

Universidade de Lisboa

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Modelos para a Localização de Aterros Sanitários em São Tomé e Príncipe**

**Madival Alva das Neves**

Dissertação orientada pelo Prof. Doutor Paulo Alexandre Morgado Sousa e pela Prof.<sup>a</sup>  
Doutora Margarida Maria de Araújo Abreu Vilar de Queirósdo Vale

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao  
Ordenamento

2019

Universidade de Lisboa

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



## **Modelos para a Localização de Aterros Sanitários em São Tomé e Príncipe**

**Madival Alva das Neves**

Dissertação orientada pelo Prof. Doutor Paulo Alexandre Morgado Sousa e pela Prof.<sup>a</sup>  
Doutora Margarida Maria de Araújo Abreu Vilar de Queirós do Vale

Júri:

Presidente: Professor Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa;

Vogais:

-Professor Doutor José Carlos Ferreira da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa;

-Professor Doutor Paulo Alexandre Morgado Sousa do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.

2019

## **Agradecimentos**

Ao Professor Doutor Paulo Alexandre Morgado Sousa docente do mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento, o meu agradecimento pela disponibilidade e prontidão que mostrou em aceitar ser meu orientador tendo sempre, atendido às minhas solicitações, não obstante a sua ocupada agenda de trabalho.

Os meus agradecimentos a Professora Doutora Margarida Maria de Araújo Abreu Vilar de Queirós do Vale, por todo apoio às minhas preocupações durante todo o mestrado, pelo incentivo e orientação para a pesquisa aprofundada sobre os resíduos e aterros.

A todos os Professores deste mestrado pelos conhecimentos transmitidos e pela disponibilidade que sempre manifestaram no esclarecimento de quaisquer dúvidas.

Ao Camões, Instituto da Cooperação e da Língua de Portugal por me ter concedido a bolsa de estudo durante todo o período do curso.

Especial agradecimento à minha família, Wanda Rosely Paquete da Costa, Thiago Rafael Costa das Neves, Stella Alice Costa das Neves e a minha mãe Ilda Fernandes de Alva.

Aos meus superiores hierárquicos «Ministro das Obras Públicas, Infraestruturas, Recursos Naturais e Ambiente», «Diretor do Geral do Ambiente»; e aos colegas da Direção Geral do Ambiente.

Os meus agradecimentos também são extensivos aos colegas: Pedro Freitas, Fábio Tavares, ao professor Jorge Rocha por todo o apoio e estímulo nesta caminhada.

Aos meus colegas Cicer Costa da Graça e Kassi Bragança Costa pelo apoio geológico da ilha de São Tomé, e todos quantos de uma forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho académico, obrigado.

## **Dedicatória**

“À memória da minha sogra  
Maria Isabel de Sousa Paquete da  
Costa e do meu irmão Nerilo Alva  
de Deus das Neves.”

## Resumo

O presente estudo denominado modelos para a localização de aterros sanitários em São Tomé e Príncipe utiliza a análise multicritério, método *Analytical Hierarchy Process* (AHP), em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para a localização de aterros sanitários na ilha de São Tomé, STP. A metodologia apresentada combina análise qualitativa, feita a partir de inquéritos aos especialistas, e análise quantitativa em ambiente SIG, quer para o diagnóstico da situação atual da Ilha, no respeitante à disposição das lixeiras existentes, quer para a determinação cientificamente fundamentada dos melhores locais para instalação de futuro aterro sanitário.

O objetivo geral desta investigação foi, a partir de uma abordagem SIG e *mixed-methods*, criar um modelo que sirva de apoio à decisão e ao desenvolvimento sustentável de São Tomé e Príncipe. Relativamente aos objetivos específicos, esta investigação pretendeu: (i) desenvolver, através da experimentação, uma metodologia e um modelo que seja o mais ajustado possível à realidade; (ii) analisar a aptidão física e legal/jurídica para a localização de aterros sanitários na Ilha de São Tomé. Os dados recolhidos e posteriormente analisados foram classificados, como sendo de natureza social, demográfica, económica, biofísica, legislativa, política e ou de movimento de cidadãos.

O modelo combinado SIG e Análise Multicritério demonstrou ser uma excelente ferramenta de apoio à decisão. Numa primeira fase, o modelo permitiu revelar, a partir do diagnóstico da situação atual da disposição das lixeiras, algumas incongruências espaciais, legais, ambientais e de saúde pública; numa segunda fase, o modelo veio - em respeito aos determinantes legais, sociais, económicos, ambientais e de saúde pública - determinar quais as unidades territoriais com aptidão (*Baixa, Média e Alta*). O modelo incorporou, para ajuste das ponderações aos critérios e ganho de robustez científica, opinião de especialistas nacionais e internacionais, recolhidas das respostas aos inquéritos. Em síntese, o modelo identificou áreas adequadas para a localização do aterro sanitário ou áreas ótimas para a deposição dos RSU em São Tomé, com o propósito de servir como apoio à tomada de decisão.

A implementação do modelo permitiu obter mapas de aptidão, para a localização de um aterro sanitário na ilha de São Tomé. Os resultados decorreram da análise combinada de 14 (catorze) critérios, em respeito pelos limites jurídicos/legais, projeções demográficas

e potencial produção de lixo, valores ambientais e de saúde pública, e considerações de carácter económico. Os resultados de aptidão indicados pelo modelo foram classificados como *Nula*, *Baixa*, *Média* e *Alta aptidão*, de acordo com a análise ponderada dos critérios. Por fim, para um maior ajuste dos resultados, e para as áreas classificadas de *Alta aptidão*, efetuou-se uma seleção das áreas iguais ou superiores a 12 hectares para a implantação do aterro sanitário na Ilha de São Tomé.

Palavras Chave: Aterro sanitário, SIG e análise multicritério, AHP, Resíduos sólidos, São Tomé.

## **Abstract**

The present study is about building a model capable to identify the best location for sanitary landfills in São Tomé and Príncipe by combining multicriteria analysis, Analytical Hierarchy Process (AHP), and Geographic Information Systems (GIS). The methodology design combines qualitative analysis, based on surveys of specialists, and quantitative analysis in a GIS environment, as a way to do a clear diagnosis of the current situation of the Island in relation to the disposal of existing dumps, and to be able to pinpoint the best sites for the installation of future sanitary landfills.

The general objective of this research was, to build a model for decision support and sustainable development of São Tomé and Príncipe. Specific objectives are twofold: (i) to develop, through experimentation, a methodology and a model that is as close as possible to reality; (ii) to analyze the physical and legal suitability of landfills sites. The data collected and later analyzed through our model was classified as being of a social, demographic, economic, biophysical, legislative, political and citizen actions.

The combined Geographic Information System (GIS) and Multicriteria Analysis proved to be an excellent decision support tool. In a first phase, the model allowed to reveal, from the diagnosis of the current situation of the disposition of the dumps, some spatial, legal, environmental and public health irregularities, inconsistencies and deficiencies; in a second phase, the model - with respect to the legal, social, economic, environmental and public health determinants - determines territorial units suitability (Low, Medium and High). Multicriteria weights were adjusted based on national and international experts' surveys to leverage model robustness and in order to support decision making.

Overall, results of the combined analysis of 14 (fourteen) criteria, respecting the legal, demographic projections and the potential production of waste, environmental and public health values, and economic consideration proved to be a good reality proxy. Results were mapped upon the following categories: Null, Low, Medium and High suitability, according to the weighted analysis of the criteria. Finally, for a better adjustment of the results, and for the areaspinpoint as High Aptitude, a spatial query was made based on the need of an area size criteria, such as: only sites with size areas equal to or greater than 12 ha were suitable for the implementation of the sanitary landfill.



## Índice

Agradecimentos.....	i
Dedicatória.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	v
Acrónimos e abreviaturas.....	ix
Introdução.....	1
Estrutura da dissertação.....	3
I - Enquadramento.....	5
1.1 Quadro Legal.....	5
1.2 Resíduos sólidos em STP.....	7
1.3 Caracterização geográfica.....	11
1.4 Caracterização Geológica.....	16
1.5 Caracterização dos Solos.....	22
II - Modelos e métodos de localização de aterros sanitários com recursos a SIG.....	25
2. 1 Modelos de localização.....	25
2.2 Modelos de localização de aterros.....	26
III - Modelos de Análise e Avaliação de Impactos.....	29
3.1 Métodos de Análise multicritério.....	29
3.2 Estimativa de peso atribuídos aos critérios.....	30
<b>3.2.1 Método baseado na colocação dos critérios.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.2 Escalas de pontos.....</b>	<b>31</b>
3.3 Processo Analítico Hierárquico (AHP).....	31
IV - Dados e Metodologia.....	35
4.1 Fases e procedimentos de concepção e desenvolvimento.....	35
<b>4.1.1 Desenvolvimento do Modelo.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1.2 Modelo de implementação.....</b>	<b>42</b>
<b>a) Modelo binário.....</b>	<b>42</b>
<b>b) Modelo de AMC.....</b>	<b>43</b>
V - Resultados.....	46
VI - Discussão dos Resultados.....	57
VII - Conclusões e Recomendações.....	59
Bibliografia.....	61
ANEXOS.....	64

## Índice de Figuras

Figura 1. Localização geográfica de STP, relativamente ao Continente Africano.....	12
Figura 2. Mapa administrativo da Ilha de São Tomé .....	13
Figura 3. Taxa de Crescimento demográfico de STP.....	15
Figura 4. Geologia da ilha de São Tomé.....	18
Figura 5. Classes de permeabilidade da ilha de São Tomé .....	21
Figura 6. Solos da ilha de São Tomé.....	23
Figura 7. Modelo legislativo em ambiente SIG .....	38
Figura 8. Modelo lógico de procedimentos operativos para a seleção de aterros sanitários .....	39
Figura 9. Proximidade estabelecida na legislação santomense para os aterros .....	42
Figura 10. Modelo físico com base na legislação (Modelo_restrição).....	43
Figura 11. Aptidão da área disponível a partir da legislação .....	47
Figura 12. Nível de aptidão segundo os peritos nacionais .....	49
Figura 13. Aptidão dos locais segundo peritos nacionais .....	50
Figura 14. Nível de aptidão segundo os peritos internacionais .....	51
Figura 15. Aptidão dos locais segundo peritos internacionais .....	52
Figura 16. Áreas aptas para os aterros sanitários, segundo peritos nacionais. ....	55
Figura 17. Áreas aptas para os aterros sanitários, segundo peritos internacionais.....	56
Figura 18. Modelo Digital de Terreno da Ilha de São Tomé.....	65
Figura 19. Declive da Ilha de São Tomé.....	66

## Índice de Tabelas

Tabela 1. Síntese da Legislação referente aos RSU em STP .....	6
Tabela 2. Síntese do Plano de gestão integrada dos RSU em STP.....	7
Tabela 3. Resíduos produzidos e recolhidos em STP, em 2017.....	10
Tabela 4. Classes da Carta Geológica de STP.....	16
Tabela 5. Síntese das classes de permeabilidade.....	21
Tabela 6. Legenda da carta dos solos de STP .....	22
Tabela 7. Escala de sete pontos.....	31
Tabela 8. Escala de comparação no processo AHP.....	32
Tabela 9. Informação temática incluída na Geodatabase .....	35
Tabela 10. Quadro Síntese dos modelos/métodos analisados .....	36
Tabela 11. Regras de topologia .....	37
Tabela 12. Ponderação feita pelos peritos nacionais .....	44
Tabela 13. Ponderação feita pelos peritos internacionais.....	44
Tabela 14. Variáveis de cálculo do aterro em São Tomé.....	54

## **Acrónimos e abreviaturas**

<b>1<sup>a</sup>CN</b>	Primeira Comunicação Nacional
<b>AHP</b>	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
<b>BD</b>	Base de dados
<b>CLP</b>	Combinação Linear Ponderada
<b>DGA</b>	Direção Geral do Ambiente
<b>DGRNE</b>	Direção Geral dos Recursos Naturais e Energia
<b>EU</b>	União Europeia
<b>IGT</b>	Instrumentos de Gestão Territorial
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estatística
<b>MIRNA</b>	Ministério das Infraestruturas, Recursos Naturais e Ambiente
<b>MPO</b>	Média Ponderada Ordenada
<b>ONG</b>	Organizações Não-governamentais
<b>PGIRSU</b>	Plano de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos
<b>POND</b>	Ponderação
<b>RAP</b>	Região Autónoma do Príncipe
<b>RDSTP</b>	República Democrática de São Tomé e Príncipe
<b>RSU</b>	Resíduos Sólidos Urbanos
<b>SCM</b>	Segunda Comunicação Nacional
<b>SIG</b>	Sistemas de Informação Geográfica
<b>STP</b>	São Tomé e Príncipe
<b>TCN</b>	Terceira Comunicação Nacional
<b>TESE</b>	Associação para o Desenvolvimento pela Tecnologia, Engenharia, Saúde e Educação

## **Introdução**

O aterro sanitário pode ser definido como local destinado à decomposição final de resíduos sólidos gerados pela atividade humana, sendo uma instalação de eliminação acima ou abaixo da superfície<sup>1</sup> para os resíduos. Os aterros sanitários surgem como última alternativa na cadeia de destinos possíveis para os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), atualmente geridos com base em regras que têm como objetivo minimizar os potenciais danos ambientais, sociais e económicos (Beijoco, 2011).

Pelo facto de minimizar os impactos ambientais e socioeconómicos, os aterros sanitários têm sido uma alternativa viável para a gestão dos RSU, como forma de tratamento dos resíduos possíveis de viabilizar. Atualmente o aterro sanitário pode ser considerado como recurso essencial para um sistema de Gestão Integrada de RSU (Levy e Cabeças, 2006).

Segundo o enquadramento legal vigente em São Tomé e Príncipe (STP), resíduos são “conjunto de materiais, podendo ser o que resta de matérias-primas, após a sua utilização e que não possa ser considerado subprodutos ou produtos, de que o seu possuidor pretenda ou tenha necessitado de se desembaraçar” (alínea a do artigo 3.º da Lei n.º 36/1999).

Não existe em São Tomé e Príncipe uma prática adequada de tratamento de RSU e os mesmos são depositados nas diferentes lixeiras do país de forma indiferenciada misturados com resíduos perigosos e queimados a céu aberto, embora haja campanhas de sensibilização para a implementação de medidas que promovam a redução da produção de resíduos sólidos urbanos no país com objetivo de sensibilizar a população para as questões e políticas ambientais, como a política dos 5 R's: Repensar – Ter as atitudes certas para não prejudicar o ambiente, melhorando-o; Reduzir – Diminuir a produção de lixo, evitando o consumo supérfluo; Reaproveitar – Dar novos usos a materiais já utilizados; Reciclar - Utilizar os resíduos como fonte de matéria-prima para produzir novos produtos e Recusar consumir produtos que gerem impactos sócio ambientais significativos. Estas campanhas são organizadas e asseguradas pela Direção Geral do Ambiente, Camara Distritais, ONGs e também por ambientalistas a título individuais.

---

<sup>1</sup> Comissão Europeia (2000): A EU e a Gestão dos Resíduos. Outras informações disponíveis em <http://europa.eu.int>.

A divulgação de medidas que promovam a sensibilização e alteração de comportamentos por parte de todos os residentes, turistas, etc... devem estar espelhadas no manual de boas práticas ambientais, e a promoção da sustentabilidade energética no país, para a redução e otimização do consumo de água, energia e consumíveis deve ser aconselhada. Sendo assim, a localização de um aterro sanitário em STP a curto e médio prazo para a prevenção e tratamento dos resíduos, como por exemplo no processo de separação, reciclagem e valorização torna-se numa medida que visa reduzir os impactes ambientais e socioeconómicos.

A deposição de resíduos sólidos em aterros sanitários é a solução mais viável ao nível técnico e na ecónomia (Farinha e Barata 1993), sendo o método mais aconselhado ao nível de STP, em especial no caso em que os povoaamentos são aglomerados populacionais pouco densos e que dispõem de verbas escassas. Assim sendo, a deposição de resíduos sólidos em aterros deverá ser implementada no País, como forma de mitigar impactes nocivos para o ambiente e socioeconomia.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e os modelos de localização pressupõem uma metodologia de base geográfica, o que os torna instrumentos fundamentais para auxiliar na resolução dos problemas de localização e na tomada de decisão (Morgado et al., 2007), pelo facto de integrar informações espaciais e analisá-las e modelá-las, de forma a encontrar, em tempo útil, as melhores soluções possíveis. Neste sentido, o modelo desenvolvido nesta dissertação servirá como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão das autoridades nacionais de STP.

O objetivo geral desta investigação é, através do SIG com os vários métodos de Análise multicritério (AMC), criar um modelo que sirva de apoio à decisão e ao desenvolvimento sustentável de São Tomé e Príncipe. Relativamente aos objetivos específicos, esta investigação pretendeu: (i) desenvolver, através da experimentação, uma metodologia e um modelo que seja o mais ajustado possível à realidade; (ii) analisar a aptidão física e legal/jurídica para a localização de aterros sanitários na Ilha de São Tomé. Resumindo, criou-se um modelo para identificar áreas adequadas para a localização do aterro sanitário ou áreas ótimas para a deposição dos RSU em São Tomé.

Para atingir os objetivos nesta investigação foram necessários dados sobretudo de natureza socioeconómica (população residente, núcleos urbanos, atividades económicas,

etc.); biofísica (altimetria, hidrografia, uso do solo, clima, vegetação, geologia, solos, etc.) e legislativa (legislação vinculativa ou normativa e planos de gestão do território vigentes), e políticos e ou de movimento de cidadãos (estratégias do órgão governativo locais e nacionais, e as vontades dos agentes locais). A implementação do modelo permitiu identificar áreas adequadas para a localização do aterro sanitário na ilha de São Tomé. Vários métodos foram avaliados, incluindo métodos de natureza probabilística como a regressão logística e lógica Fuzzy, para determinar a sua adequabilidade e modelar a aptidão do território em estudo.

### **Estrutura da dissertação**

O presente trabalho está organizado em seis capítulos, para além da introdução e considerações finais. Depois de apresentados os objetivos e a motivação que levou à escolha do tema, o enquadramento temático dá início à dissertação, sendo que neste capítulo I, foi apresentado um panorama geral sobre o que de mais recente há relativamente as leis sobre os resíduos em São Tomé e Príncipe (STP). O capítulo resulta de uma extensa revisão da literatura, no que refere às questões de carácter legal e regulamentar de São Tomé e Príncipe referente aos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e a caracterização do País de acordo com o tema em estudo.

O Capítulo II centra-se na revisão de literatura sobre os SIG, no que toca a localização de aterros sanitários através da análise multicritério. A análise aprofundada sobre o tópico é sumariada neste capítulo, apresentado um panorama geral sobre o que de mais recente há relativamente ao tema.

O capítulo III destina-se à apresentação do Modelo de Análise Multicritério em SIG, da avaliação do peso para os critérios em problemas de localização, mostrando os diferentes métodos e o processo analítico hierárquico (AHP).

O Capítulo IV é dedicado aos dados utilizados e a metodologia seguida; expõem-se as características dos dados e a estratégia metodológica adotada, suportada por um esquema com as principais etapas do processo de integração dos dados. Apresentam-se os dados e as etapas metodológicas de AMC em SIG para a localização de aterro sanitário na Ilha de São Tomé.

A apresentação dos resultados obtidos e a sua discussão é realizada nos Capítulos V e VI. Foram representados os resultados do modelo legislativo, baseado nas restrições

existentes e os resultados do modelo de AMC. Por último apresentam-se as Conclusões e Recomendações, assim como os principais constrangimentos e limitações da metodologia adotada na realização da dissertação e para trabalhos futuros.

## **I - Enquadramento**

### **1.1 Quadro Legal**

A legislação existente em São Tomé e Príncipe (STP) sobre Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) está fixado no sentido de “ Preservar o equilíbrio harmonioso da natureza e do ambiente” (art.º.10.º.d) da Constituição da República Democrática de São Tomé e Príncipe. Neste sentido foi elaborado a Lei de Base do Ambiente – Lei nº10/1999, promulgada em 15 de Abril de 1999 que contempla “ *A adequada gestão dos resíduos*” (cfr. Art.º.16.º.n.º.15 da Lei nº.10/1999) enquanto objetivo e em termos genéricos refere no seu art.º.41º os “ *resíduos e efluentes*”. Também importa salientar outros diplomas que abordam a matéria de resíduos:

- Lei nº.36/1999, promulgada em agosto de 1999, conhecida como Lei sobre Resíduos;
- Lei nº.14/2003, publicada em 31 de dezembro de 2003 (DR nº.16, 5.º Suplemento), relativa à gestão de embalagens e que criou as Taxas de Saneamento (TS) e de Impacto Ambiental (TIA); revista em 2013 sob o Decreto Taxa de Impacto Ambiental (TIA) Decreto-Lei nº 64/2013;
- Lei nº.10/92, de 9 de setembro – Lei quadro para as Autarquias Locais, submetida à Lei de Revisão nº.10/2005 (DR nº.33, 15.11.2005), designadamente no que se refere às atribuições, competências, receitas, taxas e tarifas autárquicas;
- Decreto nº.20/2008 – Orgânica do XIII Governo Constitucional – art.º. 35º (Ministério dos Recursos Naturais, Energia e Ambiente).
- Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes assinada em 2002, promulgada por meio do Decreto Presidencial nº 3/2006, de 8 de fevereiro 2006 e entrou em vigor em 11 de julho de 2006;
- Convenção de Roterdão sobre os PIC’s (substâncias químicas) assinada em 2012, promulgada por meio do Decreto nº de 6/2012, de 29 de maio e entrou em vigor e 21 de agosto de 2013;
- Convenção de Basileia sobre o Controlo dos Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e da sua Eliminação assinada em 2012, promulgada por meio do Decreto Presidencial nº 8/2012, de 08 de junho e entrou em vigor no dia 10 de fevereiro de 2014.

