



**UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO**

**APLICAÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO  
GEOGRÁFICA EM ESTUDOS DE CARACTERIZAÇÃO  
BIOFÍSICA DA ILHA DE SANTO ANTÃO EM CABO VERDE**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM  
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

**APRESENTADA POR: ROSA LOPES ROCHA  
ORIENTADA POR: PROF. DR. JOSÉ TADEU M. ARANHA**

**Vila Real, Julho de 2010**

**UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO**

**APLICAÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO  
GEOGRÁFICA EM ESTUDOS DE CARACTERIZAÇÃO  
BIOFÍSICA DA ILHA DE SANTO ANTÃO EM CABO VERDE**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM  
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

**Apresentada por: Rosa Lopes Rocha  
Orientador: Prof. Doutor José Tadeu M.Aranha**

**Vila Real, Julho de 2010**



Dissertação apresentada com vista à obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro em conformidade com o Decreto-Lei nº. 216/92, de 13 de Outubro.

Este trabalho é dedicado aos meus filhos Jacqueline e Mídana, à minha netinha Diana, ao meu irmão Elísio e a sua esposa Jacqueline, pelo incondicional apoio, compreensão e carinho durante o período de ausência para a realização deste objectivo pessoal.

## **Agradecimentos**

Foram várias as pessoas que contribuíram, de forma diversa, para que este trabalho pudesse ser levado a bom termo. A todas elas que, directa ou indirectamente, me deram apoio, incentivo, equilíbrio e amizade, o meu mais sincero agradecimento. Em especial gostaria de agradecer às seguintes pessoas e instituições:

Ao Professor Doutor José Tadeu Aranha, pela sua orientação, apoio, empenho e ensinamentos, e sobretudo pela confiança que depositou neste projecto;

Aos Docentes do Curso de Mestrado, pelos ensinamentos, orientações e apoio académico;

Ao Professor Doutor Luís Ramos, quem me deu a oportunidade de aplicar conhecimentos teóricos adquiridos no domínio do planeamento e ordenamento do território;

Ao Departamento de Ciências Florestais e Arquitectura Paisagística da UTAD pela disponibilização dos equipamentos e softwares utilizados, apoio e colaboração da Equipa do Laboratório de SIG;

Às Instituições Públicas Caboverdianas, nomeadamente, a DGOT, o INGRH, o INIDA, o INMG, a DGA e a DGASP, as Delegações do Ministério do Ambiente, Desenvolvimento Rural e Recursos Marinhos e, do INGRH na ilha de Santo Antão, pela disponibilização de dados fundamentais ao desenvolvimento do presente estudo. Especiais agradecimentos são dirigidos à Delegada e à Equipa da Delegação do INGRH na ilha, pela colaboração institucional e envolvimento pessoal no árduo trabalho de correcção e actualização dos dados referentes ao inventário dos recursos hídricos na ilha;

Ao Eng<sup>o</sup> Sérgio Carvalho e esposa, pelo apoio no desenvolvimento e formatação do presente trabalho.

Finalmente, dirijo especiais agradecimentos ao Professor Doutor Domingos Lopes, quem constituiu a ponte para o meu retorno ao mundo académico, me disponibilizou constante e incondicional, demonstrou confiança, me aconselhou e orientou em decisões importantes e, fundamentalmente, pela amizade e carinho que recebi dele e da família nos últimos dois anos.

## **Resumo**

Com características morfológicas e edafo-climáticas extremamente diversificadas, a ilha de Santo Antão em Cabo Verde apresenta uma reconhecida vulnerabilidade ambiental a par de uma elevada carência de estudos científicos que incidam sobre essa realidade e sirvam de base à uma compreensão integrada dos fenómenos.

A cartografia digital e as tecnologias de informação geográfica vêm proporcionando um avanço tecnológico na colecção, armazenamento e processamento de dados espaciais. Várias ferramentas actualmente disponíveis permitem modelar uma multiplicidade de factores, localizar e quantificar os fenómenos bem como e definir os níveis de contribuição de diferentes factores no resultado final.

No presente estudo, desenvolvido no âmbito do curso de pós-graduação e mestrado em sistemas de Informação geográfica realizado pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, pretende-se contribuir para a minimização do deficit de informação relativa às características biofísicas da citada ilha, recorrendo-se à aplicação de tecnologias de informação geográfica e detecção remota, associadas à análise estatística multivariada. Nesse âmbito, foram produzidas e analisadas cartas temáticas e desenvolvido um modelo de análise integrada de dados. Com efeito, a multiplicidade de variáveis espaciais produzidas, de entre elas 29 variáveis com variação contínua passíveis de influenciar as características biofísicas da região e, possíveis ocorrências de efeitos mútuos antagónicos ou sinérgicos, condicionam uma relativa complexidade à interpretação a partir dos dados originais. Visando contornar este problema, recorre-se a uma rede de amostragem sistemática, totalizando 921 pontos ou repetições, para extrair os dados correspondentes às 29 variáveis nos pontos de amostragem e, subsequente desenvolvimento de técnicas de análise estatística multivariada, nomeadamente a análise em componentes principais. A aplicação destas técnicas permitiu simplificar e interpretar as variáveis originais, normalizando-as e resumindo a informação contida na diversidade de variáveis originais, correlacionadas entre si, num conjunto de variáveis ortogonais (não correlacionadas), e com níveis de

