superficiais e subsuperficiais localizados.

Abordagens como esta aqui descrita permitem racionalizar a aplicação de recursos financeiros e escolher alternativas mais adequadas do ponto de vista ambiental, operacional e sócio-econômico. Análises como a utilizada no presente trabalho, realçam as potencialidades do geoprocessamento para a tomada de decisão em empreendimentos relacionados ao meio ambiente. O processo de ponderação, além de permitir a compensação de uma variável pela outra, pode ser usado para gerar vários cenários para o mesmo objetivo através da simples alteração dos pesos ou da inclusão ou exclusão de variáveis.

Os resultados obtidos no presente estudo revela o SIG como uma ferramenta útil e ágil na integração de informações espaciais para tomada de decisão no processo de avaliação e seleção de áreas aptas à implantação de qualquer tipo de empreendimento, agregando os critérios ambiental, operacional e sócio-econômico de dados digitais (mapas cartográficos e temáticos e imagem de satélite) espacialmente georeferenciados;

Espera-se que a metodologia venha orientar a avaliação e seleção de áreas potenciais à instalação de aterros sanitários, visando, sobretudo, a redução de custos operacionais e ambientais, fundamental num país carente de saneamento básico e proteção ambiental.

Como sugestões de futuros trabalhos, têm-se:

- Atestar a viabilidade definitiva das áreas selecionadas, com levantamentos adicionais de caráter local como, por exemplo, os estudos de superfície e subsuperfície e também os de natureza socio-econômica. Esses estudos visam a

verificação *in situ* das potencialidades de cada área para a priorização de cada uma delas;

- Executar o levantamento das condições hidrogeológicas da ilha com o objetivo de gerar um mapa que caracterize a profundidade do lençol freático;
- Executar o levantamento das condições de vulnerabilidade geotécnica da ilha, a fim de atestar a permeabilidade dos diferentes tipos de solos locais;
- Inclusão na análise desenvolvida neste trabalho dos fatores sugeridos, anteriormente, a fim de gerar novas imagens de adequabilidade.

## 6. Referências Bibliográficas

- ALHO, J.; KANGAS, J. , 1997, Analyzing uncertainties in expert's opinions of forest plan performance. *Forest Science*, v.43, p.521-528.
- AMARAL, I. , 1964, Santiago de Cabo Verde – a Terra e os Homens. Lisboa: JIU - Memória da JIU, 444 pg., il.
- ANDRADE, F.S., 1999, Uso de sistemas de informação geográfica na identificação de áreas potenciais para a instalação de aterros sanitários no Distrito Federal. Tese (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências/UnB. Brasília, DF, Brasil, 131p.
- ANDREOLI, C.V., 2001, Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final, Curitiba-PR.
- [http://downloads.caixa.gov.br/\\_arquivos/desenvolvimento\\_urbano/saneamento/Residuos\\_solidos\\_saneamento.pdf](http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/desenvolvimento_urbano/saneamento/Residuos_solidos_saneamento.pdf)
- ARAÚJO, C.C., 1999, Aplicação de geoprocessamento na análise de favorabilidade para mineralizações de chumbo, zinco e cobre nas folhas Cerro Azul e Apiaí, Vale do Ribeira, (SP e PR). 1999. 117 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BAEZ, M.; SANCHEZ-PINTO. L. . 1983, Islas de Fuego y Agua: Las Palmas de Gran Canaria: Edirca, 184 pg., il
- BEBIANO, B. A., 1932, Geologia do Arquipélago de Cabo Verde - Comunicação ao Serv. Geológico de Portugal, Lisboa.
- BERRY, J.K. , 1993, Cartographic modelling: the analytical capabilities of GIS. In: GOODCHILD, M.; PARKS, B.; STEYAERT, L. *Environmental modelling with GIS*. Oxford: Oxford University Press. p.58-74.
- BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J., 1999, Conceitos básicos de resíduos sólidos, São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
- BRIDI, ELIANA, , 2008, Resíduos sólidos urbanos – uma proposta para otimização dos serviços de coleta e da disposição final, Porto Alegre.
- <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/14739/000668184.pdf?sequence=1>
- BRITO, S. N. A; SANTOS, A. M., 1998, Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.
- BUTLER, J et Al, 1997, Simulation techniques for the sensitivity analysis of multi-criteria decision models. *European journal of operational research*, v.103, p, 531-546.
- CAFISO, S.; GRAZIANO A. DI; KERALI, H.; ODOKI, G. , 2002, Multicriteria analysis method for pavement maintenance management. *Transportation Research Record*, n.1816, p.73-84.
- CALIJURI, M.L. et Al, 2002, Identificação de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários com Uso de Análise - Estratégica de Decisão.
- [http://74.125.155.132/scholar?q=cache:LyXgiiZlbRQJ:scholar.google.com/+sele%C3%A7%C3%A3o+de+%C3%A1rea+de+disposi%C3%A7%C3%A3o+final+dos+res%C3%ADuos+s%C3%B3lidos+urbanos&hl=pt-PT&as\\_sdt=0,5](http://74.125.155.132/scholar?q=cache:LyXgiiZlbRQJ:scholar.google.com/+sele%C3%A7%C3%A3o+de+%C3%A1rea+de+disposi%C3%A7%C3%A3o+final+dos+res%C3%ADuos+s%C3%B3lidos+urbanos&hl=pt-PT&as_sdt=0,5)
- CALIJURI, M.L.; MELO, A.L.O.; LORENTZ, J.F. , 2000, Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. *Informática Pública*, v.4, n.2, p.231-250.