Tabela 1. Síntese da Legislação referente aos RSU em STP

Legislação	Observação
Decreto-Lei nº 10/1999, de 15 de abril – Lei de Base do Ambiente.	Artigo 1.º Objetivo: define as bases da política de ambiente para o desenvolvimento sustentável da República Democrática de São Tomé e Príncipe e estabelece os princípios que a orientam, no quadro da Constituição Política e da Declaração do Rio Sobre Ambiente e Desenvolvimento. Artigo 16º, 15- Pressupõe a adoção de medidas que visem a adequada gestão dos resíduos.
	Artigo 41.º Resíduos e efluentes: 1. A emissão, transporte e destino final de resíduos e efluentes ficam condicionados a autorização prévia, devidamente titulada por uma guia de transporte da qual consta a sua origem e destino. 2. Os resíduos ou efluentes devem ser recolhidos, armazenado, transportados, eliminados ou reutilizados para que não constituam perigo imediato ou potencial para a saúde e nem causem prejuízo ao ambiente. 3. A descarga de resíduos e efluentes só pode ser efetuada em locais determinados para o efeito pelas entidades competentes e nas condições previstas em autorização previamente concedida.
Decreto-Lei nº 36/1999, de 03 de agosto – Lei sobre os Resíduos.	Artigo 2.º: especifica os dados essenciais a considerar no licenciamento das diferentes operações de recolha, transporte, armazenagem, eliminação ou utilização dos resíduos sólidos, tendo em vista a conservação das espécies e de ambiente. Artigo 12.º, 2- Compete especificamente ao ministério tutelar do ambiente: d) Proceder a investimentos relativos aos aterros sanitários e outras estações de tratamento e destino final de resíduos. Artigo 19.º O tratamento dos resíduos pode processar-se: a) Aterro sanitário; b) Incineração; c) Compostagem; d) Reciclagem.
	Artigo 26.º Localização: 1. Os aterros sanitários devem estar localizados a mais de 500 m das zonas residenciais, de desenvolvimento agropecuário, das áreas protegidas e bem assim das fontes dos rios e da orla marítima. 2. Esses depósitos não devem estar localizados a menos de 200 m da plataforma da estrada sejam elas nacionais ou secundárias.
Decreto Presidencial nº8/2012, ratifica a Convenção de Basileia sobre o controlo de movimento transfronteiriços de resíduos perigosos e sua eliminação. Publicado em STP-Diário da República nº78 de 6 de julho de 2012.	Os estados estão conscientes do prejuízo causado á saúde humana e ao ambiente pelos resíduos perigosos e outros resíduos e pelo seu movimento transfronteiriço e também de que a maneira mais eficaz de proteger a saúde humana e o ambiente dos perigos é reduzir a sua produção em termos de quantidade e ou potencial de perigo. Atentas á ameaça cada vez maior para a saúde humana e o ambiente causada pela produção complexidade crescentes e pelo movimento transfronteiriço de resíduos perigosos e outros resíduos. Os estados devem tomar medidas necessárias para assegurar a gestão de resíduos perigosos e outros resíduos incluindo o movimento transfronteiriço, e a eliminação ser compatível com a proteção da saúde humana e do ambiente qualquer que seja o seu local.
Decreto Presidencial nº6/2012, publicado em STP-Diário da República nº94 de 3 de agosto de 2012 ratifica em 23 de maio de 2013, a Convenção de Roterdão relativa ao Procedimento de Prévia Informação e Consentimento para Determinados Produtos Químicos e Pesticidas Perigosos no Comércio Internacional com entrada em vigor no dia 21 de agosto de 2013.	O objetivo principal é promover a partilha da responsabilidade das partes e esforços conjuntos na esfera do comercio internacional de certos produtos químicos perigosos a fim de proteger a saúde humana e o meio ambiente face as possíveis danos e contribuir a sua utilização racional, facilitando o intercâmbio de informação a cerca das suas características, estabelecendo um processo nacional de adoção de decisões sobre sua importação e exportação, difundindo essas decisões para as partes da convenção.
Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes assinada em 2002, promulgada por meio do Decreto Presidencial nº 3/2006, de 8 de Fevereiro 2006 e entrou em vigor em 11 de julho de 2006	A Convenção destaca-se por incluir no seu escopo a determinação de obrigação dos Países Parte de adotarem medidas de controlo relacionadas a todas as etapas do ciclo de vida - produção, importação, exportação, disposição e uso, das substâncias classificadas como poluentes orgânicos persistentes - POPs. Numa posição preventiva, ela determina que os governos promovam as melhores tecnologias e práticas no seu campo tecnológico e previnam o desenvolvimento de novos POPs em suas plantas industriais. Indo mais além, define como seu objetivo final a eliminação total dos POPs. A Convenção extrapola os limites das boas intenções e apresenta opções inovadoras e objetivas de ação em prol do desenvolvimento sustentável.

Fonte: Adaptado segundo a legislação santomense sobre resíduos

## 1.2 Resíduos sólidos em STP

Segundo Russo (2003), os resíduos sólidos são todos os materiais que não fazendo falta ao seu detentor, este se queira desfazer deles. Compreende resíduos resultantes da atividade humana e animal, normalmente sólidos, sem utilização ou indesejáveis pelo seu detentor, no entanto com capacidades de valorização.

De acordo com Levy & Cabeças (2006) os resíduos podem ser classificados quanto à origem como resíduos sólidos urbanos (RSU), resíduos industriais (RI), resíduos hospitalares (RH), resíduos agrícolas (RA) e resíduos de fluxos especiais (RFE). Ainda segundo os mesmos autores, os resíduos podem ser divididos quanto à sua perigosidade em não perigosos, perigosos e inertes.

O enquadramento de um objeto ou substância numa destas categorias não obriga necessariamente à sua classificação como resíduo pois estes podem constituir um recurso interessante para outra entidade. No ano de 2010/11 a Direção Geral do Ambiente de STP em parceria com a ONG TESE elaborou o Plano Nacional de Gestão Integrada dos RSU (PGIRSU) para 2011-2016, a síntese do mesmo é apresentado na tabela 2.

Tabela 2. Síntese do Plano de gestão integrada dos RSU em STP

PGIRSU	Observação
Plano de Ação para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos - São Tomé e Príncipe.	Objetivo: Servir como um instrumento que garanta o desenvolvimento sustentável e a saúde pública no país. Este Plano de Ação deverá cumprir o desiderato de tornar o Governo Santomense capaz de gerir a questão dos resíduos no plano da modernidade, potenciando os recursos endógenos e as infraestruturas existentes ou em plano de concretização, como por exemplo os Aterros Sanitários já em fase de projeto.
Plano de Ação para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos - São Tomé e Príncipe: Volume I – Diagnóstico.	A valorização dos resíduos orgânicos através de tratamento pelos digestores anaeróbicos para a produção de biogás para a geração de eletricidade a grande escala é a priori um meio muito eficaz de resolução de problemas de tratamento de resíduos como veículo de doenças e ao mesmo tempo fonte renovável de energia.
Plano de Ação para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos - São Tomé e Príncipe: Volume II – Opções Estratégica.	Transformar as lixeiras em vazadouros controlados. Aterros e vazadouros controlados devem ser elementos da gestão de RSU em STP. A execução de um aterro sanitário clássico em São Tomé, centrado junto aos locais de maior produção, Água Grande e Mé-Zochí, oferece a possibilidade de deposição de resíduos em segurança e de forma ambientalmente correta.
Plano de Ação para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos - São Tomé e Príncipe: Volume III – Plano de Ação.	Deposição adequada dos resíduos no curto e médio prazo; Maior salubridade, mais saúde pública; Solos menos contaminados. Erradicar as lixeiras e outras deposições incorretas (mato, arribas, rios e mar) em locais não adequados para esse efeito.

Fonte: Adaptado segundo o PGIRSU, 2011

Desde 2011, que a gestão de resíduos em São Tomé e Príncipe conheceu vários desenvolvimentos, a nível de investimentos, no âmbito operacional e empenho geral do país. Comparativamente ao diagnóstico realizado em 2011, e a evolução até ao início de 2018, fez-se a seguinte avaliação (MIRNA, 2018):

- A recolha e o transporte de resíduos estagnaram, passando a abrangência de recolha de 45% em 2011 para 38% em 2017. Esta redução é particularmente notória na cidade capital e no Distrito de Água Grande onde o parque de contentores foi abandonado tal como vários veículos de recolha (compactação (2); tratores e atrelados com grua (2)) que estão agora parados, um prejuízo de vários milhões de dobras;
- Persiste a falta de financiamento para as atividades operacionais de gestão de resíduos. A Taxa de Impacto Ambiental (TIA) que se encontre em vigor e que tenha sido revista em 2013, continua por aplicar;
- Houve criação de estruturas de tratamento e reciclagem, Estação de Compostagem de Água Grande (funcionou entre 2013 e 2016) que não foram apropriadas pelos seus detentores. Apesar da criação de valor (composto) e da sua comprovada qualidade, atestada quimicamente por laboratórios certificados;
- Positivamente, há vários exemplos bem-sucedidos: Ecocentro de Caué (entrou em funcionamento em 2015), Central de Processamento de Resíduos de Lobata (2016), Estação de Compostagem do Príncipe (começou a funcionar em 2016) e Centro de Valorização de Resíduos do Príncipe (começou a funcionar em 2015);
- A recolha de pilhas nas Escolas e em outras instituições funcionou, armazenando-se milhares de quilogramas em contentores prontos a exportar;
- Há valorização de resíduos na Estação de Processamento de Resíduos de Lobata, mas a inexistência de medidas legislativas impede uma maior pujança económica;
- A Autoridade Nacional de Resíduos prevista no Plano elaborado em 2011 continua por concretizar, faltando assim uma entidade nacional que consiga aplicar e monitorizar os planos e investimentos realizados no setor dos resíduos;

- Persistem no país Lixeiras em locais inaceitáveis (junto ao mar; em zonas ecologicamente sensíveis), algo que o Plano pretendia eliminar, tratando-se de uma enorme prejuízo para o país;
- Do ponto de vista “Legal e Institucional” os objetivos do Plano não foram alcançados com a inexistência de uma clarificação das competências e ausência de instrumentos legais (Responsabilidade Alargada do Produtor de resíduos; Taxa de Impacto Ambiental; etc.) que permitam resolver os atuais desafios;
- As Câmaras Distritais necessitam de Planos locais orientadores da sua ação e capazes de medir o grau de sucesso das respetivas estratégias;
- A sensibilização é realizada por campanhas pontuais e falta o apurar, dos resultados práticos dessas ações.

As iniciativas políticas, centrais e locais, têm abordado o problema através de várias iniciativas ao longo dos anos em políticas, programas e projetos de modo a lidar com a questão dos resíduos. Destacam-se os seguintes projetos, após o ano 2000:

- Plano de Gestão dos Resíduos Sólidos financiado em 2005 pelo Banco Africano para o Desenvolvimento (BAD);
- Financiamento do projeto de conceção de um Aterro Sanitário para as Ilhas de São Tomé e Príncipe (Cooperação Espanhola AECID) -2008;
- Apoio às câmaras distritais para a implementação de um sistema regular e viável de recolha dos resíduos sólidos - desde 2008 desenvolveu-se em três fases até 2012. Apoio à gestão dos resíduos nos distritos de Água Grande, Lobata, Cantagalo e Mé-Zochí;
- Plano de Gestão de Resíduos Biomédicos, desenvolvido em 2009, no âmbito do projeto de apoio ao sector social, financiado pelo Governo da República de São Tome e Príncipe e pelo Banco Mundial;
- Descentralização e Participação Comunitária na Gestão dos Resíduos Sólidos na Cidade de S. Tomé. (União Europeia, UCCLA, IPAD) – 2009 a 2015;
- Gestão de resíduos em Caué (Cruz Vermelha, AMI) – 2009;
- Gestão de resíduos em Lobata e Cantagalo (AECID, ALISEI) – 2009;
- Limpeza do espaço público, vias de comunicação e praias (GIME) – (União Europeia) – 2009;
- Projeto VALORES (TESE, União Europeia, Instituto Camões) – 2013 a 2016;

- Cooperação entre Água Grande e a Câmara Municipal da Maia, 2014;
- BIOENERGY (Fundo Português de Carbono, Instituto Camões, APA) – 2014 a 2016;
- Projeto +VALORES (TESE, União Europeia, Instituto Camões) – 2017;
- Projeto Mé-Zochí (União Europeia, Fundo Milanese, FELCODE) – 2017.

No que toca a produção e recolha dos resíduos, a tabela 3 mostra os resíduos produzidos e recolhidos por distrito em 2017. Apenas em Caué e Lembá se encontra a população maioritariamente servida pela recolha, as restantes abrangem uma parte da população tendo a Ilha do Príncipe apenas 25 % da população servida.

Tabela 3. Resíduos produzidos e recolhidos em STP, em 2017

<b>Distrito</b>	<b>População 2017<sup>2</sup></b>	<b>Capitação (kg/Hab)</b>	<b>Produção (ton/ano)</b>	<b>Abrangência Recolha (%)</b>	<b>População Servida</b>	<b>Recolha (ton/ano)</b>
<b>Água Grande</b>	74093	0,45	12170	39%	28629	4702
<b>Mé-Zochí</b>	50633	0,35	6468	27%	13892	1775
<b>Cantagalo</b>	18932	0,35	2419	34%	6437	822
<b>Lobata</b>	22214	0,35	2838	41%	9108	1164
<b>Lembá</b>	15453	0,35	1974	61%	9426	1204
<b>Caué</b>	7855	0,35	1004	81%	6363	813
<b>RAP</b>	8519	0,35	1088	25%	2146	274
<b>Total</b>	197700	0,3875	27961	38%	76001	10749

Fonte: MIRNA, 2018

A ausência de recolha em muitas comunidades em STP está associada a dificuldades de acesso, assim como a falta de meios humanos e materiais devido à suborçamentação do setor e desinteresse político. Em nenhum dos distritos há um plano distrital aprovado, que preveja o alargamento do serviço de recolha com metas definidas nem instituições nacionais com recomendações claras.

Neste quadro político e dada a gravidade da situação no que concerne a implicações diretas na saúde pública e na qualidade do ambiente, exigem-se medidas de gestão que travem este processo negativo e que ajudem na gestão e na procura das melhores soluções possíveis.

<sup>2</sup>Projeções do INE, 2018.

Assim, as metodologias que apresentamos nesta dissertação é uma proposta técnica e um contributo metodológico, baseado num modelo de apoio à decisão e com um corpo teórico e legal a sustentá-la.

### **1.3 Caracterização geográfica**

Para a implantação de um aterro sanitário numa determinada região é indispensável ter diversos dados sobre a mesma, tais como: a população, a produção de resíduos, dados climáticos, dados sociais e culturais, dados topográficos, geológicos e cartografia atualizada das redes de comunicações, entre outros dados. Assim, a determinação da evolução no tempo das quantidades de RSU produzidas são proporcionais à população. Deste modo, as projeções da população servida no horizonte de 10 anos, tem por base a evolução esperada da população total em estudo.

São Tomé e Príncipe é um estado formado por duas ilhas e vários ilhéus, localizadas a oeste do continente africano a cerca de 300 km da costa ocidental da África ao largo do Golfo da Guiné relativamente próximo das costas do Gabão, Guiné Equatorial, Camarões, Nigéria e Angola. Está situado sobre a latitude do equador (0-2°N) e aproximadamente 6-7°O em longitude (Figura 1), é um País insular com uma superfície de 1.001 km<sup>2</sup>. A área a ser estudada neste trabalho (ilha de São Tomé) tem uma superfície de cerca de 859 km<sup>2</sup>. A ilha do Príncipe tem 142 km<sup>2</sup> e situa a cerca de 150 km a norte de São Tomé.

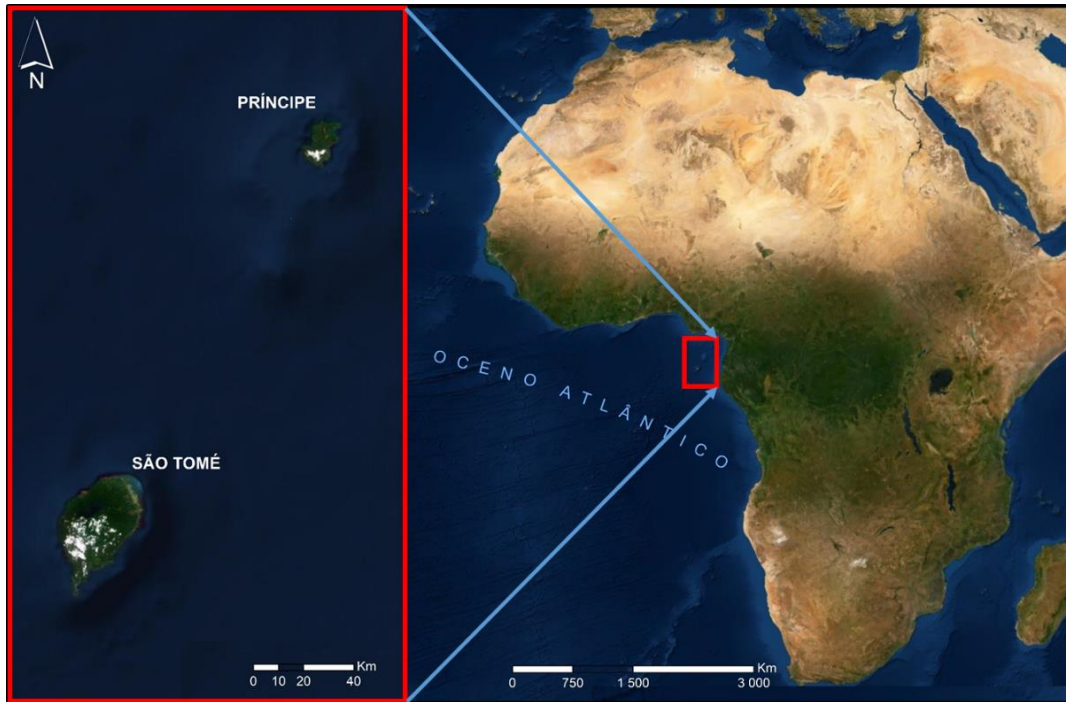


Figura 1. Localização geográfica de STP, relativamente ao Continente Africano

Segundo o último censo realizado (INE, 2012) a população de São Tomé e Príncipe era 178.739 habitantes em 2012. De acordo aos dados do INE a população santomense em 2017 era 197700 habitantes, dos quais 97988 são homens e 99712 são mulheres. O apuramento do número de habitantes é de extrema importância para a localização do aterro sanitário, pelo facto de influenciar diretamente no tamanho da área a ser escolhida baseando na produção per capita de resíduos diários, facilitando a projeção dos resíduos produzidos durante o tempo de vida útil da infraestrutura.

STP caracteriza-se por um relevo muito acidentado, devido a sua origem vulcânica, a pluviosidade é elevada, solos de fertilidade média em que os pontos mais altos são: Pico de São Tomé (2.024m) na ilha de São Tomé e Pico do Príncipe (948m) na ilha do Príncipe. Este pequeno país insular tem cerca de 250 km de costa, repartidos por 180 km em São Tomé e 70 km na Região Autónoma do Príncipe (RAP).

O país divide-se em quatro regiões administrativas: Norte, Centro Litoral, Sul e RAP. As regiões subdividem-se em distritos: Norte (Lembá e Lobata), Centro Litoral (Água Grande e Mé-Zochí), Sul (Cantagalo e Caué) e Príncipe (Pagué). Segundo a legislação denominada “Lei da Divisão Administrativa” de 21 de Novembro de 1980, que definiu a organização territorial do país, com fins políticos e administrativos, este ficou dividido

em sete distritos (Água Grande, Cantagalo, Caué, Lembá, Lobata, Mé-Zochí e Pagué), sendo seis para a ilha de São Tomé e um para a RAP com órgãos administrativos próprios (Câmaras Distritais), figura 2.