importância decrescente, as componentes principais. Fixou-se como meta a concentração de 75% da variância dos dados originais explicadas pelas primeiras 3 componentes principais e, desenvolveu-se um processo interactivo em diferentes etapas, eliminando sucessivamente as variáveis menos representativas. Na última etapa do processo as 3 primeiras CP resultaram em 74,54% da variância dos dados originais explicadas mas, que vieram a demonstrar na fase posterior, serem insuficientes para retratar a realidade. Optou-se pela inclusão da 4ª CP (CP4), com a qual 84% da referida variância era explicada e, representando oito variáveis biofísicas : a altitude, a densidade hidrográfica, a densidade de fracturação geológica, a precipitação, o índice de vegetação, a temperatura, os recursos hídricos e a distância à rede hidrográfica. A subsequente interpolação da 1ª componente principal (CP1) e, das principais variáveis associadas as componentes CP2, CP3 e CP4 como variáveis auxiliares, recorrendo a técnicas geoestatística em ambiente ArcGIS permitiu a obtenção de uma carta representando 84% da variação das características biofísicas no território. A análise em clusters validada pelo teste “t de Student” permitiu reclassificar o território em 6 unidades biofísicas homogéneas. Conclui-se que, as tecnologias de informação geográfica actualmente disponíveis a par de facilitar análises interactivas e flexíveis, possibilitando que se faça variar temas e critérios, integrar novas informações e introduzir melhorias em modelos construídos com bases em informações disponíveis num determinado contexto, associadas a técnicas de análise estatística multivariada, possibilitam, com base em critérios científicos, desenvolver a análise integrada de múltiplas variáveis biofísicas cuja correlação entre si, torna complexa a compreensão integrada dos fenómenos.

**Palavras-chave:** Caracterização biofísica, Sistemas de Informação Geográfica, Detecção Remota, Análise Estatística Multivariada, Cabo Verde, Santo Antão.

## **Abstract**

With extremely diversified morphological and edapho-climatic characteristics, the island of Santo Antão in Cape Verde presents a notable environmental vulnerability, as well as a marked absence of scientific studies bearing on this reality and which could serve as the basis for an integrated understanding of the phenomena. Digital cartography and the technologies of geographical information have been responsible for advanced technology for the collection, storage and processing of space data. Several tools currently available enable the modeling of a multiplicity of factors, localizing and quantifying the phenomena, as well as defining the levels of contribution of different factors in the final result.

This study, undertaken within the framework of the Masters and Post-graduate Course in Systems of Geographical Information, makes use of the application of technologies of geographical information and remote sensing in the production of thematic cartography, integrating different biophysical variables, and the subsequent application of multifarious statistical analysis in the production and validation of a model of biophysical characterization of the said island. Faced with a multiplicity of produced special variables capable of influencing the biophysical characteristics of the region, the existence of eventual correlations among them, and of mutual antagonistic and synergetic effects complicate their interpretation from the original data. The application of techniques of multifarious statistical analysis, especially the ACP, made it possible to simplify the interpretation of the 29 original variables (thematic maps of continuous variability), normalize the data and summarize the contained information correlated among them, in principal non correlated components, and with a decreasing level of importance. The results obtained indicate that the first 4 principal components explain 84% of the existent variability, the minimum level of signification and, representing the factors, index of vegetation, average rainfall, altitude, soil temperature, hydrographic density, water resources, distance from hydrographic network and the slopes. The spatial interpolation of the data, integrating 921 points of pre-established systematic sampling, resulted in the map of biophysical characterization of the island, whose clusters analysis validated by the “t of Student” test, made it possible to divide the territory into 6

homogeneous biophysical units. It is concluded that currently available technologies of geographical information, associated with statistical analysis, and on the basis of scientific criteria, enable the definition of reproducible models of territorial characterization, and facilitate interactive and flexible analysis, making it possible, if themes and criteria are varied, to integrate new information and introduce improvements to models constructed within a given context.

## **Lista de Siglas e Acrónimos**

ACP \_ Análise de componentes principais

CP \_ Componentes principais

DGASP \_ Direcção Geral de Agricultura, Silvicultura e Pecuária

DGOT \_ Direcção Geral do Ordenamento do Território

DMDRM \_ Delegação do Ministério do Ambiente, Desenvolvimento Rural e Recursos Marinhos

DN \_ Digital Number

ESRI \_ Environmental Systems Research Institute

FCIT \_ Frente de Convergência Inter-tropical

GPS/NAVSTAR-Global Positioning System/Navegation by Satellite Timing and Ranging.

INIDA \_ Instituto Nacional de Investigação e Desenvolvimento Agrário

INGRH \_ Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos

INMG \_ Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

MAA \_ Ministério do Ambiente e Agricultura

MAAP \_ Ministério do Ambiente, Agricultura e Pescas

MADRM \_ Ministério do Ambiente, Desenvolvimento Rural e Recursos Marinhos

NDVI \_ Índice de vegetação normalizado

MDT \_ Modelo Digital de Elevação de Terreno

RIT \_ Rede Irregular triangulada

TIN \_ Triangulated Irregular Network

WMO World Meteorological Organization

ZAE \_ Zonas agroecológicas

ZEA \_ zona económica exclusiva

ZCIT \_ Zona de Convergência Inter-tropical

## Índice Geral

<b>I. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO .....</b>	<b>17</b>
1.1. INTRODUÇÃO .....	17
1.2. OBJECTIVOS DO TRABALHO.....	19
1.3. PRINCIPAIS ETAPAS DO TRABALHO .....	20
1.4. ESTRUTURA DO RELATÓRIO .....	20
<b>II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>23</b>
2.1. INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....	23
2.2. A ORIGEM E A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA....	25
2.3. CONSTRUÇÃO DE MODELOS GEOGRÁFICOS.....	27
2.3.1. <i>Principais Etapas do Geoprocessamento</i> .....	29
2.3.2. <i>Preparação e introdução de dados num SIG</i> .....	30
2.3.3. <i>Formatos e armazenamento de dados geográficos</i> .....	32
2.3.4. <i>Meios de disponibilização de dados geográficos</i> .....	34
2.4. CARTOGRAFIA E PROJECCÕES CARTOGRÁFICAS.....	35
2.5. MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL.....	38
2.5.1. <i>Métodos determinísticos</i> .....	39
2.5.2. <i>Métodos probabilísticos</i> .....	40
2.6. DETECÇÃO REMOTA.....	42
2.6.1. <i>Fundamentos da detecção remota</i> .....	42
2.6.2. <i>Técnicas de processamento de imagens</i> .....	43
2.6.3. <i>Transformação de Imagens</i> .....	44
2.6.4. <i>Realce de Imagens</i> .....	46
2.6.5. <i>Classificação de imagens</i> .....	47
2.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA.....	49
2.7.1. <i>Análise em componentes principais</i> .....	50
2.7.2. <i>Análise em clusters</i> .....	50