- CANSONI, A. J. PERES, C. S. CASTRO, A. P., 1995, Origem e composição do lixo. In JARDIM N. S. (ed) lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. IPT, São Paulo, SP, Brasil.
- CARVALHO, M. M., 1997, QFD: uma ferramenta de tomada de decisão em projeto. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia Produção e Sistema, Universidade Federal de Santa Catarina. [www.eps.ufsc.br/teses97/marly/index.html](http://www.eps.ufsc.br/teses97/marly/index.html)
- CARVER, S.J. , 1991, Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*, 5(3), 321-339. [ Links ]
- CHEN, K.P.; BLONG, R.; JACOBSON, C. , , 2001, MCE-RISK: integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards. *Environmental Modelling & Software*, v.16, n.4, p.387-397.
- CHEVALIER, A, 1935, “Les îles du Cap Vert. Géographie, Biogéographie, Agriculture. Flore de l’ Archipel” *Rev. Bot. Appl.Agric. Trop.*, Paris, 15.
- CONRAD, J., 2000, Protecting groundwater resources using geographic information systems – case study: regional waste site identification, Western Cape. *Freshwater Resource*.
- CRUZ Jr., A.T.; CARVALHO, M. M., 2003, “Obtenção da Voz do Consumidor: estudo de caso em um Hotel Ecológico”. *Revista Produção*, vol 13, n.3, p.88-100.
- DAVIS M. L. & CORNWELL D.A., 1991, *Introduction to Environmental Engineering* McGraw-Hill International Editions, Singapore.
- Direcção Geral de Ambiente, 2007, RELATÓRIO SOBRE O ESTADO DO AMBIENTE EM CABO VERDE, Praia.
- Direcção Geral do Ambiente, 2007, LIVRO BRANCO DO AMBIENTE EM CABO VERDE, Praia.
- DUARTE FONSECA, H., 1956, Secas em Cabo Verde e Chuvas artificiais. *Revista Garcia da Orta*.
- Dyer, J. S., 1990a, “Remarks on the Analytic Hierarchy Process”. *Management Science*, v. 36, n. 3, p. 249-258.
- Dyer, J. S., 1990b, “A clarification of «Remarks on the Analytic Hierarchy Process»”. *Management Science*, v. 36, n. 3, p. 274-275.
- EASTMAN, J.R., 2001, Decision support: decision strategy analysis. Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs, Clark University, . v.2, 22p.
- EASTMAN, J. R.; JIANG, H., 1996, Fuzzy Measures in Multi-Criteria Evaluation. *Proceedings, Second International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Studies*, May 21-23, Fort Collins, Colorado, pp.527-534.
- EASTMAN, J. R.; JIANG, H.; TOLEDANO, J. 1998, Multi-Criteria and Multi-Objective decision Making for Land Allocation Using GIS. In Beinat, E. ; Nijkamp, P. (Eds), *Multicriteria Analysis for Land-Use Management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 227-251.
- EASTMAN, J. R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. , 1994, Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective ecisions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.61(5), pp.539-547.
- EASTMAN, J. R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. ,1993, GIS and decision making. Genebra: UNITAR,1993. 112p. (*Explorations in Geographic Information Systems Technology*). ENGESAT. [www.engesat.com.br](http://www.engesat.com.br).