Figura 2. Mapa administrativo da Ilha de São Tomé

O clima é do tipo tropical húmido com duas estações ao longo do ano, sendo uma estação chuvosa de nove meses que ocorre de setembro a junho e outra estação mais ou menos seca a “Gravana” que ocorre de junho a agosto de cada ano, mais acentuada na zona Nordeste da Ilha (Lains e Silva, 1958). A pluviosidade é intensa quase todo o ano, sendo que a precipitação anual média do País supera 2.000 mm, podendo atingir mais de 5.000 mm nos pontos mais elevados, variando muito da costa para as zonas do interior e do Norte para Sul. O clima é muito influenciado pelo relevo, a temperatura

média anual é de cerca de 26°C no País, enquanto a humidade relativa atinge uma média entre 75% a 80% (MIRNA, 2012).

Em STP, registam-se chuvas durante nove meses correspondentes ao período de Setembro a Maio, com ligeiro abrandamento no período de cerca de dois meses denominado “Gravanito” que oscila entre Dezembro e Janeiro. O período de três meses, designado por “Gravana<sup>3</sup>”, de Junho a Agosto, correspondente ao Verão do Hemisfério Norte, é aquele em que normalmente não se regista precipitação ou regista-se precipitação muito fraca (MIRNA, 2004).

As florestas de STP são de vegetação abundante cujas características variam em função de vários fatores entre os quais o relevo, a altitude e conseqüentemente do microclima característico de cada região. Os rios do arquipélago formam uma rede hidrográfica, que desce do centro para a costa, formada por mais de 50 cursos de água, grande parte com origem na floresta Ôbo, no sudoeste e sul das ilhas. Os rios têm entre 5 km e 27 km de comprimento e percorrem desnivelamentos entre 1.000 e 1.500 metros de altitude, em paisagens fantásticas. Os principais rios de São Tomé são o Yô Grande, o maior do país, Do Ouro, Manuel Jorge e Abade, e o rio Papagaio, no Príncipe (MIRNA, 2017).

Tendo em conta a pequena dimensão territorial de STP, este trabalho de investigação é importante para a gestão do espaço físico nacional na perspetiva ambiental, no que toca à gestão de resíduos sólidos. Considerando o desnível topográfico que se verifica do interior da ilha de São Tomé, associado as rochas magmáticas muito fraturadas, dando origem a densa rede hidrográfica em forma radial no sentido divergente e solos com permeabilidade elevada, como é o caso de sedimentos recentes, localizados a jusante e por outro lado, solos com grau de humidade considerável devido a média de precipitação (mm) que se verifica no país, com muitas dessas áreas reservadas a prática agrícola.

Essas características físicas da ilha como o relevo acidentado, a altitude, hidrografia e pelo facto de se registar chuvas abundantes em quase todo o ano foram levados em consideração como critérios no modelo e tornaram-se imprescindíveis, na localização de áreas tecnicamente adequadas para a localização de aterros. A partir das áreas, a serem

---

<sup>3</sup>Gravana é a estação do ano em STP que ocorre nos meses de junho a agosto, sendo uma época mais seca e com pouca ocorrência de chuvas.

selecionadas para a construção do aterro, acreditar-se-á que os elevados custos de transporte na recolha dos RSU podem ser minimizados e em curto prazo serão mesmo melhorados os níveis de salubridade e de desenvolvimento no país.

### 1.3.1 Dados demográficos e contexto socioeconómico

A população de STP ronda os 190 mil habitantes com uma taxa de crescimento demográfico de 2.16% em 2015 (Figura 3) e em São Tomé, a Capital do país, existem aproximadamente 85.000 habitantes.

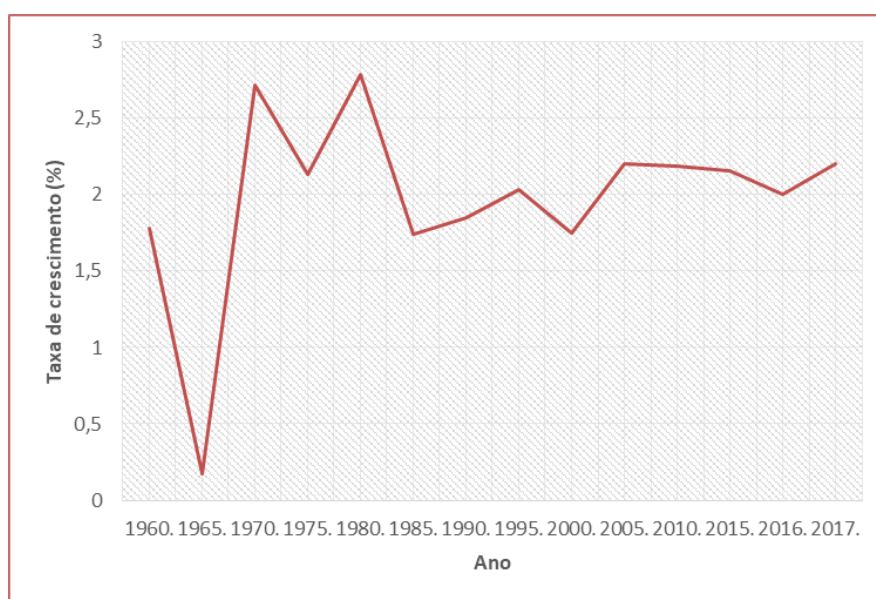


Figura 3. Taxa de Crescimento demográfico de STP

Fonte: Adaptado segundo o INE, 2018

A taxa de crescimento médio anual da população ronda 2% e a esperança de vida à nascença é 65 anos. O índice sintético de fecundidade é 3,5 partos por mulher. Verifica-se um crescimento significativo da população de São Tomé e Príncipe o que traduzirá em vantagens económicas por via de consumo. Cerca de 41,7% dos santomenses têm até 14 anos. O grupo etário até 24 anos engloba 61% da população, cerca de 33% dos habitantes têm idades compreendidas entre 25 e 54 anos e somente 7% têm 55 ou mais anos de idade (INE, 2012).

Em síntese, há grandes desequilíbrios na distribuição territorial da população: 3.145 habitantes por km<sup>2</sup> em Água Grande e 21 habitantes por km<sup>2</sup> em Caué, sendo a

densidade populacional média do arquipélago de 138 habitantes por km<sup>2</sup>. As cidades mais populosas do país localizam-se nestes distritos: Água Grande e Mé-Zochí. O distrito de Caué ocupa 26,7% da superfície nacional e nele habita 3% da população do país. Nas áreas urbanas vive 67% da população total e no espaço rural os restantes 33%, na sequência do êxodo rural para os centros urbanos.

O país conta com cerca de 250 km de estradas asfaltadas, distribuídas principalmente no litoral, e encontram-se algumas em mau estado. Na ilha de São Tomé há 138 km de rede primária, distribuídos por 3 estradas nacionais e outra de acesso ao aeroporto, a par de 100 km de estradas secundárias.

#### 1.4 Caracterização Geológica

A ilha de São Tomé está composta por Complexos Vulcano-estratigráficas (Tabela 4), de natureza essencialmente basáltica e sedimentos holo-pleistocénicos (Munhá et al., 2007). Além destes, podemos encontrarsedimentos de diversos tipos que intercalam e capeiam as rochas vulcânicas em muitos locais da ilha (Caldeira et al., 2003).

Tabela 4. Classes da Carta Geológica de STP

Unidades Vulcano-estratigráficas	Classes	Observação
Formação Vulcânica do Ilhéu das Cabras	Condutas vulcânicas (chaminés traquíticas) exumadas.	13 Milhões de anos (Ma)
Complexo Vulcânico de Mizambú	Chaminés (ch3) e derrames subaéreos fonolíticos e traquifonolíticos (mf3), derrames subaéreos basálticos (m3) com intercalações de depósitos de lahar (Lh3), e derrames e piroclastos basálticos submarinos (Lr3 +ps3).	8 e 6 Milhões de anos (Ma)
Complexo Vulcânico de Ribeira Afonso	Chaminés fonolíticas descarnadas (ch2), escoadas basálticas (m2), composição traquítica e fonolítica (mf2), fácies submarina (Lr2) com piroclastos, brechas e lavas em almofada.	2,5 Milhões de anos (Ma)
Complexo Vulcânico de São Tomé	Escoadas basálticas lávicas (m1) e produtos piroclásticos (pi1), predominantemente subaéreos, mas também submarinos (Lr1), domos traquíticos (T1), material piroclástico subaéreo (pi0), submarino (ps0), derrames lávicos (m0).	< 1,5 Milhões de anos (Ma)
Sedimentos holo-pleistocénicos	Aluviões (a), areias de praia (ap), cascalheira de praia (cp), depósitos de vertente (dv), depósitos de enxurradas (de), cones de dejeção (cd), dunas (d), terraços (t) e praias levantadas (Q).	1,8 a 0,01 Milhões de anos (Ma)

Fonte: Adaptado segundo a Carta Geológica de STP, 2007

Geologicamente o país está composto por quatro formações geológicas (Caldeira et al., 2003), Formação Vulcânica do Ilhéu das Cabras; Complexo Vulcânico de Mizambú; Complexo Vulcânico de Ribeira Afonso; Complexo Vulcânico de São Tomé e Sedimentos holo-pleistocénicos conforme foram apresentados na carta geológica.

A elaboração da Carta Geológica de São Tomé foi desenvolvida por uma equipa de consultores internacionais em colaboração com os técnicos nacionais afetos ao Ministério das Obras Públicas, Infraestruras, Recursos Naturais e Ambiente. Nela constou essencialmente trabalhos de cartografia realizados no terreno, interpretação fotogeológica, e análises petrográficas, geoquímicas e geocronológicas (Munhá et al., 2007).

A nota explicativa informa que a folha número 3 da Carta Geológica não foi mapeada devido o acesso ao local de estudo, por se tratar de áreas montanhosas com curvas de níveis fechadas, sendo zonas de escarpas perigosas de difícil acesso, com vegetação densa. O fato pela qual os mapas aparecem com uma zona identificada como não cartografada (Figura 4) após a vetorização carta geológica para a realização deste trabalho de investigação.

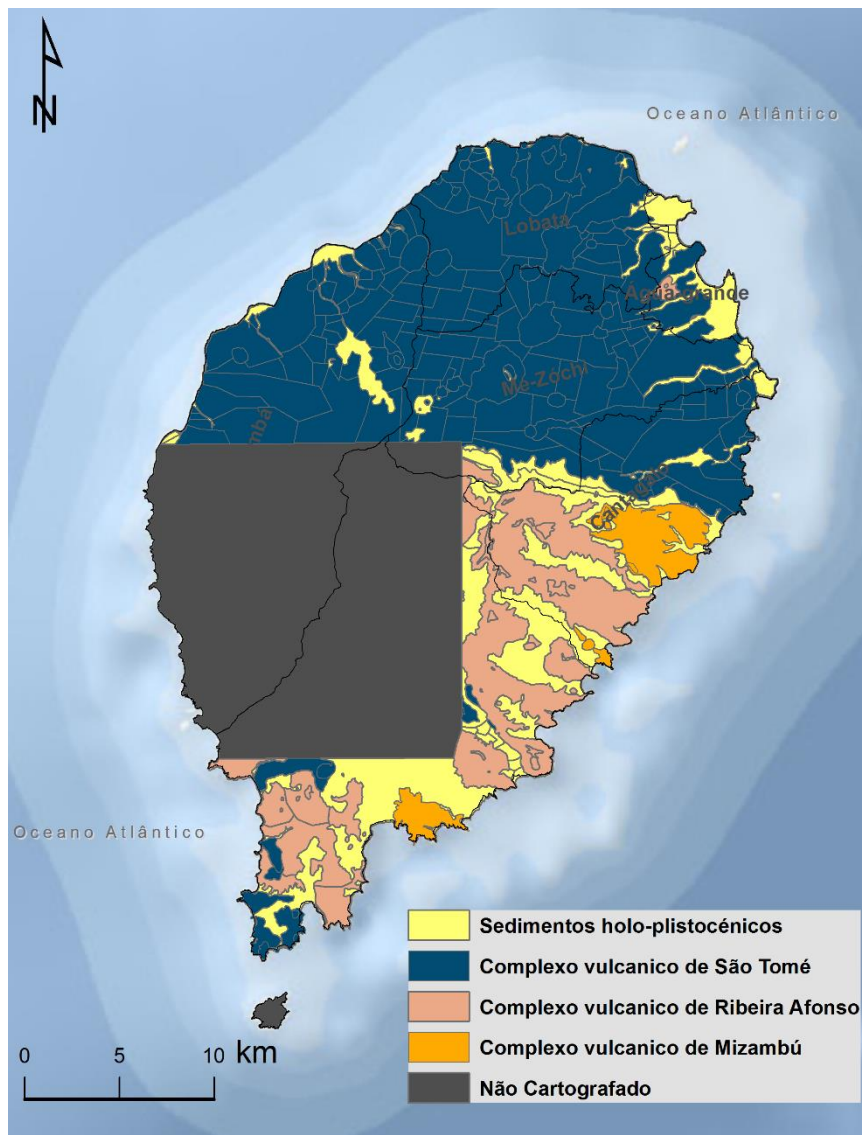


Figura 4. Geologia da ilha de São Tomé

A formação vulcânica do Ilhéu das Cabras é mais antiga da Ilha de São Tomé, tendo sido datada pelo método K/Ar em cerca 13 Ma (Caldeira et al., 2003). Corresponde a um relevo de erosão diferencial, que se eleva da plataforma de abrasão pouco profunda. Os materiais traquíticos, muito alterados, apresentam estrutura maciça cortada por uma densa rede de fraturas preenchidas por material silicioso secundário, constituindo linhas preferenciais para circulação de água.

O Complexo Vulcânico de Mizambú obteve idades entre 8 e 6 Ma (Miocénico superior). Este complexo ocorre na região centro e sul da ilha aflorando em três manchas (Caldeira et al., 2003): Mizambu, Micondó e Capitango – Vila Irene. É constituído por derrames fonolíticos e traquifonolíticos, e derrames basálticos com

intercalações de depósitos de lahar, e derrames e piroclastos basálticos, intersectadas por falhas com direções N-S e E-W.

O Complexo Vulcânico de Ribeira Afonso está representado por edifícios vulcânicos centrais muito destruídos pela erosão, de onde se destacam chaminés fonolíticas descarnadas que constituem elevações proeminentes, com disjunções prismática, e apresentando intensa alteração do tipo arenização (Munhá et al., 2007).

A estas chaminés estão associadas escoadas basálticas, incluindo limburgitos, basaltos alcalinos, basanitos. Estes últimos, são objetos de exploração em forma de inertes na zona Santo António, com consequência ambientais notáveis, com destaque para alteração da paisagem local, devido ao desmatamento, bem como destruição de habitat, e migração de espécies animais devido ruídos causados pelos explosivos durante o ato de desmonte e circulação de veículos, e com degradação de solos (Caldeira et al., 2003).

O Complexo Vulcânico de São Tomé, é a unidade vulcânica mais recente com grande representatividade em toda a metade norte e o extremo sul da ilha de São Tomé, caracterizada por basaltos bem compactos. A mesma sobrepõe-se ao horizonte de paleossolo laterítico desenvolvido no topo do Complexo Vulcânico de Ribeira Afonso na região de Palmar (Munhá et al., 2007).

Devido a estabilidade mecânica destas rochas, elas estão a ser alvos de exploração em grande escala, como exemplo, a pedreira da praia das conchas (Lagoa Azul). Essa atividade produz impacto positivo na perspectiva económica, mas os negativos são considerados de muita relevância, por ela está a ser desenvolvida dentro do parque natural da biodiversidade, uma vez que se faz recurso a explosivos para o desmontar as rochas, e a mesma se encontrar a poucos metros da linha de costa (Caldeira et al., 2003).

Os Sedimentos holo-pleistocénicos correspondem a aluviões, areias de praia, cascalheira de praia, depósitos de vertente, depósitos de enxurradas, cones de dejeção, dunas, terraços e praias levantadas (Caldeira et al., 2003). Em alguns casos, esses sedimentos também são alvos de exploração insustentável, ao ponto de alterar a morfologia local, pelo processo de erosão pelas águas de escorrência superficial. Nas zonas costeiras, é ainda mais notório, verificada pelo recuo da linha de costa, tendo em conta a própria dinâmica local. A título de exemplo, temos a praia Picão em Santana, vítima de extração

de areia, onde o processo de abrasão marinha é feito com maior intensidade (Munhá et al., 2007).

Para a definição das classes de permeabilidade da formação hidrogeológica de STP (Munhá et al., 2007), baseou-se nas formações geológicas caracterizadas na tabela 5. As diferentes formações geológicas que compõem a ilha de São Tomé, podem ser classificadas em função ao seu grau de permeabilidade, isto foi feito, tendo como definição a facilidade de circulação da água num meio contínuo.

Sabendo que as rochas que compõem a ilha são maioritariamente cristalinas (Caldeira et al., 2003), o grau de fraturamento será diretamente proporcional ao nível de permeabilidade e as orientações preferenciais dessas fraturas e o grau de alteração, são fatores relevantes tendo em conta os objetivos específicos deste trabalho. Do mesmo modo, o estado de tensão da água nas rochas também assume uma posição de destaque.

Quando a tensão for compressiva poderá causar o fecho das fraturas, em situação inversa (distensiva), o resultado será positivo contribuindo para aumento da permeabilidade. Tendo em conta os fatores acima referidos, essas formações podem ser classificadas como de permeabilidade baixa, média ou alta (Figura 5).

A formação de permeabilidade baixa corresponde ao complexo vulcânico de São Tomé, considerado a unidade vulcânica mais recente, e com grande representatividade na metade norte, e uma pequena parte no extremo sul da ilha de São Tomé. As rochas lávicas nesta região, correspondem a basaltos bem compactos, caracterizados macroscopicamente pela presença de fenocristais de olivina e augite.

As Unidades de permeabilidade média são, o Complexo vulcânico de Mizambú e Ribeira Afonso. O Complexo Mizambú é composto por rochas traquifonólítica, basáltica e limburgítica, intersectadas por falhas com direções NS e EW, em toda a área, constituindo linhas preferenciais para circulação da água.

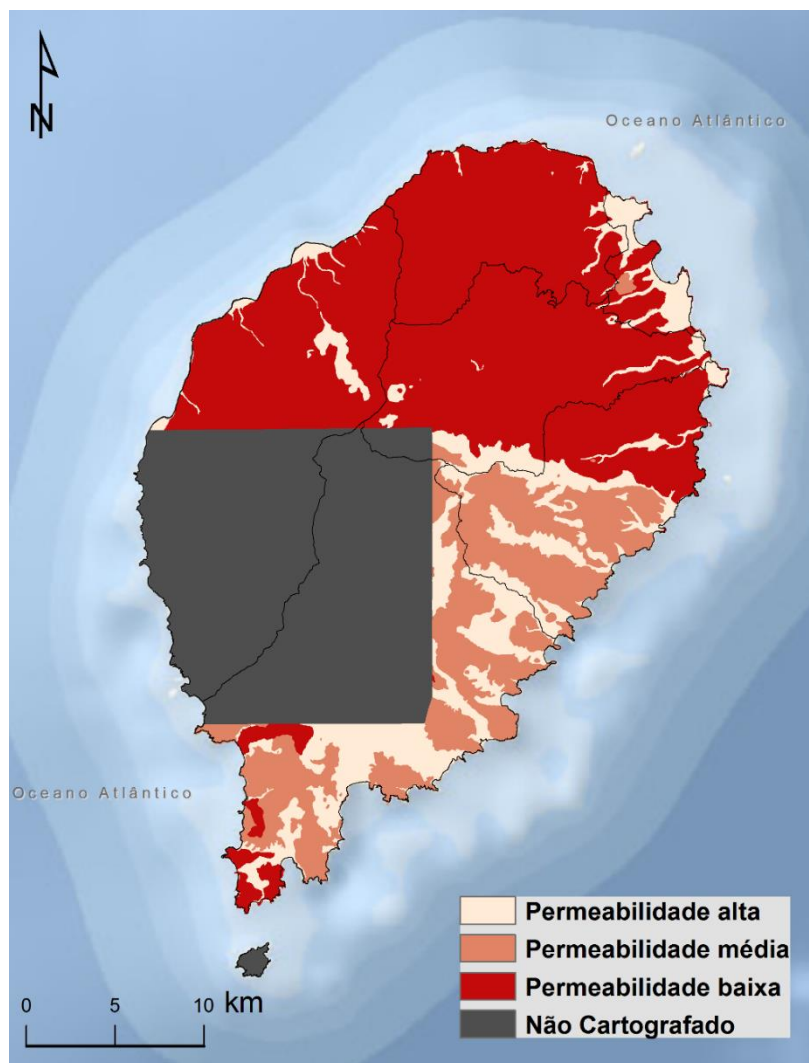


Figura 5. Classes de permeabilidade da ilha de São Tomé

Relativamente ao complexo vulcânico de Ribeira Afonso, verificou-se algumas manifestações e com afloramento, constituído por basaltos limburgíticos, porfíricos, com disjunções prismática, e apresentando intensa alteração do tipo arenização.