<b>III.</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>53</b>
3.1.	ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO .....	53
3.2.	BREVE CARACTERIZAÇÃO DO ESPAÇO FÍSICO EM CABO VERDE.....	56
3.3.	CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO EM SANTO ANTÃO .....	62
5.1.1.	<i>O substrato geológico.....</i>	<i>64</i>
5.1.2.	<i>A estrutura fisiográfica .....</i>	<i>68</i>
5.1.3.	<i>Aspectos pedológicos.....</i>	<i>72</i>
5.1.4.	<i>Aspectos climáticos .....</i>	<i>75</i>
5.1.5.	<i>Aspectos fitogeográficos.....</i>	<i>88</i>
5.1.6.	<i>Os recursos hídricos.....</i>	<i>90</i>
<b>IV.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>99</b>
4.1.	EQUIPAMENTOS E SOFTWARES UTILIZADOS .....	101
4.2.	FONTES, ESTRUTURA E QUALIDADE DOS DADOS.....	102
4.3.	TAREFAS DESENVOLVIDAS .....	104
4.3.2.	<i>Desenvolvimento do Projecto SIG.....</i>	<i>105</i>
4.3.3.	<i>Procedimentos específicos referentes a alguns dados.....</i>	<i>109</i>
4.3.4.	<i>Produção de cartas temáticas recorrendo a métodos de interpolação espacial.....</i>	<i>111</i>
4.4.	<i>PRODUÇÃO DE DADOS COM BASE EM TÉCNICAS DE DETECÇÃO REMOTA ...</i>	<i>115</i>
4.4.2.	<i>Processamento das Imagens .....</i>	<i>120</i>
4.5.	DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE INTEGRAÇÃO DE DADOS.....	123
<b>V.</b>	<b>APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS .</b>	<b>127</b>
5.1.	PRODUÇÃO E ANÁLISE DE DADOS RECORRENDO A TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL .....	127
5.1.7.	<i>Análise Morfológica baseada na Produção do Modelo de Elevação do Terreno (MDT).....</i>	<i>127</i>
5.1.8.	<i>Análise fisiográfica.....</i>	<i>140</i>
5.1.9.	<i>Análise espacial e temporal das precipitações .....</i>	<i>144</i>

5.1.10. ....	<i>Análise espacial dos recursos hídricos</i>	150
5.2. PRODUÇÃO E ANÁLISE DE DADOS RECORRENDO A TÉCNICAS DE DETECÇÃO REMOTA.....		153
5.2.1. <i>Imagens resultantes de composições RGB de Imagens de Satélite ..</i>		153
5.2.2. ANÁLISE DA OCUPAÇÃO DO SOLO.....		154
5.2.3. <i>Análise dos Índice de Vegetação.....</i>		160
5.2.4. <i>Cartas de temperatura do solo .....</i>		162
5.3. ANÁLISE INTEGRADA DAS VARIÁVEIS BIOFÍSICAS COM DISTRIBUIÇÃO CONTÍNUA.....		164
5.3.4. <i>Confrontação das unidades biofísicas resultantes com as carta agroecológica e da vegetação.....</i>		173
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>		<b>179</b>
6.3. ALCANCE DOS OBJECTIVOS FIXADOS .....		179
6.4. PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS .....		179
6.5. PRINCIPAIS CONSTRANGIMENTOS AO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO ...		183
6.6. SÍNTESE DAS PRINCIPAIS CONCLUSÕES .....		184
6.7. TRABALHOS FUTUROS .....		185
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>187</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>193</b>

## Índice de Figuras

Figura II-1 - Tarefas inerentes ao desenvolvimento de uma base de dados; ..	29
Figura II-2 - Curvas de Reflectância de alguns objectos; .....	48
Figura III-1 - Enquadramento geográfico do arquipélago de Cabo Verde .....	55
Figura III-2 - Enquadramento geográfico e administrativo da Ilha de Santo Antão .....	57
Figura III-3 - Carta de Identificação das Unidades Climáticas e da Paisagem na ilha de Santo Antão; .....	63
Figura III-4 - Superfície da ilha (Km <sup>2</sup> ) ocupada pelos principais estratos litológicos; .....	66
Figura III-5 - Carta Geológica da Ilha de Santo Antão. ....	67
Figura III-6 – Estrutura hidrográfica da ilha de Santo Antão .....	69
Figura III-7 - Carta de Unidades Geomorfológicas da Ilha de Santo Antão; ....	71
Figura III-8 - Representatividade dos solos dominantes; .....	72
Figura III-9 - Carta de Solos dominantes na ilha de Santo Antão; .....	73
Figura III-10 - Massas de ar predominantes e estrutura esquemática do clima numa ilha cónica localizada na região de Cabo Verde; .....	76
Figura III-11 – Variação do nº de postos udométricos funcionais em Sto. Antão de 1980 e 2009. ....	78
Figura III-12 - Distribuição espacial dos postos udométricos e classes de precipitação média anual no período 1980-2009, na ilha de Santo Antão. ....	79
Figura III-13 - Variabilidade inter-anual das precipitações registada em Santo Antão, entre 1980 e 2009; Fonte de dados de base: INMG e DMADRM .....	80
Figura III-14 - Variação da precipitação mensal média, máxima, mínima e, do desvio padrão em relação à media, em Santo Antão, correspondente a série 1980-2009. ....	82
Figura III-15 - Variação do coeficiente pluviométrico (Cp), em Santo Antão, correspondente a série 1980-2009. ....	82