- EASTMAN, J.R. , 2001, Decision support: decision strategy analysis . Idrisi, 32, release 2: guide to gis and image processing, Worcester: Clark Labs, Clark University, v.2, 22p
- EASTMAN, J.R., 1997, IDRISI for Windows: User's Guide. Version 2.0. Clark University – Graduate School of Geography, Worcester, MA, USA. [ Links ]
- FERREIRA, D. B., 1986, Etude sur la Sécheresse dans l'ile de Santiago (Cap Vert). Linha de acção da geografia física, Rel. nº23 Centro de Estudos Geográficos, INIC, Lisboa, 112 pg.
- GEISTHARDT, M., 1996, Lista Vermelha para os Coleópteros. In Leyens T. e Lobin W. (eds.) Primeira Lista Vermelha de Cabo Verde. Cour. Forsch. - Senckenberg. 193. Frankfurt.
- GENELETTI, D., 2004a., Using spatial indicators and value functions to assess ecosystem fragmentation caused by linear infrastructures. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v.5, p.1-15.
- GENELETTI, D. , 2004b, A GIS-based decision support system to identify nature conservation priorities in an alpine valley. Land Use Policy, v.21, p.149-160.
- GOMES, E.G. & LINS, M.P.E. , 1999, Integração entre Sistema de Informação Geográfica e Métodos de Análise multicritério no Apoio à Decisão Espacial. Anais do XXXI SBPO – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Juiz de Fora – MG. [ Links ]
- GRARAVELI, A.; GOOD, J.E.G.; WILLIAMS, J.H. , 2004, Determining priority areas for native woodland expansion and restoration in Snowdonia National Park, Wales. Biological Conservation, v.115, p.395-402.
- HAVELINK, G.B.M. et Al., 1989.
- Propagation of errors in spatial modeling with GIS. International journal of geographical information systems, v.3, n.4, p303'322.
- HAZEVOET, C. J., 1996, Lista Vermelha para as aves que nidificam em Cabo Verde. In: LEYENS T. E W. LOBIN (eds.) Primeira Lista Vermelha de Cabo Verde. Cour. Forsch. –Senckenberg. 193. Frankfurt.
- HERNANDEZ, R. V., 2008, A Caracterização dos solos da ilha de Santiago (Cabo Verde) numa perspectiva de sustentabilidade ambiental. Tese de mestrado em geoquímica. Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Portugal.
- HONEA, R.B.; HAKE, R.C.; DURFEE, R.C., 1991, Incorporating GIS into Decision Support Systems: Where Have We Come From and Where Do We Need To Go. In Heit, M.; Shortreid, A. (Eds) GIS Applications in Natural Resources. Fort Collins: GIS World Inc.
- Instituto Nacional de Estatística, Censos de 1980, 1990, 2000, 2010.
- Instituto Nacional de Estatísticas, 2008, QUIB 2007, CABO VERDE, Praia.
- IPT/CEMPRE, 2000, Lixo municipal: Manual de gestão integrada, 2ª Ed., São Paulo, SP.
- JACOBI P. R.; BESEN, G. R. , 2006, GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO - avanços e desafios, São Paulo.
- JACOBI, P. R., 2006, Gestão compartilhada de Resíduos Sólidos no Brasil – Inovação com Inclusão Social, SÃO Paulo, Annablume.
- JANKOWSKI, P., 1995, Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. International Journal of Geographical Information System, 9, 251-273. [ Links ]
- JANSEN, R., RIETVELD, P., 1990, Multi-criteria analysis and geographical information systems: an application to agricultural land use in The Netherlands. In

Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning, edited by H. J. Scholten and J. C. H. Stillwell (The Netherlands: Kluwer Academic Publisher), pp. 139.

- JARDIM, N.S. , 1995, Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), e Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE).
- JIANG, H.; EASTMAN, J.R. , 2000, Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, v.14, n.2, p.173-184.
- KANGAS, J.; STORE, R.; LESKINEN, P.; MEHTÄTALO, L. , 2000, Improving the quality of landscape ecological forest planning by utilizing advanced decision-support tools. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.132, p.157-171.
- KANGAS, J; ALHO, J.; KOLEHMAINEN, O.; MONONEN, A. , 1998, Analyzing consistency of experts' judgments – case of forest biodiversity. *Forest Science*, v.44, p.603-609.
- LATHROP, R.G.; BOGNAR, J.A. , 1998, Applying GIS and landscape ecological principles to evaluate land conservation alternatives. *Landscape and Urban Planning* , v.41, p.27-41.
- LAURINDO, F.J.B.,2002, Tecnologia da Informação: Eficácia nas Organizações. São Paulo, Ed. Futura, 248p.
- LECOQ, M., 1996, Primeira Lista Vermelha de Cabo Verde.
- LEVINE, S. C. , 1996, Projetos e Critérios para Localização de Aterros Sanitários. In: TRANSPORTATION, WATER AND URBAN DEVELOPMENT DEPARTMENT, WORLD BANK Urban No. UE-12, 3,1996.
- LIMA, G.S. , 1993, Estudo da paisagem do município de Ilha Solteira-SP: subsídios para o planejamento físico-ambiental. São Carlos, 149p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos.
- LIMA, G.S., 1999, Seleção De Areas Para Implantação De Aterro Sanitários: Uma Proposta Baseada No Valor E Na Logica FUZZY. Tese (Mestrado Em Engenharia Civil - Geotecnia), CUPP UFRJ, Rio De Janeiro, Brasil.
- LINS, M.P.E. & FERREIRA FILHO, V.J.M., 1997, Sistemas de Informação Geográfica e modelagem em PO. *Revista Pesquisa Operacional*, 17(2), 78-187. [ Links ]
- LIOTTE, S.V., 2002, Utilização de técnicas de geoprocessamento para apoio ao planejamento físico-territorial do Município de Pariqueira-Açu/SP. São Paulo, 170p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- LODWICK, W.A.; MONSON, W.; SVOBODA, L., 1990, Attribute error and sensitivity analysis in geographical information systems: suitability analysis of map operations in geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, v.4, n.4, p.413-428.
- MALCZEWSKI, J. , 1996, A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making. *International Journal of Geographical Information Science*, v.10, n.8, p.955-971.
- MALCZEWSKI, J., 1999, GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley & Sons, New York. [ Links ]
- MALCZEWSKI, J.; CHAPMAN, T.; FLEGEL, C.; WALTERS, D.; SHRUBSOLE, D.; HEALY, M.A., 2003, GIS-multi-criteria evaluation with Ordered Weighted Averaging (OWA): developing management strategies for