Tabela 5. Síntese das classes de permeabilidade

CLASSES DE PERMEABILIDADE	FORMAÇÃO GEOLÓGICA	OBSERVAÇÃO
PERMEABILIDADE BAIXA	Complexo vulcânico de São Tomé	Unidade vulcânica mais recente (basaltos bem compactos).
PERMEABILIDADE MÉDIA	Complexo vulcânico de Mizambú e Ribeira Afonso	Linhas preferenciais para circulação da água e apresenta intensa alteração do tipo arenização.
PERMEABILIDADE ALTA	Sedimentos holo-pleistocénicos	Cobertos por uma camada fina de solos (praias levantadas, leques aluviais, cone de dejeção).

De permeabilidade alta considera-se os sedimentos holo-pleistocénicos por ser materiais sedimentares não litificados, e cobertos por uma camada fina de solos, como é o caso das praias levantadas, leques aluviais, cone de dejeção.

### 1.5 Caracterização dos Solos

Para classificar os solos em STP, baseou-se da Carta de Solos de 1960 e do Esboço da Carta de Solos (1957). Estas cartas foram vetorizadas no âmbito do projeto piloto de adaptação as Mudanças climáticas (MIRNA, 2011) como mostra a tabela 6.

Tabela 6. Legenda da carta dos solos de STP

Tipos de solos		Classes dos solos
Solos Paraferralíticos		Vermelhos (de rochas eruptivas afaníticas)
		Vermelhos húmíferos (de rochas eruptivas afaníticas)
		Vermelhos húmíferos de textura ligeira (de rochas lávicas)
		Amarelos (de rochas eruptivas afaníticas)
		Amarelos de textura ligeira (de rochas eruptivas afaníticas)
		Amarelos húmíferos (de rochas eruptivas afaníticas)
		Amarelos húmíferos de textura ligeira (de rochas eruptivas afaníticas)
		Castanhos (de rochas eruptivas afaníticas)
		Castanhos húmíferos (de rochas eruptivas afaníticas)
	Castanhos húmíferos de textura ligeira (de rochas lávicas)	
Solos Fersialíticos Tropicais		Vermelhos (de rochas eruptivas afaníticas)
		Vermelhos húmíferos (de rochas eruptivas afaníticas)
		Vermelhos húmíferos de textura ligeira (de rochas eruptivas lávicas)
		Amarelos (de rochas eruptivas afaníticas)
		Amarelos húmíferos (de rochas eruptivas afaníticas)
		Castanhos (de rochas eruptivas afaníticas)
		Castanhos húmíferos (de rochas eruptivas afaníticas)
		Castanhos húmíferos de textura ligeira (de rochas eruptivas afaníticas)
	Castanhos húmíferos de textura ligeira (de rochas eruptivas lávicas)	
Barros Pretos		Calcários (de rochas eruptivas afaníticas)
		Não calcários (de rochas eruptivas afaníticas)
Solos Litólicos		Castanhos (de rochas eruptivas afaníticas melanocratas)
		Castanhos de textura ligeira (de rochas eruptivas afaníticas melanocratas)
		Castanhos húmíferos (de rochas eruptivas afaníticas melanocratas)
Solos Gleis		Pardo-amarelados (de rochas eruptivas afaníticas leucocratas)
	Regossolos Psamíticos	Calcários
		Não calcários
Aluviossolos		
Solos de baixas		

Fonte: Adaptado segundo o MIRNA, 2011

O tipo de solo, e as camadas geológicas superficiais são fatores que condicionam fortemente a infiltração da água. Embora os solos possam ser classificados em diversas perspetivas, para este trabalho será levado em consideração apenas os fatores que

condiciona a circulação da água nos espaços intergranulares, como sendo, o tamanho das suas partículas, ou seja, a sua textura. A figura 6 representa o mapa dos solos da ilha de São Tomé.

Considerando a génese dos solos, não se pode dizer o mesmo dos solos fersialíticos tropicais e os litólicos, pelo facto dos mesmos serem compostos por sedimentos de quase todas as frações granulométricas. Este facto, além de facilitar a sua compactação, aumenta consequentemente a sua impermeabilização, reduzindo desta forma a possibilidade dos lixiviados contaminarem ambiente envolvente.

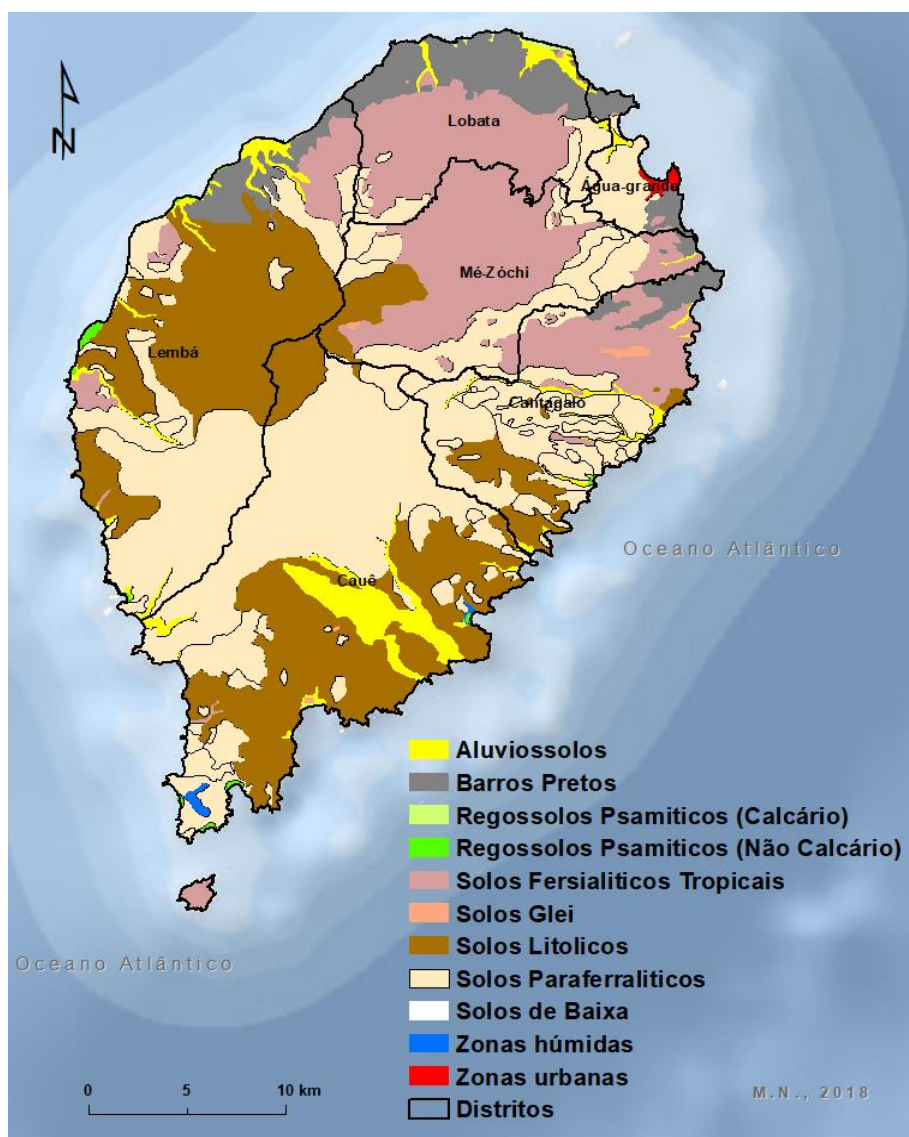


Figura 6. Solos da ilha de São Tomé

Os solos muito permeáveis, como areias grossas (paraferalíticos) que ocupam aproximadamente 50% da área de estudo, e os aluvissolos, favorecem o processo de infiltração de água, pela pouca quantidade de argila presente. Este facto, faz reduzir o índice do escoamento superficial, gerando condições favoráveis para que haja lençol freático. Como camada de base, este solo não deve ser utilizado, uma vez que o grau de compactação do mesmo não satisfaz as condições de impermeabilização exigida para proteger as águas subterrâneas dos líquidos percolados resultantes dos resíduos.

## **II -Modelos e métodos de localização de aterros sanitários com recursos a SIG**

### **2. 1 Modelos de localização**

O processo de tomar decisões envolve sempre muitos critérios e nem sempre compatíveis ou conciliáveis (Saaty, 2008). Acresce a este problema, que alguns dos critérios são por vezes intangíveis, e como difíceis de se lhes atribuir métricas afim de os classificarmos, medirmos, quantificarmos e definir prioridades. Nestes cenários é imperativo que se desenvolvam metodologias, e consequentemente métodos, capazes de combinar dados qualitativos e quantitativos.

Nos casos dos sistemas de apoio à decisão espacial (Nyerges e Jankowski, 2010), o maior desafio que se coloca não reside nos métodos, que estão identificados e são por demais conhecidos dos técnicos e.g. métodos de análise multicritério (Meng et al., 2011; Saaty, 1980), mas sim na sua capacidade de comunicar a ciência e de envolver todos os agentes, ou seja todos os que direta e indiretamente estão envolvidos no processo de tomada de decisão (técnicos, políticos, empresas, população, etc.). Precisamos de uma maneira organizada tomar decisões e capturar dados relevantes, que sejam pertinentes aos sistemas em análise e simultaneamente reflitam os desejos, vontades e aspirações do coletivo, afim de chegar a propostas de solução que ajudem a uma tomada de decisão mais informada, transparente e sustentável, em prol do coletivo.

De acordo com Saaty (2008) para tomar uma decisão de forma organizada com prioridades, precisamos de decompor a decisão nas seguintes etapas: 1) definição do problema e determinação do tipo de conhecimento procurado; 2) estruturação da hierarquia de decisão do topo com o objetivo da decisão, estão os objetivos de uma ampla perspectiva, através dos níveis intermediários para o nível mais baixo; 3) construção dum conjunto de matrizes de comparação pareadas. Cada elemento de um nível superior é usado para comparar os elementos do nível imediatamente abaixo em relação a ele e, 4) uso das prioridades obtidas das comparações para pesar as prioridades no nível imediatamente abaixo. A metodologia deve-se repetir para cada elemento, ou seja, para cada elemento do nível abaixo, deve-se acrescentar os valores ponderados de modo a obter-se uma prioridade global.

Os SIG envolvem dados espaciais, quer sejam gráficos quer sejam tabulares. Os dados espaciais relacionam-se com as geometrias dos recursos espaciais (localização) e os

dados tabulares (leia-se atributos) descrevem as características dos recursos espaciais (Chang, 2014). Sendo uma ferramenta para a gestão de recursos, ordenamento do território, planeamento de emergência, análise criminal, saúde pública e epidemiologia, gestão de registros de terra, agricultura de precisão e muitos outros campos, a integração de SIG desktop, web GIS e tecnologia móvel, tem conduzido ao desenvolvimento de serviços baseados em localização, mapeamento web colaborativo e informações geográficas voluntárias.

Segundo Meng et al. (2011) vários métodos de análise multicritério, e de apoio à decisão foram implementados em ambiente SIG, incluindo Combinação linear ponderada (CLP), análise de concordância e *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

O AHP transforma as comparações, muitas vezes empíricas, em valores numéricos que são processados e comparados. O peso de cada um dos fatores permite a avaliação de cada um dos elementos dentro da hierarquia definida. Essa capacidade de conversão de dados empíricos em valores numéricos é a principal característica do AHP que o diferencia em relação aos outros métodos.

A Média Ponderada Ordenada (MPO) é um método de operadores de agregação multicritérios (Meng et al., 2011). O método envolve a aplicação de dois grupos de pesos: os de fatores e os de ordenação, além da definição do próprio conjunto de fatores. O primeiro relaciona-se à importância do fator no processo de tomada de decisão, e o segundo controla a maneira pela qual os fatores são agregados e controlam, ainda, o nível de compensação entre os fatores e o risco assumido no processo de tomada de decisão (Malczewski, 1999).

Em suma, estes são os métodos de modelação e análise espacial mais visados na literatura da especialidade, de acordo com a revisão pelas principais editoras científicas indexadas eg. SCOPUS, Web of Science, documentos oficiais e teses. Para o nosso caso de estudo, a metodologia adotada é de base SIG e consiste em desenvolver um modelo multicritério, a partir da combinação de métodos AHP e Fuzzy logic, conforme descrito no ponto seguinte.

## **2.2 Modelos de localização de aterros**

Pode-se encontrar na literatura várias técnicas e critérios para uma melhor localização de aterros sanitários, utilizando a metodologia e ferramentas SIG. Sendo que as mais

comuns, e que de acordo com a literatura, melhores resultados denotam, são aquelas que combinam os SIG e a análise multicritério aplicando os métodos AHP e fuzzy logic, conforme se demonstra seguir:

Charnpratheep et al. (1997), exploraram a teoria do conjunto Fuzzy e AHP em um sistema de informação geográfica baseado em matricial para a triagem preliminar de aterros sanitários na Tailândia. A proximidade de objetos geográficos, inclinação e elevação são critérios utilizados nesta investigação. Por isso, os autores recomendaram novos estudos na mesma área utilizando outros critérios.

Kao e Lin (1996), criaram em SIG um modelo para identificar áreas adequadas para um aterro. Este modelo multifatorial foi aplicado para analisar os efeitos de pesos e fatores variados na tomada de decisão em Taiwan.

Kontos et al. (2005) descrevem uma metodologia espacial que compreende diversos métodos de diferentes áreas científicas, como SIG e análise multicritério através do método AHP. O objetivo principal do estudo é avaliar a região adequada na Grécia, a fim de otimizar o local de um aterro sanitário.

Javaheri et al. (2006) desenvolveram um estudo que envolve o SIG e análise multicritério, através do método combinação linear ponderada, para avaliar a conformidade de proximidade da cidade de Giroft na província de Kerman do Irão em relação aos aterros sanitários. A permeabilidade à água, a inclinação, a distância dos rios, a profundidade do *watertable* subterrâneo, a distância das áreas residenciais, a distância dos centros de geração, o critério ambiental e a distância das estradas são os critérios que foram tomados em consideração para o processo de análise.

Siddiqui et al. (1996) combinaram o SIG e o AHP. O SIG é usado para manipular e apresentar dados espaciais. O AHP é usado para classificar áreas potenciais do aterro com base em uma grande variedade de critérios. As variáveis utilizadas foram hidrogeologia/geologia, o uso do solo e os centros urbanos. O método utiliza um ambiente analítico fornecido por sistemas de informação geográfica (SIG) e um método de tomada de decisão fornecido pelo processo hierárquico analítico (AHP).

Cabral (2012) mencionou alguns estudos que recorreram a tecnologia de SIG para identificar locais adequados à localização de aterros, tais como: Valentine (1997) que

através da análise multicritério identificou áreas ótimas para localizar um aterro em Itália. Chang et al. (2008), que através do SIG e os métodos de análise multicritério localizaram um aterro sanitário nos Estados Unidos da América e Yahaya, et al. (2010), que também combinaram o SIG e análise multicritério para encontrar áreas adequadas à implantação de aterros sanitários na Nigéria e através de AHP hierarquizaram as áreas encontradas, com ajuda de especialistas.

Thoso (2007) desenvolveu um modelo de seleção de aterros sanitários de fácil utilização, utilizando o SIG. Segundo o autor, devido à indisponibilidade de dados espaciais eletrónicos para o Lesoto, a área de Bloemfontein (África do Sul) foi usada como um caso de teste.

Cabral (2012) apresentou a análise multicritério e SIG para a localização de áreas apropriadas para o aterro sanitário em Cabo Verde, com o objetivo de identificar áreas ótimas para a localização de aterro sanitário na Região Sul da ilha de Santiago.

Saraiva (2014) fez um estudo sobre avaliação de áreas potenciais para a instalação de aterros sanitários no Município de Viana – Angola utilizando a análise multicritério e SIG.

Atualmente a localização do aterro sanitário foi reconhecida como um problema de planeamento significativo (Thoso, 2007) e, posteriormente, recebeu muita atenção dos pesquisadores do setor de planeamento. A geração de resíduos sólidos nos Distritos está entre as fontes mais significativas que ameaçam a saúde ambiental global. Como uma seleção ideal depende de considerar vários fatores independentes (Javaheri et al., 2006) sobre o uso da terra, socioeconomia e hidrogeologia, o uso de um método de avaliação de análise multicritério parece inevitável. Como tal, no capítulo seguinte serão apresentadas os métodos de avaliação de análise multicritério.

### **III - Modelos de Análise e Avaliação de Impactos**

#### **3.1 Métodos de Análise multicritério**

A análise multicritério, normalmente requer primeiro que se realize a padronização dos valores atribuídos a cada critério (Saaty, 1980), visto que na maioria das vezes eles apresentam unidades diferentes, o que inviabiliza o cruzamento de forma imediata. Em função disso é necessário normalizar os critérios para uma escala de valores comum.

A análise multicritério pode ser dividida em dois tipos: multi-atributo (o problema trata de determinar os atributos de conjuntos de alternativas finitas e factíveis para escolher a melhor, baseando-nos na sua qualificação) e multiobjectivo (seleciona a melhor alternativa baseando-se numa série de objetivos conflituosos).

Nas últimas décadas foram implementados diversos métodos de avaliação multicritério dentro dos SIG, dos quais Malczewski (2004) cita as operações Booleanas, a Média Ponderada Ordenada e a Combinação Linear Ponderada, como sendo os dois primeiros mais simples e comumente utilizados.

A comparação feita entre os três métodos do modelo multicritério (Malczewski, 2004): a Média Ponderada Ordenada é interessante quando se pretende explorar cenários de risco e variação de compensação. Já o de Combinação Linear Ponderada pode ser considerado como um caso particular do processo mais geral do método de Média Ponderada Ordenada. Estes dois procedimentos ampliam as possibilidades de análises espaciais quando comparados ao método Booleano, devido ao facto de permitirem inserir uma variável de risco e a compensação dos fatores, visto que, o primeiro apenas permite identificar áreas aptas ou inaptas para um objetivo considerado.

A avaliação multicritério pode ser implementada em SIG, através da sobreposição booleana, em que os critérios são adaptados à lógica binária (0/1), em termos da aptidão, combináveis sequencialmente, através de operadores como a intersecção (AND) e a união (OR). Este, é um método que não se utiliza ponderações de entrada, através da hierquização pela importância. Embora seja prático, tendo uma abordagem simples, de fácil utilização e entendimento, normalmente não é o mais adequado, porque as variáveis com pesos diferentes são tratadas todas elas obdecendo os mesmos procedimentos (Malczewski, 2004).

E também através da lógica fuzzy, em que é necessária para agregar a avaliação de critérios não comparáveis entre si, fazendo a combinação de critérios contínuos através da normalização (Malczewski, 2004). Os limites espaciais entre duas ou mais classes de um mapa são representados por zonas transicionais, tendo valores (de uma variável) distribuídos continuamente no mapa e representados por uma legenda com valores reais que variam entre 0 e 1 ou 0 a 255.

Este método diminui a subjetividade na tomada de decisão e é comum na normalização (transformação de unidades de medidas diferentes numa única base de comparação) os fatores presentes num modelo multicritério (Cabral, 2012 e Ramos, 2000).

Em caso de SIG vetorial são aplicadas a sobreposição booleana e a lógica fuzzy para abordagem em SIG matricial, pela vantagem analítica que este tipo de estrutura de dados detém sobre o vetorial (Malczewski, 2004).

### **3.2 Estimativa de peso atribuídos aos critérios**

Este é o método onde pode-se verificar, que a definição dos pesos dos critérios não é consensual e a quantificação de importância relativa de cada critério constitui uma das grandes dificuldades encontradas num processo de decisão (Cabral, 2012), que envolve a análise multicritério. Alguns dos métodos como métodos baseados no ordenamento de critérios, pelo facto de basearem em escala de pontos e AHP, são alguns dos que têm sido utilizados no processo de decisão da análise multicritério, Saaty (1980, 2000, 2008), Osgood et al. (1957) citado por Cabral (2012).