Figura III-16 - Evolução dos níveis de precipitação média (mm) ao longo das sucessivas décadas do ano, no período 1980/2009, na ilha de Santo Antão...	83
Figura III-17- Precipitações registadas na ilha de Santo Antão nos dias 16 e 17 de Setembro de 1984 .....	84
Figura III-18 - Evolução da precipitação anual média nos sucessivos quinquénios entre 1980 e 2009, na ilha de Santo Antão .....	85
Figura III-19 - Temperatura média mensal (°C) registada nas estações meteorológicas de Lagoa e Lombo de Santa, nos períodos 1988-1998 e 1982-1998, respectivamente. ....	87
Figura III-20 - Velocidade média do vento (Km/hora) em Lombo de Santa.....	87
Figura III-21 - Humidade relativa média mensal (%)em Lombo de Santa (1982-1996); .....	88
Figura III-22 - Carta de Identificação das Comunidades Vegetais da ilha de Santo Antão;.....	89
Figura III-23 - Localização dos pontos de água inventariados entre 2003 e 2008 na ilha de Santo Antão e respectivos caudais diários;.....	91
Figura III-24 – Recursos Hídricos superficiais disponíveis (m3/dia) por Bacias Hidrográfica. ....	93
Figura III-25 - Caudal total de recursos hídricos disponível diariamente por Bacia Hidrográfica (até 2008),.....	95
Figura III-26 - Sobreposição dos pontos de água superficial ao substrato geológico .....	97
Figura IV-1 - Esquema metodológico adoptado na caracterização biofísica da ilha de Santo Antão .....	100
Figura IV-2 - Histograma produzido para a banda 5 da imagem de Satélite Landsat de 2003.....	117
Figura IV-3 - Reflectância da água nas imagens/bandas espectrais / nível de referência (REF). ....	118
Figura IV-4 - Reflectância da água nas imagens/bandas espectrais após correcção radiométrica .....	119

Figura V-1 – Modelo digital de elevação de terreno da ilha, focalizando a região do Paul .....	128
Figura V-2 –Representatividade (%) das classes de altitude na Ilha.....	128
Figura V-3 –Carta hipsométrica da Ilha de Santo Antão” .....	129
Figura V-4 –Representatividade (%) das classes de declive no território;.....	130
Figura V-5 – Carta de Declives da Ilha de Santo Antão. ....	131
Figura V-6 –Representatividade (%) das Classes de morfologia do território;.....	132
Figura V-7 – Carta de morfologia do território. ....	133
Figura V-8. – Carta de Exposição da Ilha de Santo Antão. ....	135
Figura V-9.– Superfície (Km <sup>2</sup> ) das Bacias Hidrográficas mais extensas da ilha. ....	136
Figura V-10.– Carta de identificação das principais Bacias Hidrográficas da Ilha de Santo Antão.....	137
Figura V-11 – Estrutura hidrográfica da região norte da ilha de Santo Antão;.....	139
Figura V-12 –Carta de Densidade Hidrográfica (Km/Km <sup>2</sup> );.....	141
Figura V-13 – Carta de Densidade de fracturação geológica (Km/Km <sup>2</sup> ).....	143
Figura V-14 –Representatividade (%) das classes de precipitação média anual (mm). ....	144
Figura V-15 – Carta de precipitação anual da ilha de Santo Antão, obtida por co-Krigagem (série de 30 anos) .....	145
Figura V-16 – Representatividade territorial das diferentes classes de precipitação média anual (mm/ano) nos sucessivos quinquenios, entre 1980 e 2009.....	147
Figura V-17 – Evolução da estrutura espacial da precipitação mensal média (1980-2009) na ilha de Santo Antão.....	148
Figura V-18 – Evolução da estrutura espacial das classes de precipitação média anual, entre 1980 e 2008 na ilha de Santo Antão.....	149
Figura V-19 - Carta de recursos hídricos superficiais;.....	151

Figura V-20 - Carta de recursos hídricos subterrâneos;.....	152
Figura V-21 - Composição colorida RGB432.....	153
Figura V-22 - Composição colorida RGB541 (simulação de cores reais).....	154
Figura V-23 - Representatividade (%) das classes de ocupação do solo da ilha de Santo Antão.....	156
Figura V-24 - Carta de Ocupação do Solo na ilha de Santo Antão resultante da aplicação de técnicas de Detecção Remota.....	157
Figura V-25 - Área (Km2) ocupada pelas classes de ocupação do solo nas principais bacias hidrográficas.....	159
Figura V-27 - Representatividade (%) das Classes de Índice de Vegetação (NDVI) no território.....	160
Figura V-28 - Carta de Índice de Vegetação (NDVI) na ilha de Santo Antão;	161
Figura V-29 - Carta de Temperatura do Solo em 01.03.2007.....	163
Figura V-30-Rede de amostragem sistemática exemplificando os atributos relativos ao ponto 5. ....	164
Figura V-31 – Imagem resultante da interpolação por co-krigagem dos dados resultantes da análise de componentes principais, representados pela rede de amostragem sistemática.....	170
Figura V-32 – Resultados da Validação do modelo de interpolação .....	171
Figura V-33 – Distribuição espacial dos valores correspondentes aos 8 clusters resultantes.....	171
Figura V-34 – Aplicação do teste “t de Student” aos 8 clusters resultantes....	172
Figura V-35 –Reclassificação da carta apresentada na Figura V-32, adoptando como limite das classes os resultados da análise em clusters .....	175
Figura V-36 –Carta de Unidades Biofísicas da Ilha de Santo Antão obtida por contextualização da carta apresentada na Figura V_32.....	177