- rehabilitation and enhancement projects in the Cedar Creek watershed. *Environment and Planning*, v.35, n.10, p.1769-1784,.
- MALCEWSKI, J., 2000, On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches. *Transactions in GIS*, v.4, n.1, p5-22.
  - MALCEWSKI, J., 2004, GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview, *progress in planning*, v.62. p3-65.
  - MANHAGO, R. S. , 2008, Técnicas de revegetação de Talude de Aterro Sanitário. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-Instituto de Florestas Curso de Engenharia Florestal. Seropédica.
  - MARQUES, MANUEL MONTEIRO, 1990, Garcia da Orta, Sér. Est. Agron., Lisboa, 17 (1-2), 19-29.
  - MASSUKADO, L.M. , 2004, Sistema de apoio à decisão: Avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares, São Carlos.
  - MASSUNARI, I. S. ET AL, 2000, Seleção de áreas para aterro sanitário: implantação de um aterro sanitário em ilhéus-BA. *Revista limpeza pública*. Associação Brasileira de Limpeza Publica (ABLP), Edição 54. São Paulo.
  - MATOS ALVES, C. A.; MACEDO, J. R.; CELESTINO SILVA, L.; SERRALHEIRO, A.; PEIXOTO, A. F., 1979, Estudo geológico, petrológico e vulcanológico da ilha de Santiago (Cabo Verde).
  - MCBEAN, E. A., ROVERS, F. A., & FARQUHAR, G. J., 1995, Solid waste Landfill Engineering and Design, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
  - MENDOZA, G.A.; PRABHU, R., 2000, Multiple criteria decision making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicators: a case study. *Forest Ecology and Management*, v.131, p.107-126.
  - MONTEIRO, ET AL.E.D, 2001, Influência das condições climáticas no Comportamento do aterro de resíduos sólidos da muribeca.
  - MORITA, H.; SHIMIZU, T. & LAURINDO, F.J.B., 1999, Modelos para estruturar e avaliar alternativas de decisão em Tecnologia da Informação. In: XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção e V Congresso Internacional de Engenharia Industrial. Anais, CD-ROM, Rio de Janeiro, 1999. In: Laurindo, F.J.B. (2002); *Tecnologia da Informação: Eficácia nas Organizações*. São Paulo, Ed. Futura.
  - MOTA GOMES, A. , 2007, Hidrogeologia e Recursos Hídricos da Ilha de Santiago (Cabo Verde). Tese de Doutorado, Universidade de Aveiro, Portugal.
  - MOUSSEAU, V. , 1997, Compensatoriness of Preferences in Matching and Choice. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 22(1), 3-19. [ Links ]
  - RAMOS, R. A. R. & MENDES, J. F. G., 2001, Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: o caso de Valença. *Revista Engenharia Civil*. Número 10, Universidade do Minho, Minho, Portugal. p. 7 -29;
  - RAMOS, R.A.R.; MENDES, J.F.G. (2001), Avaliação da Aptidão do Solo para Localização Industrial: O Caso de Valença. Portugal. *Engenharia Civil*. Um, n.10, 29 pp. [ Links ]
  - RANDHIR, T. O.; CONNOR, R.O.; PENNER, P.R.; GOODWIN, D.W., 2001, A watershed-based land prioritization model for water supply protection. *Forest Ecology and Management*, v.143, p.47-56.
  - RAO, M.S.V.C.; SASTRY, P.D.; YADAR, K.; KHAROD, S.K.; PATHAN, P.S.; DHINWA, K.L.; MAJUMDAR, D.; PHATA, K., 1991, A weighted index model for urban suitability assessment – a GIS approach. Bombay: Metropolitan Regional Development Authority, 134p.