#### **3.2.1 Método baseado na colocação dos critérios**

Este método resume-se no simples ordenamento de critérios de acordo com a ordem de importância atribuída pelo decisor (Cabral, 2012). Ao critério mais importante é atribuído a ordem 1, ao segundo mais importante a ordem 2, assim sucessivamente e os pesos podem ser gerados por diversos procedimentos (Ramos, 2000), sendo *Rank Sum*, utiliza a ordem no *ranking* e o *Rank reciprocal*, a ordem inversa. Entretanto, à medida que o número de critérios aumenta, a utilização destes métodos torna-se incompatível e o seu interesse diminui (Saaty e Vargas, 2012).

As equações que permitem obter os vetores de pesos são as seguintes:

$$\text{Rank sum: } W_j = \frac{n-r_j+1}{\sum_k(n-r_k+1)}$$

$$\text{Rank recíprocal: } W_j = \frac{1/r_j}{\sum_k(1/r_k)}$$

Onde  $w_j$  é o peso normalizado do critério  $j$ ,  $r_j$  a ordem do mesmo critério e  $n$  o número de critérios (Cabral, 2012).

### 3.2.2 Escalas de pontos

É necessária quando for possível uma avaliação direta, surgindo como uma alternativa simples quando se pensa em atribuir pesos a critérios (Ramos, 2000). Como foi citado por Cabral (2012), Osgood et al. (1957) este método foi desenvolvido porque, entendeu-se que uma diferenciação em sete níveis seria capaz de expressar escolhas e tomar uma decisão (Tabela 7).

Segundo Cabral (2012) a cada critério é atribuído um valor pertencente na escala de 1 a 7, tendo significado interpretado com o recurso da semântica diferencial.

Tabela 7. Escala de sete pontos

<b>Insuficiente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>Importante</b>
---------------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-------------------

### 3.3 Processo Analítico Hierárquico (AHP)

O método *Analytical Hierarchy Process* (AHP) é um dos métodos de análise multicritério mais divulgados atualmente. Este método foi desenvolvido por Thomas Saaty nos anos 80 para auxiliar no processo de tomada de decisão (Cabral, 2012). A tomada de decisão considerando muitas incertezas é uma realidade no contexto onde os problemas tornam-se cada vez mais complexos. Por isso, conforme os objetivos deste trabalho, e após a análise dos métodos de análise multicritério, este é o que merece maior atenção porque segundo alguns estudos (mencionados acima) ajusta-se melhor com o enigma de localização do aterro sanitário em comparação com os outros métodos.

A primeira etapa no AHP é decompor um problema particular em uma hierarquia que consista em todos os elementos essenciais do problema (Meng et al., 2011). No

desenvolvimento de uma hierarquia, o nível superior é o objetivo final da análise de decisão. A hierarquia então desce da meta geral para os elementos mais específicos do problema (por exemplo, objetivos, atributos e alternativas). A segunda etapa é gerar pesos objetivos e de atributo usando o procedimento de comparação emparelhado. O método de comparação emparelhado emprega uma escala com valores ímpares de 1 a 9, para avaliar as preferências relativas para dois elementos da hierarquia.

Se houver necessidade podem ser utilizados valores intermediários (2, 4, 6, 8), para duas intensidades adjacentes (Meng et al., 2011). A partir da escala absoluta, a qual atribui valores de 1 a 9, tem-se uma nova escala que determina a importância relativa de uma alternativa com a outra, facilitando o processo decisório (Saaty, 2008). Inicialmente o avaliador deve julgar se um determinado critério é mais importante do que outro (menos importante e mais importante) e, se assim for, inserem os pesos utilizando-se a escala para quantificar essa percepção.

Saaty (1980) apresentou uma escala absoluta de comparação que compreende valores (de 1 a 9), contendo definição de cada um dos itens (Tabela 8) como forma de prosseguir com o processo de hierarquização proposto pelo método AHP.

Tabela 8. Escala de comparação no processo AHP

Escala absoluta	Descrição	Justificação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem de uma forma idêntica para o objetivo;
3	Importância Moderada	A análise e a experiência mostram que um critério é pouco mais importante que o outro;
5	Essencial ou muito mais importante	A observação e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro;
7	Bastante mais importante	A observação e a experiência mostram que um critério é predominante para o objetivo;
9	Importância extrema	Evidente, um dos critérios é absolutamente predominante para o objetivo;
2,4,6,8	Valores intermédios entre as análises adjacentes	Quando há necessidade de compromisso.

Fonte: Adaptado segundo Saaty (1980)

O processo AHP inicia-se, pela decomposição do problema em uma hierarquia de critérios ou atributos que são mais facilmente analisáveis e comparáveis de modo independente. A partir do momento em que essa hierarquia lógica é construída, a etapa seguinte do processo AHP consiste em avaliar sistematicamente as alternativas por meio da comparação, duas a duas, sob a ótica de cada um dos critérios ou atributos. Essa

comparação pode utilizar dados concretos das alternativas ou julgamentos humanos como forma de informação (Saaty, 2008).

Embora a AHP seja amplamente utilizada (Saaty, 2008), uma das principais questões da AHP é a sua incapacidade de resolver a incerteza nos julgamentos de tomada de decisão. Para superar as deficiências do AHP, em alguns casos a Média Ponderada Ordenada (MPO) é usada para determinar a melhor alternativa.

### 3.3.1 Etapas do Processo AHP

O AHP consiste nas seguintes etapas fundamentais para a solução do problema:

- Definição do problema e o objetivo;
- Modelação do problema através da hierarquia, iniciando-se pelo objetivo principal, passando pelos critérios e subcritérios de avaliação, até chegar ao nível mais baixo da hierarquia, representado pelas alternativas que estão a ser avaliadas;
- Elaborar a matriz  $n \times n$  do nível mais baixo da hierarquia, comparando as importâncias relativas para cada par de alternativas em relação ao nível superior. Os valores atribuídos podem ser observados na Escala de Saaty. O número de comparação necessária é calculado pela fórmula  $[n(n-1)]/2$  tendo em conta que as recíprocas são logicamente denominador;
- Calcular a matriz de síntese de prioridades; o vetor de prioridades é o valor próprio;
- Calcular o índice de consistência (IC);
- Verificar a rácio de consistência (RC) ou razão de consistência. Se for inferior a 10%, considera-se o julgamento consistente;

As etapas acima são repetidas para cada um dos níveis da hierarquia de decisão. A metodologia de comparação par-a-par do método AHP é complexa, mas os resultados e os procedimentos permitem uma apreciação da importância referente aos critérios utilizados (Cabral, 2012).

Por exemplo, se a matriz de comparação emparelhada for:  $\mathbf{A} = [apq] n \times n$ , onde  $apq$  é a classificação de comparação do emparelhamento para atributo  $p$  e atributo  $q$ , a matriz  $\mathbf{A}$

é recíproca. O que significa que  $a_{pq} = a_{q-1,p}$ , e todos os seus elementos diagonais,  $a_{pq} = 1$ , para  $p = q$ .

Dada esta propriedade recíproca, apenas  $n(n-1)/2$  para comparações reais são necessários para uma matriz  $n \times n$  (Meng et al., 2011). Uma vez que a matriz de comparação emparelhada é obtida, as preferências são resumidas para que cada elemento da estrutura hierárquica pode ser atribuída uma importância relativa. A última etapa do AHP é obter a pontuação de prioridade geral para cada alternativa (Saaty, 2008).

Pelo facto da localização de aterros exigir a combinação de fatores físicos, ambientais, sociais, culturais e económicos, os SIG e os modelos de localização com os diferentes métodos podem contribuir na tomada de decisão. Como tal, no capítulo seguinte serão apresentadas as diferentes fases de pesquisa e os dados necessários para o desenvolvimento do modelo adequado em São Tomé.

## IV - Dados e Metodologia

Neste capítulo serão apresentadas as metodologias de trabalho, os processos aplicados para alcançar os objetivos afixados, e os dados que lhe serviram de base. Tratando-se de um trabalho de suporte à investigação recorrendo a SIG, houve a preocupação de aplicar diferentes metodologias operativas.

Os dados (Tabela 9) são sobretudo de natureza socioeconómica (população residente, núcleos urbanos, atividades económicas, etc.); biofísica (altimetria, hidrografia, uso do solo, clima, vegetação, geologia, solos, etc.) e legislativa (legislação vinculativa ou normativa e planos de gestão do território vigentes). A escala de análise é local (aproximadamente 1:25 000) e o sistema de projeção adotado é WGS\_1984\_UTM\_ZONE\_32N.

Tabela 9. Informação temática incluída na *Geodatabase*

<b>Tema</b>	<b>Escala Original</b>	<b>Geometria</b>	<b>Fonte</b>	<b>Formato</b>
<b>Mapa base</b>	1:25000	<i>Pixel</i>	DGA	<i>Image</i>
<b>Carta Geológica</b>	1:25000	<i>Pixel</i>	DGRNE	<i>Tiff</i>
<b>Altimetria</b>	1:25000	<i>PolyLine</i>	DGA	<i>Shapefile</i>
<b>Rede Hidrográfica</b>	1:75000	<i>PolyLine</i>	DGA	<i>Shapefile</i>
<b>Rede viária</b>	1:45000	<i>PolyLine</i>	DGA	<i>Shapefile</i>
<b>Núcleos habitacionais</b>	1:25000	<i>Point</i>	INE	<i>Shapefile</i>
<b>Carta de ocupação dos solos</b>	1:25000	<i>Polygon</i>	DGA	<i>Shapefile</i>
<b>Carta dos solos</b>	1:50000	<i>Polygon</i>	DGA	<i>Shapefile</i>
<b>Limites Administrativos</b>	1:25000	<i>Polygon</i>	INE	<i>Shapefile</i>
<b>Áreas Protegidas</b>	1:100000	<i>Polygon</i>	DGA	<i>Shapefile</i>
<b>Carta dos Climas</b>	1:100000	<i>Polygon</i>	DGA	<i>Shapefile</i>
<b>Vegetação</b>	1:100000	<i>Polygon</i>	DGA	<i>Shapefile</i>

### 4.1 Fases e procedimentos de concepção e desenvolvimento

#### 4.1.1 Desenvolvimento do Modelo

O desenvolvimento do modelo SIG-AMC permitiu obter mapas de aptidão para a localização de um aterro sanitário na ilha de São Tomé. Vários métodos foram analisados, incluindo métodos de natureza probabilística como a regressão logística e lógica Fuzzy, para avaliar a sua capacidade, face ao objeto de estudo e natureza dos dados recolhidos, para modelar a aptidão do território na instalação de um aterro sanitário, ou seja, foram identificadas áreas adequadas obdecendo a legislação nacional, acordos internacionais e literatura de especialidade referente ao estudo. Dentre os quais validou-se o modelo que melhor se ajusta à realidade. A tabela 10 apresenta o quadro síntese dos modelos analisados.

Tabela 10. Quadro Síntese dos modelos/métodos analisados

Modelo / Método	Principais funcionalidades	Principais fragilidades
Modelo multicritério de apoio à decisão: <u>AHP (Processo Analítico Hierárquico)</u>	Estrutura formalmente os problemas; Simplicidade de comparação entre pares; Permite validar a consistência dos pesos atribuídos; Versatilidade; Aplicação em situações que são utilizados intervalos numéricos para representar prioridades.	A conversão de valores qualitativos para valores quantitativos pode alterar significativamente o resultado; A escala de valores utilizada pode apresentar resultados pouco consistentes; Possibilidade de respostas não coerentes; Problemas com o valor próprio na inserção de novas alternativas; O modelo perde aptidão aquando da utilização de grandes quantidades de critérios.
Modelo multicritério de apoio à decisão: Ordenações Booleanas	É utilizada numa decisão muito extrema (sim ou não); Este método é utilizado quando os critérios forem classificados estritamente como inaptos ou aptos com valores de zero (0) e um (1), respetivamente; Pode fornecer soluções totalmente de aversão ao risco (determinada por meio de operações de intersecção (E)).	Só aplicável para fatores condicionantes descontínuos classificados como aptos (1) ou inaptos (0). Não aplicável para critérios ou fatores contínuos; Pode fornecer soluções completamente arriscadas (quando se emprega uma operação de união (OU), isto é, um local será incluído no conjunto de decisão se pelo menos um critério for atendido).
Modelo multicritério de apoio à decisão: Combinação linear ponderada ou “Weighted Linear Combination”	Flexível uma vez que permite a ponderação dos fatores (critérios contínuos) para uma escala numérica comum para depois atribuir pesos a cada um, sendo o somatório dos pesos a unidade (1); Permite, após a ponderação das mesmas, a compensação entre todos os fatores, conforme peso ou grau de importância (ou seja, uma qualidade fraca (valor muito baixo) atribuída a um determinado critério pode ser compensada por um conjunto de boas qualidades (valores mais altos) aplicadas a outros); Além dos fatores de compensação, é possível adicionar as restrições de exclusão; Caracterizado pela intersecção total entre fatores; Possibilita estabelecer relações entre fatores distintos; Ao contrário do método Booleano, pode representar fenómenos da paisagem de forma contínua e a viabilidade de atribuir diferentes pesos aos critérios (fatores), de acordo com a sua importância para o objetivo em análise.	Uma vez que o método é baseado na média, faz com que a análise se posicione entre as operações booleanas AND (mínimo) e OR (máximo), pelo que “suaviza” o resultado, ou seja, afasta os resultados dos valores extremos.
Modelo multicritério de apoio à decisão: Média Ponderada Ordenada Ou “Ordered Weighted Average”	Permite obter a compensação entre os fatores por meio da atribuição de pesos ponderados (pesos dos fatores), o controlo do nível de risco assumido na análise e o grau de compensação entre eles aplicando um segundo conjunto de pesos, chamados de pesos ordenados; Quando os pesos ordenados variam, qualquer combinação é possível, desde que o seu somatório seja igual à unidade (1); Ao contrário do método Booleano, permite a obtenção de soluções em qualquer ponto desses extremos.	A utilização do método é, contudo, fortemente influenciada pelo conhecimento do fenómeno a ser mapeado, assim como das características dos fatores.
Modelo location-allocation: <u>P-mediana:</u>	Localiza um número (p) de instalações de modo a que o total de distância percorrida ponderada ou tempo entre instalações seja minimizado.	Assume-se que todos os utilizadores da instalação escolhem deslocar-se à unidade mais próxima; Não tem em conta as situações extremas e, portanto, pode resultar em soluções que não são aceitáveis; As soluções obtidas através deste método podem ser desiguais, obrigando alguns utilizadores a fazerem grandes viagens.
Modelo location-allocation: <u>P-center:</u>	O objetivo é minimizar a distância máxima entre qualquer local de procura e a instalação mais próxima; Para resolver problemas como o estabelecimento de instalações públicas como escolas ou hospitais, o método p-center é apropriado. Porque neste tipo de problemas o objetivo é satisfazer todos os pontos de procura.	A distância é o fator determinante.

Fonte: adaptado segundo Saaty, 1980 & Malczewski, 2004

Durante esta investigação foram operacionalizadas várias técnicas e metodologias para as diferentes etapas que são enumeradas a seguir:

- Pesquisa bibliográfica - através de documentos em diversas instituições, tais como: Bibliotecas Universitárias, Direção Geral do Ambiente (DGA) em STP, Instituto Nacional de Estatística, que serviram de apoio ao estudo e aprofundamento dos conceitos;
- Identificação das variáveis para a localização do aterro sanitário de acordo com a literatura internacional ((Chang et al., 2008), (Kontos et al., 2005), (Siddiqui et al., 1996) e (Cabral, 2012));
- Aquisição de dados geográficos nas instituições competentes em STP (INE, DGA e DGRNE) e criação de uma base de dados associada a coordenada espacial para o local em estudo.
- Tratamento das informações recolhidas – consistiu na vectorização da carta geológica, na validação topológica (tabela 8) da altimetria, geologia, hidrologia, solos e vias, e o agrupamento de informações referentes à hidrologia, à altimetria e o limite da ilha de STP para a criação do MDE.

Tabela 11. Regras de topologia<sup>4</sup>

<b>Tema</b>	<b>Regras de topologia</b>
<b>Altimetria</b>	Must not Overlap
	Must not interset
<b>Geologia</b>	Must not have overlap
	Must not have gaps
<b>Ocupação e uso dos Solos</b>	Must not have overlap
	Must not have gaps
<b>Hidrologia</b>	Must not have pseudo nodes
	Must be single part
<b>Vias</b>	Must not have pseudo nodes
	Must be single part

- Implementação do modelo legislativo a partir das restrições aplicando a lógica binária (fig. 7);
- Confrontação do modelo com base na legislação e as lixeiras existentes na Ilha de São Tomé;

<sup>4</sup><http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/editing-topology/geodatabase-topology-rules-and-topology-error-fixes.htm#GUID-2154EDB0-E9C2-4B76-8F8D-94B81FE13D7B>, consultado em 08 de agosto de 2018.

- Inquérito aos especialistas nacionais e internacionais, provenientes de diferentes sectores. Tendo em conta a natureza das variáveis que os aterros precisam, houve envolvimento de peritos de diversas áreas como Engenharia Sanitária e Ambiental, Geologia, Engenharia Florestal, Geografia, etc.
- Implementação AHP - Para a definição dos pesos relativos, para os critérios e subcritérios, criou-se um modelo lógico de análise multicritério em ambiente SIG (Fig. 8):

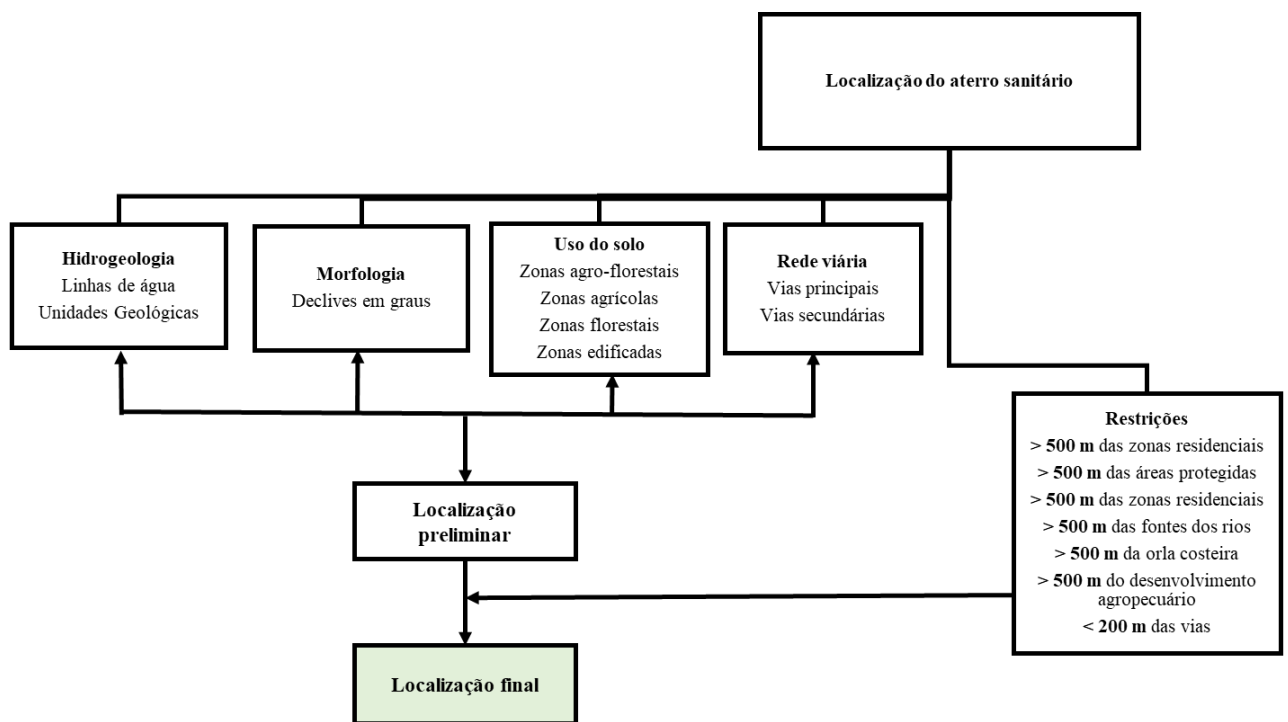


Figura 7. Modelo legislativo em ambiente SIG

- Normalização das variáveis - os critérios foram normalizados a partir lógica fuzzy, com a ferramenta *fuzzy (membership)* e reclassificação dos valores das imagens, numa escala de 0 a 5 valores;
- Agregação do peso das variáveis para gerar o nível de aptidão da área de estudo e posterior seleção da área necessária para a implantação do aterro de acordo com a sua dimensão.

A figura 8 apresenta as diferentes fases metodológicas durante a investigação que por sua vez se subdividiram em diferentes etapas de pesquisa.