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Dados correspondentes a reflectâncias da água nas imagens referentes a diferentes anos e bandas espectrais e reflectância referenciada (Nota: valores expressos em Números Digitais médios). .....	118
Tabela 2 Resultados da Análise de Componente Principais .....	165
Tabela 3: Correlação entre cada variável e cada eixo (selecção do maior valor) .....	165
Tabela 4 Correlação entre os dados referentes à precipitação em diferentes períodos.....	166
Tabela 5: Valores resultantes da análise de CP, considerando as 11 variáveis e cada eixo (selecção do maior valor) .....	167
Tabela 6: Correlação entre as 11 variáveis e cada eixo (selecção do maior valor).....	167
Tabela 7: Valores resultantes da análise de CP relativos a 8 variáveis.....	168
Tabela 8: Correlação entre as 8 variáveis e cada eixo .....	168

## **I. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO**

### **1.1. INTRODUÇÃO**

A ilha de Santo Antão, em Cabo Verde, apresenta uma elevada diversidade morfológica e climática e uma reconhecida vulnerabilidade ambiental, situação agravada pela extrema carência em estudos científicos passíveis de contribuir para uma compreensão integrada dos fenómenos. A par do défice de informação científica, os dados disponíveis encontram-se em diferentes formatos e dispersos por diferentes instituições a nível local, regional e central.

Face aos desafios de desenvolvimento que o País enfrenta em vários domínios, nomeadamente a nível das tecnologias de informação e comunicação, no domínio do planeamento e ordenamento do território a cartografia digital e os sistemas de informação geográfica (SIG) poderão impulsionar os níveis de desenvolvimento já alcançados.

Com efeito, face a evolução tecnológica ocorrida nas duas últimas décadas a nível mundial e alterações profundas em todas as áreas de actividade económica e social, a informação adquiriu uma relevância crescente sendo que o sucesso de muitas organizações depende dos seus recursos em informação e da forma como esses são utilizados para competir no ambiente dinâmico dos nossos dias. A cartografia digital e os sistemas de informação geográfica, impulsionados pelos citados avanços tecnológicos, vêm proporcionando uma crescente capacidade de manipulação de informação espacial, actualização rápida de dados, realização de análises tanto individuais como integradas e, tanto quantitativas como qualitativas. Por outro lado, a sistematização dos processos possibilita análises mais flexíveis, permitindo que se façam variar temas e critérios estabelecidos, assim como integrar novas informações, de modo a introduzir melhorias em modelos construídos num determinado contexto. Este “alargamento de competências” leva a que os SIG sejam, na actualidade, utilizados nas mais diversas áreas da actividade humana, em várias partes do mundo.

No presente trabalho, realizado no âmbito do “Curso de Pós-graduação e Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica”, organizado pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, desenvolve-se um conjunto de metodologias e procedimentos recorrendo a tecnologias de informação geográfica e outras tecnologias associadas, com vista à caracterização biofísica do território na ilha de Santo Antão em Cabo Verde. O tema da dissertação surge da motivação pessoal da mestranda, natural da ilha e, que enfrentou desafios profissionais a nível da gestão dos escassos recursos naturais disponíveis. Não se trata de um constrangimento específico da ilha de Santo Antão mas, de outras ilhas do território nacional, justificando esta contribuição. Todo o trabalho desenvolvido assenta no pressuposto de que, planejar ou gerir um espaço natural, exige uma primeira etapa fundamental, que consiste na caracterização e quantificação dos fenómenos espaciais subjacentes.

Apesar das potencialidades demonstradas pelas ferramentas aplicadas em ambiente SIG na produção de dados espaciais, a multiplicidade de variáveis, evidenciando níveis de correlação entre si de difícil quantificação e, em diferentes unidades de medidas e escalas de valores, tornou complexa a análise integrada dos dados produzidos. Identificou-se assim, o necessário o desenvolvimento de um modelo de integração de dados, cuja análise recaísse sobre variáveis normalizadas e não correlacionados ou seja, variáveis ortogonais. As técnicas de “Análise Estatística Multivariada”, designadamente a “Análise em Componentes Principais” e a “Análise de Clusters”, vêm sendo desenvolvidas e aplicadas nas mais diversas áreas de actividades, permitindo a análise simultânea de múltiplas variáveis. Nesta base, decidiu-se associar às potencialidades das ferramentas SIG as citadas técnicas de análise estatística multivariada, as quais permitiram transformar um conjunto de variáveis correlacionadas entre si, num outro conjunto de variáveis não correlacionadas (ortogonais), as chamadas componentes principais (CP), resultantes de combinações lineares do conjunto inicial e, calculadas por ordem decrescente de importância ou seja, do nível de contribuição que cada CP dá para a explicação da variância total dos dados originais. Complementarmente, a

“Análise de Clusters” constituiu um procedimento utilizado para detectar grupos homogêneos de dados, validados pelo teste “t de Student”.

## **1.2. OBJECTIVOS DO TRABALHO**

Os principais objectivos fixados para o presente trabalho foram:

1. A montagem de um SIG visando a caracterização biofísica da ilha de Santo Antão, através pesquisa e sistematização de dados biofísicos referentes à referida ilha, transformação e compatibilização de formatos e aplicação de diferentes técnicas de geoprocessamento na produção de novos dados;
2. A caracterização biofísica da ilha, através da análise espacial e estatística dos dados;
3. Desenvolvimento e validação de um modelo de integração de variáveis visando a caracterização biofísica da ilha de Santo Antão e, a subsequente disponibilização de um modelo passível de aplicação noutras regiões com características similares, designadamente, outras ilhas do arquipélago de Cabo Verde;
4. A contextualização dos resultados através da análise comparativa das «unidades biofísicas» resultantes do modelo desenvolvido no âmbito do presente estudo e as “grandes unidades da paisagem”, correspondentes a “unidades climáticas”, que integram a “carta de zonagem agroecológica e da vegetação da Ilha de Santo Antão”, cuja elaboração baseia-se na análise visual de factores considerados relevantes e,
5. A disponibilização de uma base de dados geográficos de caracterização biofísica, visando suportar estudos aprofundados sobre o território e subsidiar uma gestão sustentável dos recursos naturais na ilha de Santo Antão.