- RODRIGUES, F. L. GRAVINATO V. M. , 1997, Lixo: de onde vem? Para onde vai? São Paulo – Ed, Moderna.
- ROY, P.S.; TOMAR, S. , 2000, Biodiversity characterization at landscape level using geospatial modelling technique. *Biological Conservation*, v.95, p.95-109.
- RUSSO, M. A. T. , 2003, TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil
- SAATY, T. , 1977, The analytic hierarchy process. New York: McGraw-Hill, 1980. 287p. p.234-281.
- SAATY, T. , 1980, The analytic hierarchy process. New York: McGraw-Hill, 287p.
- SAATY, T.L. & VARGAS, L.G. , 1990, Prediction, Projection and Forecasting. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, USA. [ Links ]
- SAATY, T.L. , 1990, “An exposition of the AHP in reply to the paper ‘Remarks on the Analytic Hierarchy Process’”. *Management Science*, v. 36, n. 3, p. 259-268.
- SAATY, T.L., 1991, Método de Análise Hierárquica. Tradução e revisão técnica Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: McGraw-Hill, Makron.
- SAATY, T.L. ,1994, “How to make a decision – The Analitic Hierarchy Process.Interfaces” v.24, n. 6, p.19-43, Pittsburgh.
- SCHLEICH, H., 1996, Lista vermelha para os répteis. In: LEYENS T. E W. LOBIN (eds.) Primeira Lista Vermelha de Cabo Verde. Cour. Forsch. – Senckenberg. 193. Frankfurt.
- SCHMIDT, G. E M. GEISTHARDT., 1996, Lista Vermelha para os Aracnídeos. In: LEYENS TERESA E W. LOBIN (eds.). 1996. Primeira Lista Vermelha de Cabo Verde. Cour. Forsch. - Senckenberg. 193. Frankfurt.
- SEMEDO, J. M., 2004, O Parque natural da Ilha do Fogo, Cabo Verde – Subsídios para a sua gestão e seu desenvolvimento. Dissertação apresentada para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Auditoria Ambiental do Curso de pós-graduação a distância da Universidad de Las Palmas de Gran Canária. Florianópolis, SC.
- 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. 14º Fasc. 2º Lisboa, pag. 157-376.
- STAR, J. & ESTES, J., 1991, Geographic Information Systems: an introduction. Englewoods Cliffs, New Jersey. [ Links ]
- STECH, P. J. , 1990, Resíduos sólidos: caracterização. In: RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS: TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL, 1, 1990, São Paulo. Curso... São Paulo: CETESB.
- STORE, R.; KANGAS, J. , 2001, Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling. *Landscape and Urban Planning*, v.55, p.79-93.
- TCHOBANOGLIOUS G. , THEISEN H & VIGIL S. A.,1993, Integrated Solid Waste Management. McGraw-Hill International Editions, Singapore.
- TEIXEIRA, A.; BARBOSA, L. G., 1958, Agricultura nas ilhas de Cabo Verde. Memórias da JIU, 2ª Sér. Lisboa, 179pg. il.
- THILL, J.C., 1999, Multicriteria decision-making and analysis: A Geographic Information Sciences approach. New York: Ashgate, 354p.
- VALENTE, R.O.A. 2005, Definição de áreas prioritárias para a conservação e preservação florestalpor meio de abordagem multicriterial em ambiente SIG,

Pericaba, São Paulo. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-15062005-154402/publico/roberta.pdf>

- VARMA, V.K.; FERGUSON, I.; WILD, I. , 2000, Decision support system for the sustainable forest management. *Forest Ecology and Management*, v. 128, p. 49-55.
- VETTORAZZI, C.A.; VALENTE, R.O.A.; BALLESTER, M.V.R., 2000, Forest fire hazard mapping in a GIS environment for a river basin in the State of São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY, 2., Lake Buena Vista, 2000. Proceedings. Ann Arbor: ERIM International, v.1, p.10-12.
- VOOGD, H., 1983, Multicriteria evaluation for urban and regional planning. London: pion., P125.
- YAGER, R. R., 1988, On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. Volume 8 (1). p. 183 -190; (in RAMOS & MENDES, 2001)
- ZHU, X.; DALE, A.P. 2001, JavaAHP: a Web-based decision analysis tool for natural resource and environmental management. *Environmental Modelling and Software*, v.16, n.3, p.251-262.
- ZUQUETE, L. V. ET AL., 1993, Carta do potencial de risco à contaminação das águas subterrâneas e do potencial agrícola, região de Ribeirão Preto, SP. *Geociências*, São Paulo, vol. 12, n 2, p. 531-540.