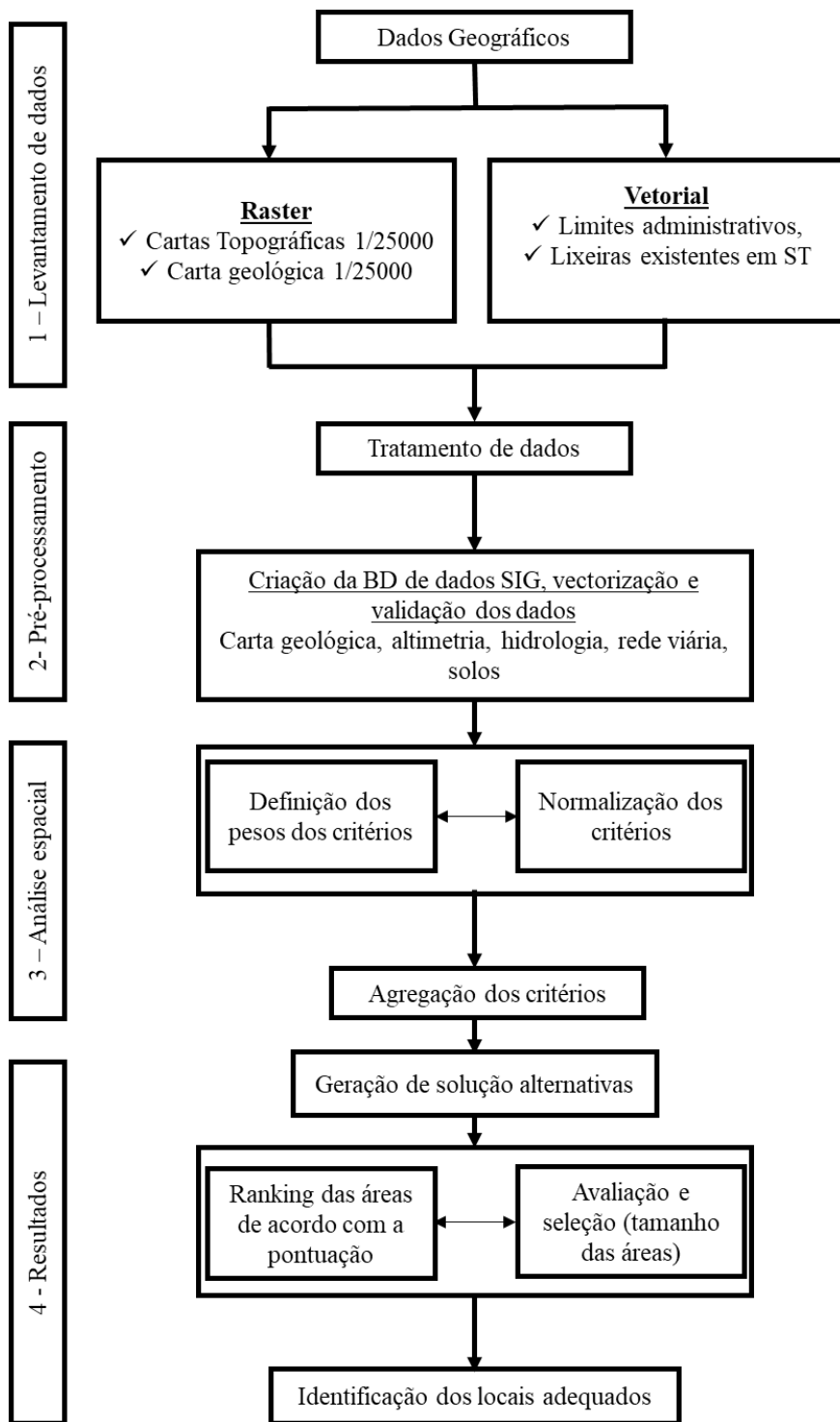


Figura 8. Modelo lógico de procedimentos operativos para a seleção de aterros sanitários

#### 4.1.2 Variáveis de *input* do modelo

- Distância mínima de 500 metros a qualquer curso de água; visando preservar os recursos hídricos de possíveis contaminações por efluentes, de acordo com o que

estabelece o Decreto-Lei nº 36/1999, de 03 de agosto – Lei sobre os Resíduos em relação aos cursos de água.

- Distância mínima de 500 metros às áreas protegidas; quanto mais distante estiver o aterro sanitário das áreas protegidas, mais protegido estará a biodiversidade devido ao tráfego constante e propagação dos insetos que podem causar danos a fauna e flora local.
- Distância mínima de 500 metros da orla marítima; quanto mais distante estiver o aterro sanitário da orla marítima, mais protegido estará o mar de contaminação devido ao lixo.
- Distância mínima de 200 metros da rede viária; objetivando a preservação das áreas de circulação do impacto visual do aterro.
- Distância mínima de 500 metros das zonas residenciais; visando, por um lado, a diminuição da distância percorrida pelos caminhões no transporte dos resíduos, e por outro lado, proteger a as povoações dos efeitos ambientais derivados da presença do aterro.
- Distância mínima de 500 metros às áreas agrícolas; quanto mais distante estiver o aterro sanitário das áreas de cultivo, mais apta será devido a propagação dos insetos que podem causar prejuízos às plantações.

O modelo foi desenvolvido a partir de uma estrutura de dados matricial, pelo seu maior poder analítico comparado com o vetorial. O tamanho da célula de 10 metros (cobertura mínima de 100m<sup>2</sup>) em ambiente SIG, foi escolhido em função da escala da maioria dos dados recolhidos e do grau de pormenor, que o exercício de modelação para a determinação da área com maior aptidão relativa para a localização do aterro sanitário, merece.

A parte operativa foi desenvolvida no programa *ArcGIS* (*ferramenta raster calculator*), com atribuição dos critérios de análise a partir de operações de álgebra e análise espacial, tais como:

#### **a) Rede viária**

Através da ferramenta *euclidean distance* calculou-se a distância que permitiu gerar domínios com base em critérios de proximidade, em seguida fez-se a normalização das

imagens com base na classificação (*Reclassify*) dos valores, gerando uma nova imagem. Fez-se a sobreposição final dos critérios para obter áreas adequadas favoráveis à localização de aterro sanitário, por último a imagem foi normalizada com a ferramenta fuzzy distance (membership).

#### **b) Uso dos solos**

Os procedimentos utilizados para a modelação do uso dos solos foram semelhantes aos do critério anterior. As formas de ocupação designadamente, as zonas edificadas e infraestruturas, zonas agrícolas, zonas agroflorestais, zonas húmidas e zonas de ecossistemas aquáticos foram as variáveis utilizadas.

#### **c) Morfologia**

Através da ferramenta *Create TIN (Triangulated Irregular Network)* da extensão 3D do *Analyst Tools*, criou-se o Modelo Digital de Terreno (Figura 18 em anexo). Fez-se a conversão *TIN* para Matricial e com a ferramenta *slope* calculou-se o declive, considerando que o baixo declive (Figura 19 em anexo) favorece as operações de movimento de resíduos e solos além de oferecer condições menos críticas para o sistema de drenagens. Dizer que quanto menor for o declive da área em análise, mais apta ela será para receber o aterro. Por último fez-se a sobreposição do declive e orientação das vertentes para obter a morfologia.

#### **d) Hidrogeologia**

Neste critério, seguiram-se, os procedimentos utilizados nos modelos anteriores. Os parâmetros utilizados foram: Unidade geológica e linhas de água. No entanto, o subcritério unidade geológica resultou da combinação dos fatores unidade recente, unidade intermedia e unidade de base. Fez-se a conversão dos subcritérios para matricial e depois a normalização através da classificação (*Reclassify*) e por último fez-se a sobreposição dos mapas. Considerando as áreas mais propícias para a implantação do aterro em função da permeabilidade do terreno, disponibilidade de material terroso para recobrimento e profundidade dos aquíferos.

#### **e) Restrições**

Encontrou-se a proximidade estabelecida na legislação santomense para os aterros sanitários através dos critérios de proximidade. Fez-se a conversão dos resultados

(mapas) para matricial e após a normalização através da reclassificação (*Reclassify*) dos valores das imagens deu-se origem a uma nova imagem (Figura 9).

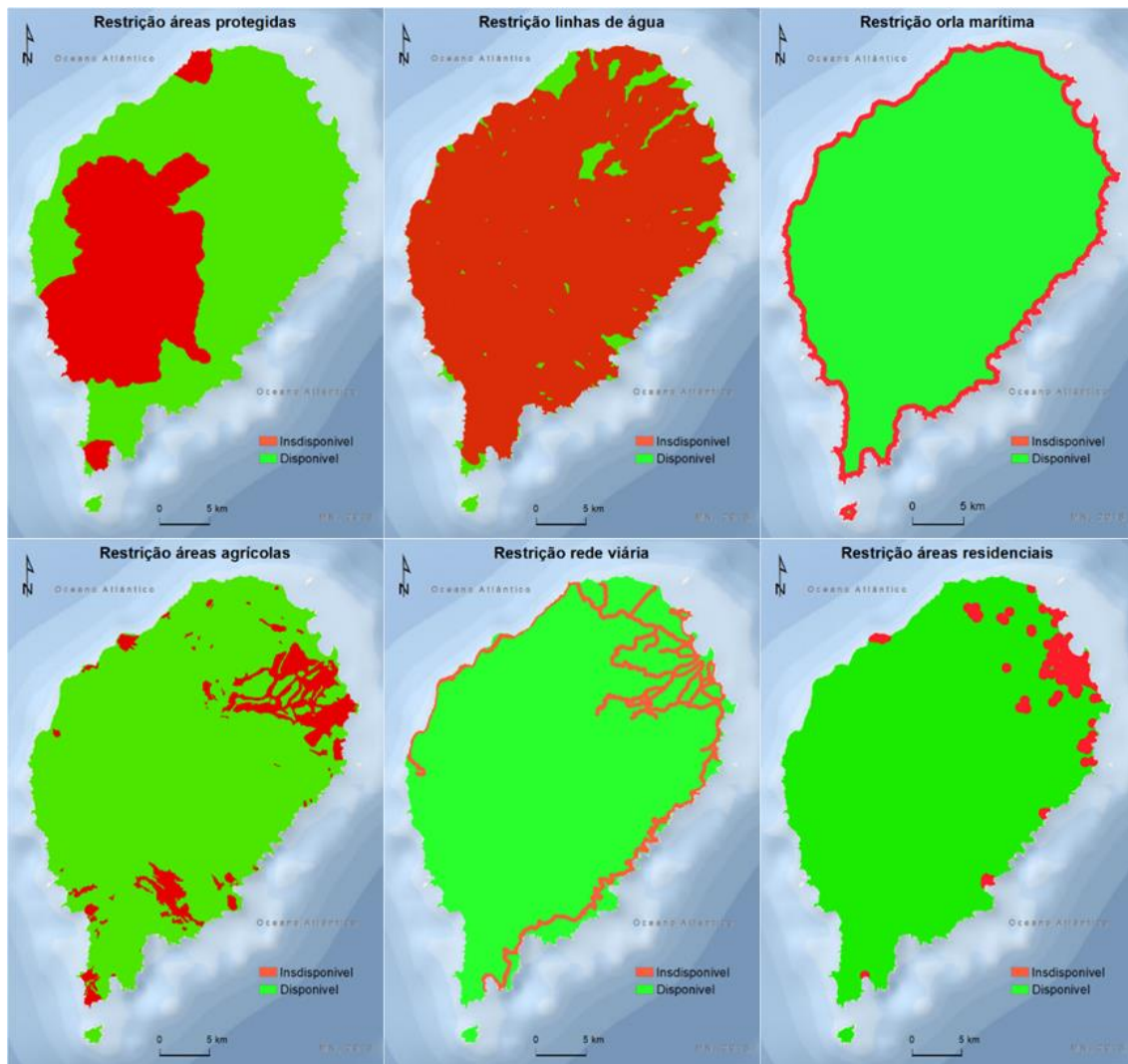


Figura 9. Proximidade estabelecida na legislação santomense para os aterros

#### 4.1.2 Modelo de implementação

##### a) Modelo binário

A partir dos mapas das restrições provenientes da legislação santomense sobre os RSU foi produzido o modelo legislativo (Figura 10) para a identificação de áreas disponíveis com aptidão para a localização de aterros em São Tomé. Fez-se a sobreposição dos mapas para obter um mapa com as localizações mais favoráveis para o aterro sanitário. Através do *model builder* utilizando a ferramenta *Matricial Calculator* fez-se a sobreposição (multiplicação) da cartografia parcial de cada uma das restrições com a

estrutura matricial devidamente normalizadas (0 e 1), com o fim de obter o mínimo risco possível. De acordo com a legislação, os aterros sanitários devem estar localizados a: +500m das zonas residenciais; +500m de desenvolvimento agropecuário; +500m de áreas protegidas; +500m de fontes dos rios e da orla marítima; não devem estar localizados a -200m da plataforma da estrada sejam elas nacionais ou secundárias.

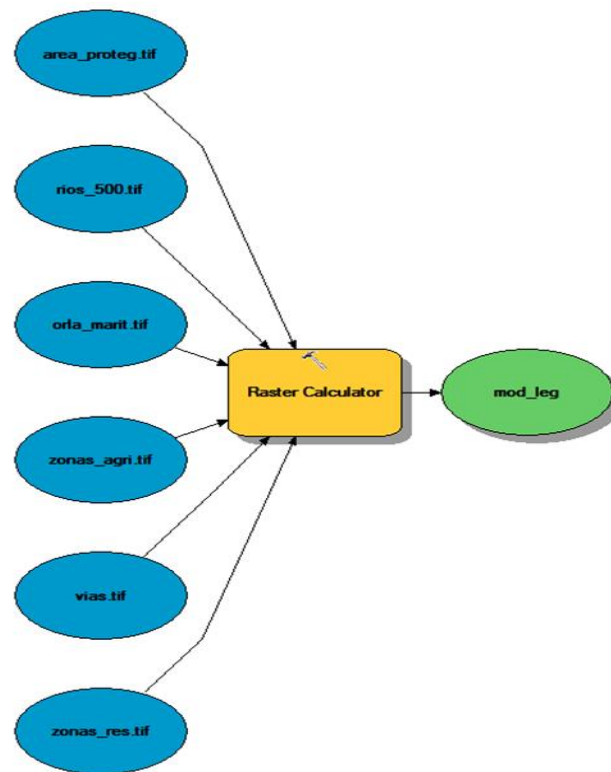


Figura 10. Modelo físico com base na legislação (Modelo\_restrição)

## b) Modelo de AMC

O modelo de AMC foi construído com base na literatura da especialidade, e contributos de peritos nacionais e internacionais. As variáveis de *input* do modelo foram a Hidrogeologia (linhas de água e unidades geológicas); Morfologia (declives em graus e orientação de vertentes); Uso do solo (zonas agroflorestais, zonas agrícolas, zonas florestais e zonas edificadas) e Rede viária (vias principais e secundárias), tendo em conta os seus atributos espaciais. Seguiu-se depois, a sobreposição dos mapas para obter um mapa com as localizações mais favoráveis para o aterro sanitário. As variáveis que mais condicionam a construção de um aterro, numa escala de 0 a 5, em que 0

corresponde a impossibilidade e 5 a maior aptidão para receber o aterro estão ilustradas nas tabelas 12 e 13.

Tabela 12. Ponderação feita pelos peritos nacionais

<b>Crítérios</b>	<b>Pond</b>	<b>Subcritérios</b>	<b>Pond</b>
<b>Hidrogeologia</b>	0	Linhas de água	0
		Unidade geológica	3
<b>Uso do solo</b>	4	Zonas agro-florestais	0
		Zonas agrícolas	0
		Zonas florestais	1
		Zonas edificadas	3
<b>Rede viária</b>	2	Vias principais	0
		Vias secundárias	3
<b>Morfologia</b>	3	Declive	3
		Orientação das vertentes	2

Tabela 13. Ponderação feita pelos peritos internacionais

<b>Crítérios</b>	<b>Pond</b>	<b>Subcritérios</b>	<b>Pond</b>
<b>Hidrogeologia</b>	0	Linhas de água	0
		Unidade geológica	0
<b>Uso do solo</b>	2	Zonas agro-florestais	0
		Zonas agrícolas	0
		Zonas florestais	4
		Zonas edificadas	0
<b>Rede viária</b>	5	Vias principais	4
		Vias secundárias	5
<b>Morfologia</b>	2	Declive	0
		Orientação das vertentes	3

Todos os critérios foram normalizados com a ferramenta *fuzzy (membership)*, após a normalização fez-se a soma ponderada dos critérios a partir do *raster calculator* utilizando a ferramenta *weighted sum* (soma ponderada), gerando a cartografia parcial das variáveis acima mencionadas em estrutura matricial devidamente ponderado (Modelo AMC\_Peritos), com o fim de obter um mapa indicando as áreas de melhor aptidão.

**Modelo AMC\_Peritos (Int<sup>5</sup>) =**

((("linhas\_água"\*1)+("rede\_viária"\*2)+("uso\_solo"\*4)+("declive"\*3)+("unid\_geológica"\*3)+("zonas\_edificadas"\*3)+("orient\_vertentes"\*2))

**Modelo AMC\_Peritos (Ext<sup>6</sup>) =**

((("linhas\_água"\*1)+("rede\_viária"\*5)+("uso\_solo"\*2)+("declive"\*1)+("unid\_geológica"\*1)+("zonas\_edificadas"\*1)+("orient\_vertentes"\*3))

As ponderações dos peritos tiveram diferentes resultados, isto pode ser explicado pelo fato da proximidade ao terreno dos peritos nacionais em relação aos internacionais, que muitas vezes terá influenciado no momento da atribuição dos valores aos critérios.

### **c) Modelo final**

O modelo final construído a partir dos resultados da modelação do modelo binário (legistavivo) e modelo de AMC gerado pelos peritos. Para a localização do aterro sanitário, este modelo que servirá de apoio à decisão teve de ser mais refinado, ou seja, de o tornar mais robusto e mais ajustado à realidade. Isto traduz-se, em termos operativos, na combinação de mais variáveis eg. unidades geológicas, linhas de água, declive, orientação de vertentes, áreas urbanas e novas ponderações. Para tal foi necessário fazer a sobreposição dos mapas com as ponderações dos peritos e o modelo das restrições vigentes na legislação santomense. O resultado (Modelo final) está mapeado nas figuras 12 e 14.

**Modelo final = "Modelo AMC\_Peritos"\*"Modelo\_restrição"**

---

<sup>5</sup> Ponderação feita com ajuda dos peritos nacionais.

<sup>6</sup> Ponderação feita com ajuda dos peritos internacionais.

## V - Resultados

O resultado preliminar da aptidão foi classificado em duas categorias. O valor “0” foi atribuído às áreas indisponíveis e o valor “1” foi atribuído às áreas disponíveis, para a localização provisória do aterro. As áreas mais adequadas encontradas nos mapas parciais das restrições localizam-se sobretudo nos distritos de Mé-Zochí e no distrito de Lobata. Por outro lado, o distrito de Lembá, Cantagalo e Caué (a sul da ilha de São Tomé) registam pouca adequabilidade para a construção do aterro. Estas áreas são meramente indicativas, sendo que resultam apenas da combinação das restrições, ou seja de operações booleanas. A figura 11 apresenta os resultados preliminares das mesmas, com base na legislação.

As lixeiras existentes na ilha de São Tomé não respeitam a lei. A maior parte dos resíduos recolhidos tem como destino as lixeiras, visto que os distritos não possuem estruturas adequadas para a deposição final de resíduos. Constata-se ainda, que a ausência de estruturas próprias para o confinamento técnico e tratamento dos resíduos origina a deposição em várias zonas não adequadas nos distritos (Figura 11) para a deposição dos resíduos sólidos, sem qualquer controlo.

O distrito de Água Grande, Mé-Zochí e outros usam a Lixeira da Penha, maior lixeira no país com cerca de 2,5 ha, estrutura que vem desde o tempo colonial, está situada a 3 km do centro da capital. Esta lixeira pode provocar um impacto negativo na saúde da população local e não só, devido a constante queima de resíduos, libertação poluentes, proximidade da linha de água a menos de 10 metros e com probabilidade de contaminar águas subterrâneas (caso haja).

A contaminação dos cursos de águas através dos lixiviados emanados das lixeiras, facto potenciado pela elevada pluviosidade característica da região pode ser a principal fonte de doenças na ilha de São Tomé. No distrito de Cantagalo o despejo no mar leva a que as praias venham a ficar poluídas, em especial com os plásticos devido a existência de uma lixeira junto ao mar.



Figura 11. Aptidão da área disponível a partir da legislação

Pelo facto de haver presença de pessoas (crianças, jovens e adultos) os possíveis riscos para as populações são a queima a céu aberto com a consequente libertação de dioxinas

e organoclorados, esta operação é particularmente perniciososa para os operadores e populações envolventes no distrito de Água Grande, prática frequente na lixeira de Penha.