### **1.3. PRINCIPAIS ETAPAS DO TRABALHO**

Tratando-se de um trabalho de investigação académica, o presente estudo foi desenvolvido em três etapas:

- i) A conceptualização, durante o qual o problema foi identificado, explorado e formulada a hipótese de criação do modelo;
- ii) A construção de um modelo de análise e,
- iii) A verificação, na qual é efectuada a recolha e análise de informações e, retiradas as conclusões.

Esta última etapa envolveu a construção de um SIG visando a caracterização biofísica do território em análise, através da pesquisa e sistematização de dados, a aplicação de técnicas de geoprocessamento e, o desenvolvimento e validação de um modelo de caracterização biofísica.

### **1.4. ESTRUTURA DO RELATÓRIO**

A estrutura do presente relatório procura responder a critérios e regras definidas para trabalhos científicos. Neste sentido, apresenta três níveis: capítulos, secções e subsecções.

A revisão bibliográfica dá início à dissertação propriamente dita, sendo nesse capítulo, apresentada uma panorâmica geral do tema central. Tenta-se, nesse âmbito, clarificar os conceitos, apresentar a evolução histórica recente das ciências subjacentes aos SIG e, colocar a tónica nas técnicas de geoprocessamento consideradas mais relevantes para o desenvolvimento do presente trabalho. São também tratadas, com relativa profundidade, as técnicas de detecção remota e de análise estatística multivariada.

No capítulo dois é apresentada a área de estudo, integrando uma breve caracterização do Arquipélago de Cabo Verde e particularizando a caracterização do espaço físico da ilha de Santo Antão. Nesse âmbito, procurou-se desenvolver uma análise objectiva de diferentes factores biofísicos, baseada em dados existentes, ainda que processados no âmbito do presente trabalho. Destaca-se a apresentação de dados resultantes da

digitalização de algumas cartas temáticas, destacando-se a “carta agroecológica e da vegetação da ilha de Santo Antão”. Não obstante a base empírica subjacente a sua concepção da referida carta, na ausência de outras informações, constituiu uma referência para a análise de um conjunto de factores, nomeadamente geomorfológicos, pedológicos e fitogeográficos. Adicionalmente desenvolve-se um conjunto de análises baseadas em dados numéricos disponíveis, nomeadamente relacionados com os recursos hídricos e alguns elementos climáticos, com destaque para as precipitações registadas na ilha durante os últimos 30 anos. A análise desenvolvida neste capítulo foi auxiliada pela consulta de alguns trabalhos descritivos sobre o tema.

O capítulo três é dedicado à apresentação do material utilizado e os métodos seguidos. Assim, expõe-se a estratégia metodológica adoptada para a produção e análise integrada dos dados, suportada por um esquema metodológico e, fundamenta-se a utilização de ferramentas consideradas adequadas à cada situação em análise.

A caracterização biofísica da ilha é retomada no capítulo quatro, no qual são apresentados os principais resultados alcançados. Nesse capítulo a caracterização da ilha assenta na análise espacial baseada em cartas temáticas produzidas e, na análise estatística dos dados subjacentes. Realçam-se alguns procedimentos utilizados na produção de alguns resultados, tendo-se a preocupação de evitar a repetição de descrição de procedimentos comuns a diferentes dados, nomeadamente relacionadas com as técnicas de interpolação espacial e de detecção remota. Pretendendo-se que o modelo desenvolvido sirva de base à caracterização biofísica de outras regiões com características similares à ilha de Santo Antão, neste ponto os procedimentos são apresentados de forma mais pormenorizada.

Seguidamente, passa-se à exploração da sùmula dos principais resultados obtidos, em particular a verificação das hipóteses formuladas inicialmente. Adicionalmente, apresentam-se os principais constrangimentos enfrentados e limitações do trabalho apresentado e, eventuais trabalhos futuros, suportados pela base de dados resultante do presente trabalho.

Finalmente, são apresentadas as referências bibliográficas, seguindo as normas da APA (American Psychological Association).

## II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Nota introdutória

Tendo em conta que o trabalho se centra na aplicação de metodologias em ambiente SIG, visando o desenvolvimento de um modelo de caracterização biofísica da ilha de Santo Antão e, eventual aplicação noutras ilhas do arquipélago de Cabo Verde, onde o desenvolvimento das tecnologias SIG encontra-se numa fase relativamente incipiente, neste capítulo, apresenta-se de forma, mais simplificada e abrangente possível, a ciência e tecnologias subjacentes. Assim, desenvolve-se alguns conceitos e descreve-se alguns princípios que norteiam a construção dos modelos geográficos. Adicionalmente, face a utilização de técnicas de detecção remota e de análise estatística multivariada, são também apresentados estes dois temas, ainda que de forma simplificada. Algumas informações específicas adicionais serão disponibilizadas ao leitor como anexo ao presente relatório.

### 2.1. INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Os Sistemas de Informação Geográfica (**SIG**) ou *Geographic Information System*, do acrónimo inglês (*GIS*) constituem uma tecnologia recente, fundamentada no uso de dados espaciais e cuja aplicação em diferentes áreas vem crescendo nas últimas décadas. A profunda revolução induzida pelas novas tecnologias, afectou decisivamente a evolução da análise espacial. Em 1990 Tomlin definia um SIG como um recurso para preparar, apresentar e interpretar factos relativos à superfície da Terra, acrescentando que, em termos restritos, poder-se-ia considerar um SIG uma configuração de *hardware* e *software* desenvolvida especificamente para a aquisição, manutenção e utilização de dados cartográficos. Três anos mais tarde Goodchild (1993) complementa esta definição, descrevendo os SIG como sistemas que manipulam dados georreferenciados, mapas temáticos diversos, imagens de satélites, fotografias aéreas, entre outros e que permitem a realização de diversos tipos de análises ambientais. Por sua vez, Câmara (1994), define um SIG como “um sistema informático capaz de reunir, armazenar, manipular e

representar informação referenciada geograficamente, isto é, de acordo com a sua localização”. Este autor acrescenta o conceito dinâmico dos SIG, ao considerar que “um SIG assemelha-se a versão *high tech* do tradicional mapa, ultrapassando em larga escala as suas propriedades estáticas”. Estas definições alargam-se a medida que novas potencialidades dos SIG são exploradas e, em 1998, a ESRI (Environmental Systems Research Institute) definia um SIG como “um conjunto organizado de *hardware*, *software*, dados geográficos e pessoal, destinados a eficientemente obter, armazenar, actualizar, manipular, analisar e exibir as formas de informação geograficamente referenciadas.”

Entretanto, Aranha (2006) chama a atenção para a designação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), actualmente muito utilizada para referir o uso de meios informáticos no tratamento de informação relativa ao meio ambiente e a actividades com ele relacionadas. Sublinha que, o mais importante é sentir a necessidade em utilizar um SIG e saber que objectivo ou objectivos se pretende atingir, antes de se decidir pela montagem de um SIG e a aquisição de equipamentos (*hardware* e *software*).

Llopis (2006) acrescenta que as operações com dados geográficos podem ser abordadas pela utilização de software ou, pelos métodos de processamento e análise de dados, dependendo do caso de aplicação ser mais corrente ou, mais complexo. Aponta as seguintes aplicações dos SIG, como sendo as mais usuais:

- i) Científicas (ciências ambientais relacionadas com o espaço, desenvolvimento de modelos empíricos, modelação cartográfica, modelos dinâmicos e detecção remota);
- ii) De gestão (cartografia automática, informação pública, cadastro, planeamento físico, ordenamento territorial, planeamento urbano, estudos de impacto ambiental, evolução de recursos e, seguimento de actuações) e,
- iii) Empresarial (marketing, estratégias de distribuição, planificação de transportes e localização óptima).

De entre todas as suas potencialidades, diferentes autores sublinham o facto dos SIG permitirem relacionar e integrar informações de diferentes fontes, gerar novas informações e, representar os resultados sob a forma de mapas, de acordo com as necessidades e preferências do utilizador. Ou seja, os projectos desenvolvidos em SIG, apresentam como principal proposta a combinação de dados espaciais com a finalidade de descrever e analisar interações e fazer previsões através de modelos empíricos que forneçam apoio à definição de classes, unidades ou locais de interesse. Permitem separar a informação em diferentes camadas temáticas, armazenando-a de forma independente. Os SIG facilitam a utilização dos dados de modo rápido e simples, facultando operações através da posição e topologia dos dados ou objectos e, gerar nova informação.

## **2.2. A ORIGEM E A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

Howard Fisher, um arquitecto e urbanista norte-americano é apontado, por vários autores, como sendo quem, em 1963, teve a ideia de utilizar um computador para produzir cartografia simples e proceder à sua análise. Goodchild e Kemp (1990) afirmam que, a partir dessa data, Fisher desenvolveu o modelo, associando vários programas de mapeamento dos quais se destaca o *Synagraphic Mapping System* (SYMAP). Este terá sido o primeiro *software* de utilização geográfica difundido com algum sucesso, sendo adquirido por mais de 500 instituições nos EUA, em diversos países da Europa e no Japão. Contudo, o título de precursor é, normalmente, atribuído a Roger Tomlinson, que, em colaboração com a *International Business Machines* (IBM), desenvolveu, no início da década de 60, o *Canada Geographical Information System* (CGIS), com o objectivo de suportar o Inventário Territorial Canadiano. Sendra (1992) acrescenta que o CGIS se mostrou de grande utilidade em trabalhos de inventário, tanto do uso como da ocupação do solo, bem como na gestão do vasto território do Canadá. Acrescenta que, no final dos anos 60, foram apresentados dois novos SIG: O LUNR (*Land Use and Natural Resources Information, 1967, New York*) e o MLMIS (*Minnesota Land Management Information System, 1969, Minnesota*) tendo surgido três novos SIG no princípio dos anos 70: o PIOS (*Polygons Overlay Modelling Information*

System, 1971); o ORMIS (The Oak Ridge Modelling Information System, 1972) e, o STORET (STOrage and RETrival of data for water quality control system).

Para Matos (2008) não é conhecido, com precisão, o momento de introdução do termo Sistemas de Informação Geográfica, considerando que terá ocorrido por volta de 1973. Este autor destaca a realização dos encontros AUTOCARTO desde 1974, o EGIS entre 1986 e 1998, o GIS/LIS entre 1986 e 1998 e, o *Spatial Data Handling* desde 1988, como eventos marcantes na vertente investigação. Complementarmente, este autor considera as revistas *International Journal of Geographical Information Science*, inicialmente com a designação *Systems* no lugar de *Science* e o *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*, referências fundamentais na sustentação de grande parte do conhecimento que se adquiriu neste domínio.

Até à década de 80, as TIC (tecnologias de informação e comunicação) estavam limitadas pelo alto custo do *hardware* e pela reduzida quantidade de pesquisa específica sobre o tema. Os SIG viriam a beneficiar grandemente com a massificação proporcionada pelos avanços da micro-informática e pela abertura de centros de estudos sobre esta temática. Goodchild e Kemp (1990) consideram que, nos EUA, a criação dos centros de pesquisa que formam o *National Centre for Geographical Information and Analysis* (NCGIA) marca o início dos SIG como disciplina científica independente.