O impacto da poluição atmosférica nas pessoas que habitam na vizinhança da lixeira, pode gerar problemas de saúde graves, deficiências pulmonares e cancerígenas. Entretanto, ainda não existe a recuperação dos efluentes emitidos, nem qualquer preocupação de mitigar o problema e risco ambiental que advém desta situação.

O outro resultado preliminar da aptidão foi com base no modelo de AMC. As ponderações dos critérios de análise foram feitas por peritos nacionais e internacionais (Fig. 12 e 14). Nota-se que quanto mais elevados os valores, maior é a aptidão da área para receber o aterro sanitário.

O mapa foi classificado, para maior facilidade de leitura e comunicação dos resultados, da seguinte forma: aptidão nula, baixa, média e alta. As áreas de aptidão segundo peritos nacionais (Figura 13) estão de acordo aos critérios estabelecidos anteriormente (Figura 12). Os valores das células variam de 0-4 (nula aptidão) a 13-16 (elevada aptidão).

Do mesmo modo fez-se o mesmo exercício seguindo as ponderações apresentadas pelos peritos internacionais afetos a universidade de Lisboa (Figura 14 e 15). Feita uma breve comparação dos resultados foi possível aferir, durante a parte analítica, que as ponderações feitas pelos peritos nacionais (STP) têm como resultado um maior número de áreas adequadas com aptidão elevada (Figura 13) para a localização de aterros sanitários na ilha de São Tomé.

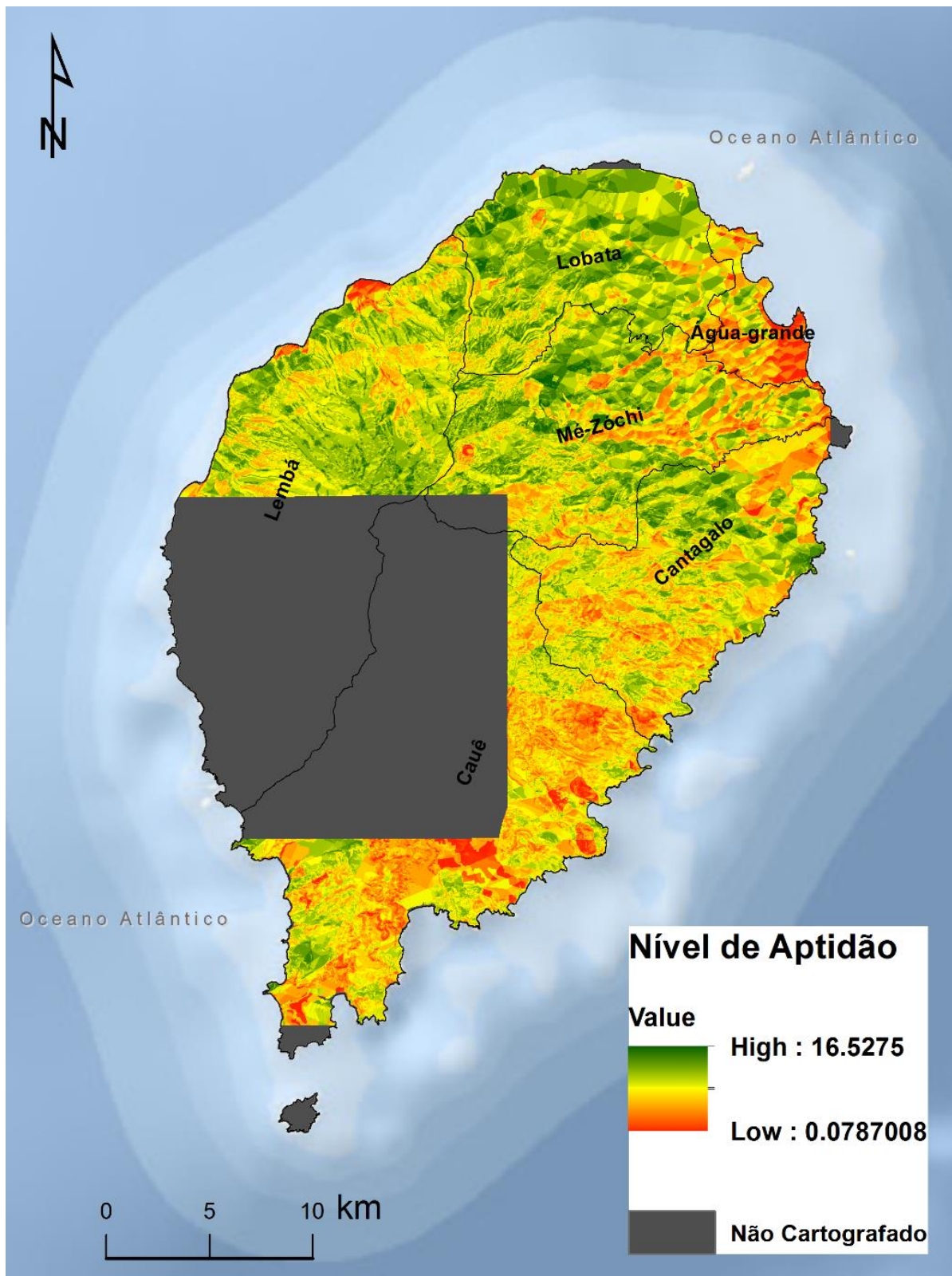


Figura 12. Nível de aptidão segundo os peritos nacionais

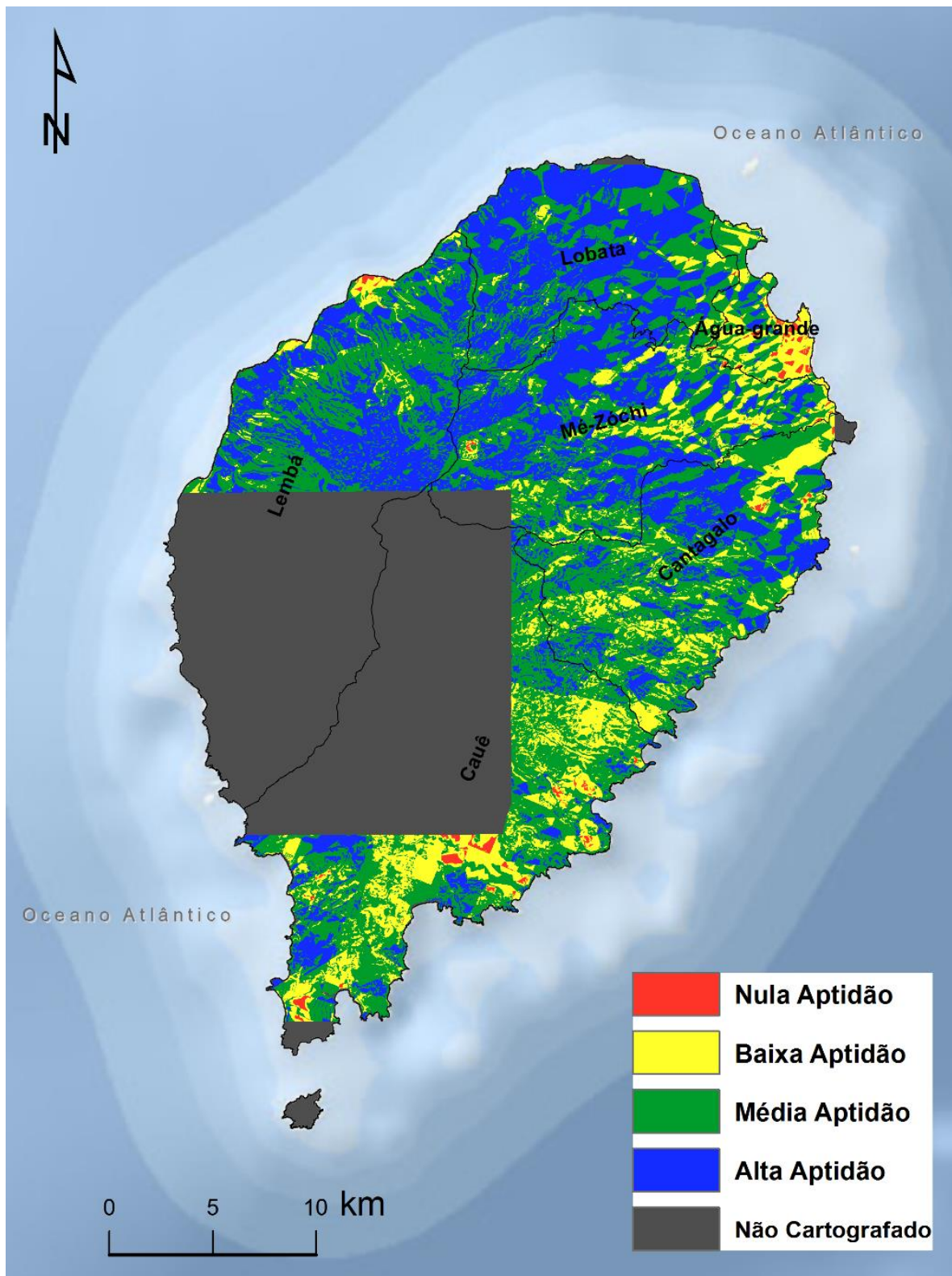


Figura 13. Aptidão dos locais segundo peritos nacionais

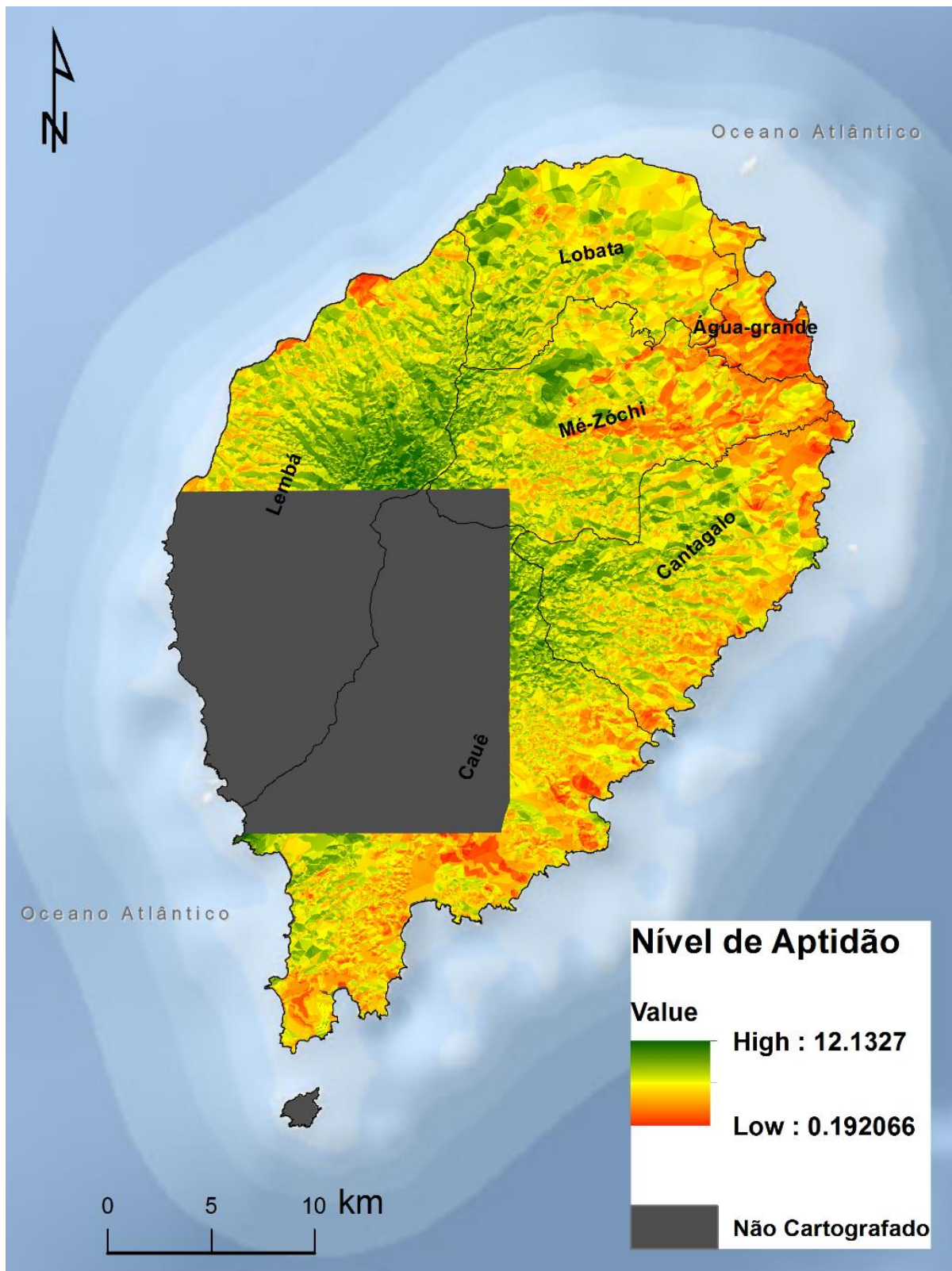


Figura 14. Nível de aptidão segundo os peritos internacionais

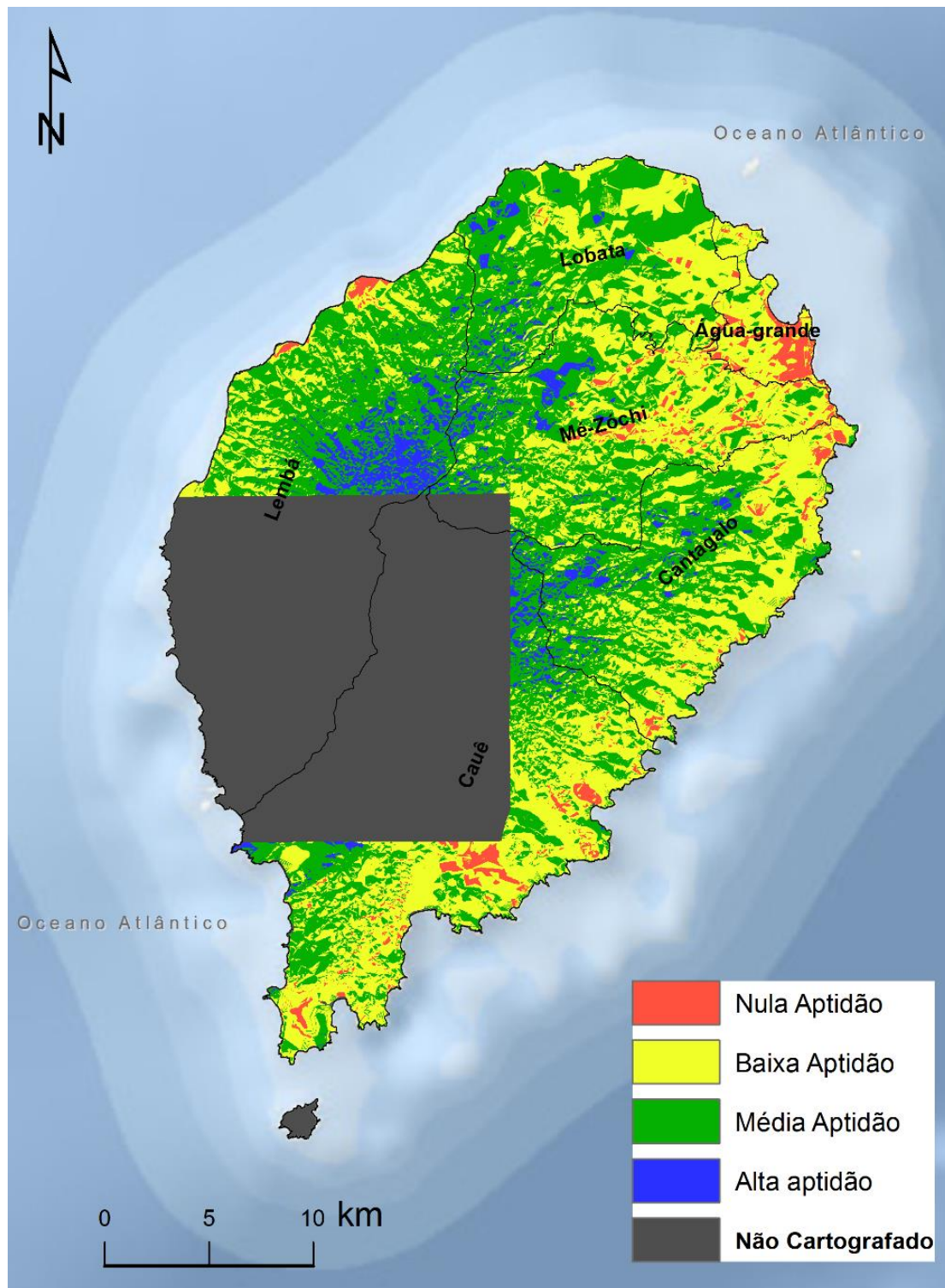


Figura 15. Aptidão dos locais segundo peritos internacionais

### Área do aterro sanitário na Ilha de São Tomé

Para a instalação de um aterro sanitário numa determinada região é indispensável ter diversos factores (Tabela 14) sobre a qual devem ser avaliados, tais como: a população,

a produção de resíduos, volume de resíduos, vida útil do aterro (Levy & Cabeças, 2006) entre outros dados. Para calcular a área do aterro sanitário na ilha de São Tomé, os dados considerados (Cabral, 2012) foram a média per capita da produção dos RSU, população total, vida útil do aterro, taxa de crescimento anual da população, peso específicos dos RSU e infraestruturas de apoio ao aterro.

Segundo o MIRNA, (2018) a média per capita de produção dos RSU em São Tomé é cerca de 0,39 Kg/hab/dia. A população total é cerca de 197.700 habitantes, as projecções da quantidade de RSU produzidos em 10 anos seria 281.425,95 toneladas. Mas levando em consideração uma taxa de crescimento populacional de 2.2% por ano (INE, 2018) e uma produção per capita constante (Kontos et. al, 2005; Gemitzi et. al, 2006), a quantidade de RSU produzidos será 287617,3 toneladas.

Para encontrar o volume ocupado pelos RSU no aterro foi necessário dividir a produção dos RSU calculado pelo peso específico dos RSU (0,700 tonelada/m<sup>3</sup>), após a compactação em aterro sanitário (Levy & Cabeças, 2006; Cabral, 2012). Ao resultado, é adicionado o volume das terras de cobertura<sup>7</sup> necessárias a colocar diariamente sobre os RSU. Assim sendo, estima-se que o volume global dos RSU (resíduos e terras de cobertura) acumulado durante 10 anos, na ilha de São Tomé, será 472.514,16 m<sup>3</sup>.

Segundo Levy et Cabeças (2006), citado por Cabral (2012), sendo volume (Vg) e altura (H), a área do aterro sanitário será:

$$\text{Área} = \text{Vg}/\text{H}$$

Se a escavação tiver 5 metros de altura, a área do aterro será 94.502,8 m<sup>2</sup> (cerca de 9,5 hectares). Adicionando 2,5 hectares correspondentes às restantes infraestruturas de apoio e cortina arbórea, como por exemplo vias de circulação interna e sistemas de tratamento de efluentes (Levy & Cabeças, 2006; Cabral, 2012). A área para implantação do aterro sanitário na ilha de São Tomé será de cerca de 12 hectares.

---

<sup>7</sup>15 % do volume anual dos RSU corresponde ao volume das terras de cobertura (Levy & Cabeças, 2006).

Tabela 14. Variáveis de cálculo do aterro em São Tomé

<b>Variáveis</b>	<b>Valores</b>	<b>Observação</b>
<i>População</i>	197700 Hab.	Pop. Referente ao ano de 2017
<i>Taxa de crescimento da população</i>	2,2%	
<i>Peso específico dos RSU</i>	0,7 Toneladas/m <sup>3</sup>	
<i>Produção per capita dos RSU</i>	0,39 Kg/hab/dia	
<i>Vida útil do aterro</i>	10 Anos	12-15 Anos (recomendado)
<i>Altura de escavação</i>	5 Metros	
<i>Produção de RSU</i>	287617,32 Toneladas	
<i>Cobertura de terra</i>	15%	
<i>Volume dos RSU</i>	472.514,3 m <sup>3</sup>	
<i>Área do aterro</i>	12 Hectares	

Após a sobreposição dos modelos de AMC com as ponderações dos peritos e o modelo binário com base na legislação santomense, nas áreas com aptidão elevada (Figura 16 e 17), selecionou-se as áreas iguais ou superiores a 12 hectares para a implantação do aterro sanitário na Ilha de São Tomé.



Figura 16. Áreas aptas para os aterros sanitários, segundo peritos nacionais.



Figura 17. Áreas aptas para os aterros sanitários, segundo peritos internacionais.

## **VI - Discussão dos Resultados**

Este trabalho foi desenvolvido na perspectiva de criar um modelo, que contribua para o apoio à decisão e ao desenvolvimento sustentável de São Tomé e Príncipe. Para o efeito foi desenvolvido e implementado um modelo SIG-AMC que permitiu analisar e medir, com elevado grau de rigor científico as áreas mais adequadas para a localização de aterros sanitários, o que demonstra a crescente importância dos SIG no planeamento urbano e ordenamento do território. Precisamente, dada a contínua atualização dos algoritmos de modelação e análise espacial que integram e compõem os SIG, estes são capazes de modelar e simular as restrições físicas e os condicionalismos sociais, económicos, culturais, políticos e problemas de elevada complexidade, o que os torna atualmente sistemas indispensáveis no apoio à decisão.

O modelo criado e implementado mostrou ser, tendo em consideração a natureza dos dados e a realidade do território em estudo, capaz de fazer uma avaliação do estado atual, com a identificação da irregularidade legal e da perigosidade ambiental e de saúde pública, da ilha São Tomé face aquilo que são as suas políticas, ou ausência delas, de gestão e tratamento dos resíduos urbanos. O resultado do modelo combinado dos SIG e métodos consolidados de AMC eg. AHP, determinou com rigor o grau de aptidão do território, ou de partes do território, para a implementação de um aterro sanitário, que venha minimizar algum dos problemas sociais, ambientais existentes.

O modelo SIG-AMC desenvolvido é à medida do território em análise, pelas inúmeras restrições, sobretudo de natureza biofísica, da ilha que lhe conferem elevado grau de complexidade. Todavia, toda a componente física do modelo, leia-se sistema de análise dos dados, pode ser adotado e adaptado para outras realidades bastando para isso apenas introduzir outras variáveis e fazer testes de validação do modelo com o intuito de avaliar as áreas adequadas para implantação de aterros sanitários.

Os resultados decorreram da análise combinada de 14 (catorze) critérios, em respeito pelos limites jurídicos/legais, projeções demográficas e potencial produção de lixo, valores ambientais e de saúde pública, e considerações de carácter económico.

As figuras (12 e 14) ilustram os mapas de aptidão final da área de estudo segundo os critérios estabelecidos, com os valores de ponderações apresentadas pelos peritos nacionais e internacionais. Os valores da classificação hierarquizam as diferentes

alternativas, resultante da análise multicritério e de análise ponderada através do AHP. Também foram consideradas as restrições legais estabelecidas na legislação santomense.

O cálculo de área necessária para o aterro sanitário e a localização em relação à rede viária e o uso do solo foram extremamente importantes para a determinação dos locais mais adequados, para a localização de aterros sanitários. As restantes áreas, apesar de terem um nível de aptidão elevada, não foram consideradas porque possuem superfície com tamanho inferior a 12 hectares e por terem uma localização muito distante da rede viária e dos centros de produção de resíduos.

Em síntese fez-se prova de evidência de que se trata de um modelo de apoio à decisão, que demonstrou ter potencial de aplicação à realidade e que como tal se espera que seja considerado pelo governo da Ilha de São Tomé, STP.

## VII - Conclusões e Recomendações

A combinação dos métodos AHP e AMC em ambiente SIG permitiu a identificação de áreas adequadas e disponíveis, para a localização de aterro sanitário na ilha de São Tomé em função da cartografia de base utilizada. As informações geográficas foram processadas através de software (*ArcGIS 10.4*) que mostrou ser uma mais-valia no processo da análise espacial.

A localização de áreas adequadas para a deposição de RSU é importante para o planeamento urbano num país insular como STP, em que as terras são escassas e devem ser valorizadas, principalmente quando se pensa no planeamento de expansão urbana. Assim sendo, nesta investigação a capacidade dos SIG associado aos modelos de AMC foi demonstrada amplamente, como uma ferramenta importante no apoio a tomada de decisão, como por exemplo na gestão dos recursos naturais, sendo eficaz na aquisição, armazenamento e organização estruturada da informação, no que toca a modelação e análise, de forma a encontrar, em tempo útil, as melhores soluções possíveis.

Pelo facto de não existir estruturas de tratamento adequado dos RSU em STP, dificulta assim a boa gestão dos resíduos, a deposição é feita geralmente na natureza de forma selvagem sem qualquer tipo de tratamento, constituindo assim focos de poluição ambiental e riscos para a saúde pública. A identificação de uma área para a construção do aterro sanitário em São Tomé vai de acordo com a estratégia nacional para a gestão de resíduos sólidos urbanos no país, assim sendo, esta investigação ajuda a solucionar o problema de localização de aterros sanitários, e permite que os lixos (RSU) produzidos, passam a ser depositados em áreas adequadas diminuindo os impactes ambientais, estando de acordo com a legislação vigente no país.

Os resultados desta investigação identificam não só a localização dos possíveis territórios para receber os aterros sanitários, mas também o seu grau de aptidão afim de minimizar os potenciais impactes ambientais e socioeconomicos. É de notar que as lixeiras existentes não vão de acordo com o que está definido na lei. Elas se encontram em lugares inadequados para a deposição de RSU, gerando um impacte negativo a população residente nas proximidades.

Em São Tomé e Príncipe ainda não existe tratamento final de resíduos sólidos urbanos em grande escala. Apenas existe o tratamento de uma pequena fração, menos de 1% do que é produzido.

O processo de incineração e/ou mecanismo tecnológicos avançados de reciclagem total dos resíduos não é aplicado no país, mas sim a prática de queima a céu aberto não controlada dos resíduos indiferenciados. Pelo facto de não existir uma incineradora adequada, os resíduos produzidos são depositados e queimados a céu aberto nas lixeiras. Mas, esforços estão sendo feitos para instalar a nível nacional um sistema de tratamento através de incineradoras que terão a capacidade de incinerar os resíduos provenientes dos hospitais, centros de saúde e resíduos provenientes do processo de pulverização.

Ao nível dos decisores políticos este estudo poderá ser a base para uma tomada de decisão mais informada e conseqüentemente mais adequada às necessidades da população e ao melhor interesse das comunidades em prol da qualidade de vida de todos os presentes, assim como das gerações futuras.

## **Bibliografia**

- **Livros, Artigos e Revistas**

Beijoco, A. F. (2011), Otimização de um Sistema de Recolha e Transporte de Resíduos Sólidos Urbano. Implicações ambientais e financeiras da otimização da recolha e transporte de resíduos sólidos urbanos no Barreiro.

Cabral, A. V. (2012). Análise multicritério em SIG para Localização de Aterros Sanitários. O caso da região sul da Ilha de Santiago, Cabo Verde, Universidade Nova de Lisboa.

Caldeira, R.; Munhá, J.; Madeira, J.; Mata, J.; Afonso, R.; Tassinari, C. e Nascimento, E. (2003). Caracterização das principais unidades vulcano-estratigráficas da ilha de São Tomé, Golfo da Guiné, Lisboa, Portugal.

Chang, K. (2014). Introduction to Geographic Information Systems. McGraw-Hill, New York, USA.

Chang, N. B.; Parvathinathan, G.; Breeden e J.B. (2008). Combining GIS with fuzzy multicritério decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of Environmental Management* 87.

Charnpratheep, K., Zhou, Q., Garner, B. (1997). Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems. *Waste Management and Research* 15.

Farinha, A. M. R. e Barata, E. J. G. (1993). A Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos na Região Centro. Estudos Sectoriais, Coimbra, Portugal.

Gemitzi, A.; Tsihrintzis, V.A.; Voudrias, E.; Petalas, Ch. E Stravodimos, G. (2006). Combining geographic information system, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills. *Environmental Geology* 51.

Javaheri, H., et al. (2006). Site Selection of municipal Solid Waste Landfills Using Analytical Hierarchical Process Method in a Geographical Information Technology Environmental in Giroft. *Iran Journal of Environmental Health Science Engineering* 3.

Kao, J.J., Lin, H.Y. (1996). Multifactor spatial analysis for landfill siting. *Journal of Environmental Engineering* 122.

Kontos, T.D.; Komilis, D. P. e Halvadakis, C.P. (2005). Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste Management* 25.

LAINS e SILVA, H., (1958). Estado Atual da Carta Ecológica de São Tomé e Príncipe. Esboço da Carta da Vegetação Natural e Esboço da Carta de Aptidão Cacaucicola. Lisboa.

Levy, J. D., e Cabeças, A. J. (2006). Resíduo Sólidos Urbanos - Princípios e Processos. Lisboa, Portugal.

Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3–65. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>.

Malczewski, J. (1999), *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Meng, Y.; Malczewski, J.; Boroushaki, S. (2011). A GIS-Based Multicriteria Decision Analysis Approach for Mapping Accessibility Patterns of Housing Development Sites: A Case Study in Canmore, Alberta. *Journal of Geographic Information System*, 3(1), 50–61. Acedido em: <http://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=3705> aos 20 de julho de 2018.

Morgado, P.; Costa, N.; Rocha, J. e Costa, E. (2007). Comparação de métodos e técnicas de análise multivariada linear (ACP) e não linear (SOFM) em SIG. Ensaio de modelação geográfica de indicadores de apoio a políticas públicas territoriais, Portugal.

Munhá, J.; Caldeira, R.; Madeira, J.; Mata, J. e Afonso, R. (2007). Geologia da Ilha de São Tomé. Nota explicativa da Carta Geológica na escala 1:25000. Lisboa, Portugal.

Nyerges, L. T. e Jankowski, P. (2010). *Regional and Urban GIS: A Decision Support Approach*. New York, USA.

Ramos, R. A. (2000). *Localização Industrial. Um modelo espacial para o nordeste de Portugal*. Universidade do Minho, Portugal.

Russo, M. A. T. (2003). *Tratamento dos Resíduos Sólidos*. Universidade de Coimbra, Portugal.

Saraiva, H. F. D. (2014). Avaliação de áreas potenciais para a instalação de aterros sanitários no Município de Viana, Angola: análise multicritério e SIG's. Porto, Portugal.

Saaty T. L., (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill, New York, USA.

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*.

Saaty T. L. e Vargas, L. G. (2012). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*, International Series in Operations Research & Management Science 175, Springer Science & Business Media, New York.

Siddiqui, M. Z.; Everett, J.W. e Vieux, B.E. (1996). Landfill siting using geographic information systems: a demonstration. *Journal of Environmental Engineering*.

Thoso, M. (2007). *The Construction of a Geographic Information Systems Model for Landfill Site Selection*. University of the Free State, África do Sul. Acedido em <https://scholar.ufs.ac.za/bitstream/handle/11660/1619/ThosoM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, aos 23 de agosto de 2018.

Valentine, E., (1997). Environmental impact assessment in the site selection process. A case study. In *Sixth International Landfill Congress*, Sardinia, Italy.

Yahaya, S., et al., (2010). *Landfill Site Selection for Municipal Solid Waste Mangement using Geographic Information System and Multicriteria Evaluation*. USA.

- **Legislação Santomense**

Decreto-Lei nº 10/1999, de 15 de abril – Lei de Base do Ambiente, São Tomé.

Decreto-Lei nº 36/1999, de 03 de agosto – Lei sobre os Resíduos, São Tomé.

- **Instituições**

INE – Instituto Nacional de Estatísticas (2012). Resultados Nacionais do IV Recenseamento Geral da População e da Habitação, São Tomé e Príncipe.

INE – Instituto Nacional de Estatísticas (2018). Resumo de Indicadores Demográficos, 2012-2035, São Tomé e Príncipe.

MIRNA (2004). Primeira Comunicação Nacional para as Mudanças Climáticas, São Tomé e Príncipe.

MIRNA (2011). Projeto Piloto de Adaptação às Mudanças Climáticas, São Tomé e Príncipe.

MIRNA (2012). Segunda Comunicação Nacional para as Mudanças Climáticas, São Tomé e Príncipe.

MIRNA (2017). Relatório de Vulnerabilidade e Adaptação para a Terceira Comunicação Nacional sobre as Mudanças Climáticas, São Tomé e Príncipe.

MIRNA (2017). Plano Nacional de Implementação da Gestão Integrada dos Recursos Hídricos, São Tomé e Príncipe.

MIRNA (2018). Terceira Comunicação Nacional para as Mudanças Climáticas: Relatório de Vulnerabilidade e Adaptação, São Tomé e Príncipe.

MIRNA (2011), Plano de Ação de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos para São Tomé e Príncipe de 2011 a 2016.

MIRNA (2018), Plano de Ação de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos para São Tomé e Príncipe de 2018 a 2023.

## ANEXOS

### Inquérito para ponderação dos peritos nacionais/internacionais

As variáveis que mais condicionam a construção de um aterro, numa escala de 0 a 5, em que 0 corresponde a impossibilidade e 5 a maior disponibilidade para receber o aterro.

<b>Critérios</b>	<b>Pond</b>	<b>Subcritérios</b>	<b>Pond</b>
<b>Hidrogeologia</b>		Linhas de água	
		Unidade geológica	
<b>Uso do solo</b>		Zonas agro-florestais	
		Zonas agrícolas	
		Zonas florestais	
		Zonas edificadas	
<b>Rede viária</b>		Vias principais	
		Vias secundárias	
<b>Morfologia</b>		Declive	
		Orientação das vertentes	

Destes fatores, quais são os mais importantes para a localização de aterros (lixeiros, vazadouros controlados e/ou AS)?

Qual deles impede mais a construção de aterros sanitários?

Obrigado

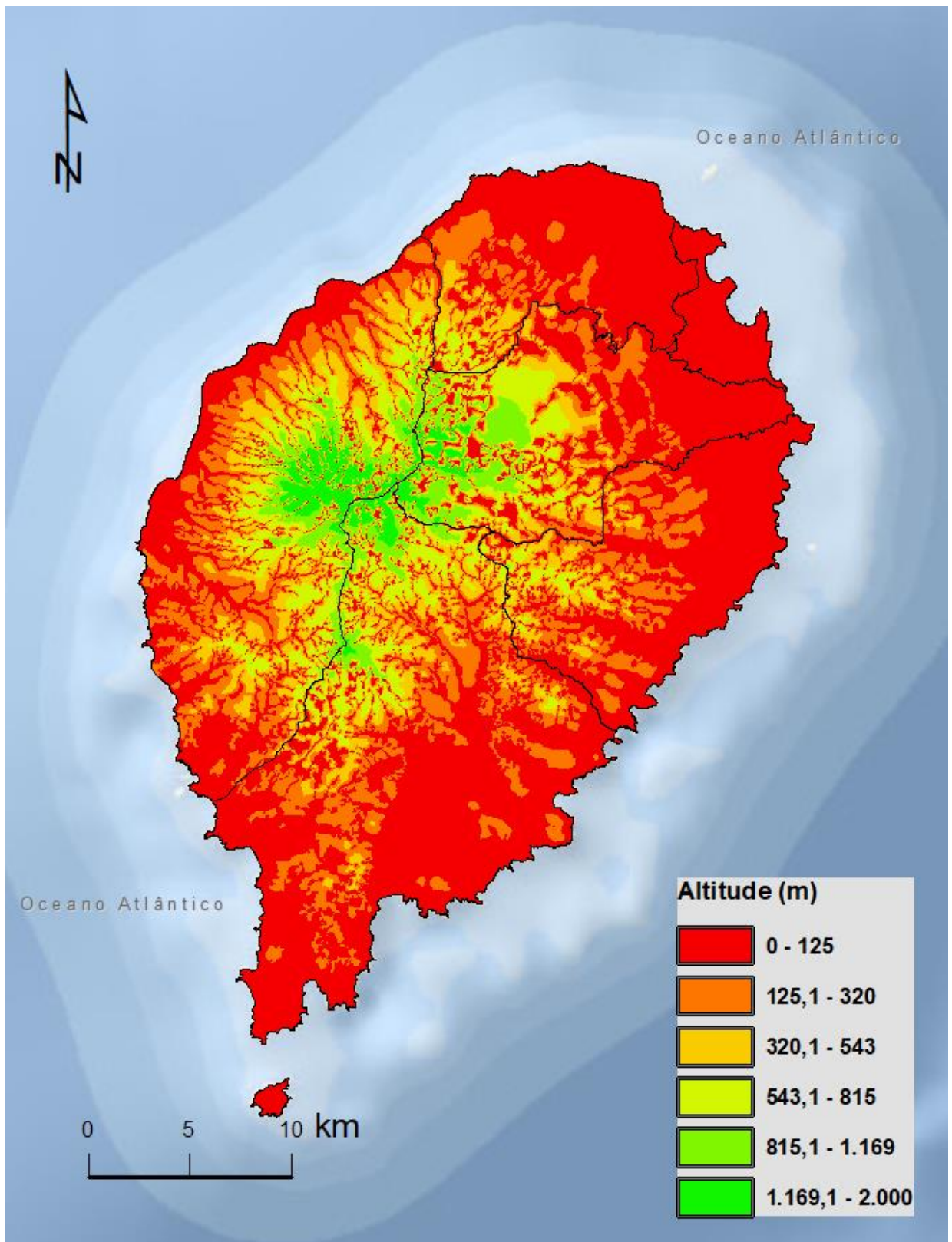


Figura 18. Modelo Digital de Terreno da Ilha de São Tomé

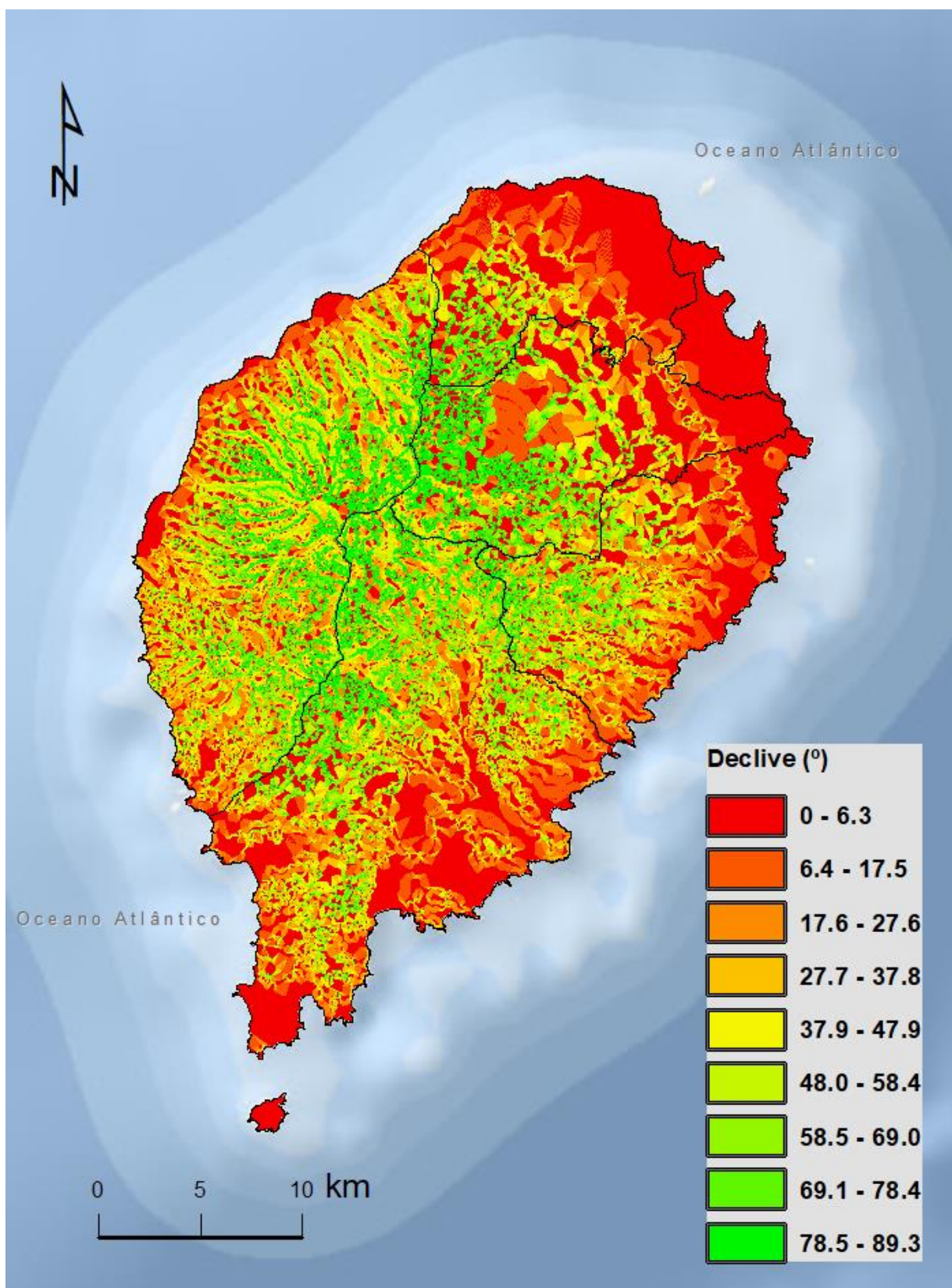


Figura 19. Declive da Ilha de São Tomé