Desde então, e impulsionados pelos avanços tecnológicos, regista-se o surgimento de novos SIG, os quais vêm possibilitando uma maior manipulação da informação, actualização rápida de dados, realização de análises, tanto individuais como integradas e tanto quantitativas como qualitativas.

A evolução dos SIG terá ainda beneficiado da evolução das técnicas de aquisição de informação através dos programas de detecção remota baseados em plataformas orbitais. Neste quadro, destacam-se alguns programas com significativo impacto a nível de estudos biofísicos, nomeadamente o programa LANDSAT, cujo primeiro satélite foi colocado em órbita em 1972, e o programa SPOT, iniciado em 1986. Complementarmente, o Sistema Global de Posicionamento (GPS), em operação desde 1985, veio permitir a realização de

operações de posicionamento com crescente eficácia, sendo, presentemente, utilizado de forma generalizada como instrumento de posicionamento para SIG. Este alargamento de competências leva a que os SIG sejam, na actualidade, utilizados nas mais diversas áreas da actividade humana a nível mundial. Contudo, o ritmo de desenvolvimento difere em função dos níveis de desenvolvimento dos diferentes Países.

A nível de Cabo Verde, onde o presente estudo incide, o desenvolvimento das tecnologias de informação geográfica encontra-se numa fase relativamente incipiente, não obstante a influência do desenvolvimento tecnológico no “Mundo Ocidental”.

Destacam-se ainda algumas iniciativas isoladas de algumas instituições que operam a nível da gestão dos recursos naturais, destacando-se alguns Departamentos do Ministério do Ambiente, Desenvolvimento Rural e Recursos Marinhos, os quais vêm desenvolvendo núcleos de SIG objectivando a organização da informação espacial dispersa, a realização de estudos em domínios de intervenção específicos, nomeadamente na implementação de Parques Naturais, inventários florestais, de entre outros.

Realça-se, ainda, alguns estudos académicos desenvolvidos essencialmente na ilha de Santiago, no âmbito dos quais se tem recorrido a tecnologias de informação geográfica para elaborar cartas temáticas. Contudo, os resultados são pouco socializados e, não constituem, até o momento, uma base de apoio à tomada de decisões a nível institucional.

### **2.3. CONSTRUÇÃO DE MODELOS GEOGRÁFICOS**

Construir um modelo geográfico significa representar aspectos da realidade baseada nas suas componentes espaciais. Segundo Freksa (1996), representar conhecimento sobre o mundo é tornar explícitos alguns dos seus aspectos, ignorando outros. Este autor baseia-se no princípio de que é impossível fazer com que todos os aspectos potencialmente interessantes, sejam simultaneamente explícitos.

Existem, actualmente, vários modelos de dados disponíveis para a realização de um modelo geográfico. Os modelos mais comuns são os modelos raster ou matriciais e os modelos vectoriais.

Os modelos **vectoriais** convencionais representam, no essencial, o modelo conceptual da cartografia impressa, apoiando-se em representações bidimensionais compostas por objectos estáticos e com fronteiras bem definidas. Para modelar digitalmente as entidades do mundo real, utilizam-se essencialmente três formas espaciais: o ponto, a linha e o polígono. O ponto constitui o elemento básico da representação vectorial, sendo definido pelas suas coordenadas cartesianas. As linhas são geradas a partir de uma sequência de pontos.

Os modelos **matriciais**, por sua vez, centram-se nas propriedades do espaço, compartimentando-o em células regulares, habitualmente quadrículas. Cada célula representa um único valor. Daí que, quanto maior for a dimensão da célula (resolução), menor será a precisão ou detalhe na representação do espaço geográfico.

A construção de um modelo geográfico para descrição da realidade apresenta diversos problemas, nomeadamente, a diversidade do universo de fenómenos, a dificuldade na caracterização dos fenómenos e a sua especialização. A modelação geográfica resulta, assim, de um compromisso entre sintetizar o conhecimento a partir de um conjunto de dados e, simultaneamente, providenciar a informação com conteúdo tão completo quanto possível com vista a representar o conhecimento sob outro enquadramento de análise. Matos (2008).

A utilização da informação geográfica assenta em três factores distintos e, de importância variável, com o domínio de aplicação: i) os conjuntos de dados geográficos; ii) a operação com dados geográficos, abrangendo métodos de análise e software e, iii) o sistema de informação, considerando as suas componentes informática e institucional. As principais componentes dos dados geográficos, são enumerados na norma ISSO 19131. Nesta vertente, intervêm os sistemas de referência, as estruturas de dados e os métodos de aquisição de informação georreferenciada.

Ao nível do sistema de informação e do enquadramento institucional, intervêm as abordagens de análise estratégica, de gestão e de concretização tecnológica. Esta vertente abrange tudo o que é necessário para uma gestão duradoura de dados geográficos, num contexto institucional e, sob exigentes requisitos funcionais Costa (2006).

### 2.3.1. Principais Etapas do Geoprocessamento

O geoprocessamento integra operações de manipulação, alteração ou extracção de informações. De acordo com Llopis (2006), independentemente do tipo de projecto desenvolvido, existem quatro tarefas que devem ser realizadas: i) Determinação dos objectivos do projecto, baseados na identificação do problema a resolver, análise do problema recorrendo a critérios mensuráveis e determinação das necessidades em dados; ii) Construção da base de dados e preparação dos dados para análise, envolvendo a identificação e obtenção dos dados relevantes, estruturação e implementação da base de dados e manutenção e alteração de dados; iii) Realização de análises, que integra a determinação da metodologia e sequência de operações, o processamento de dados, a avaliação e interpretação dos resultados, adequar as análises e gerar alternativas em função das necessidades e, iv) Apresentar os resultados, criando produtos finais adequados para cada situação. As citadas tarefas são realizadas de forma sequencial, podendo ser esquematizadas como se apresenta na figura seguinte.

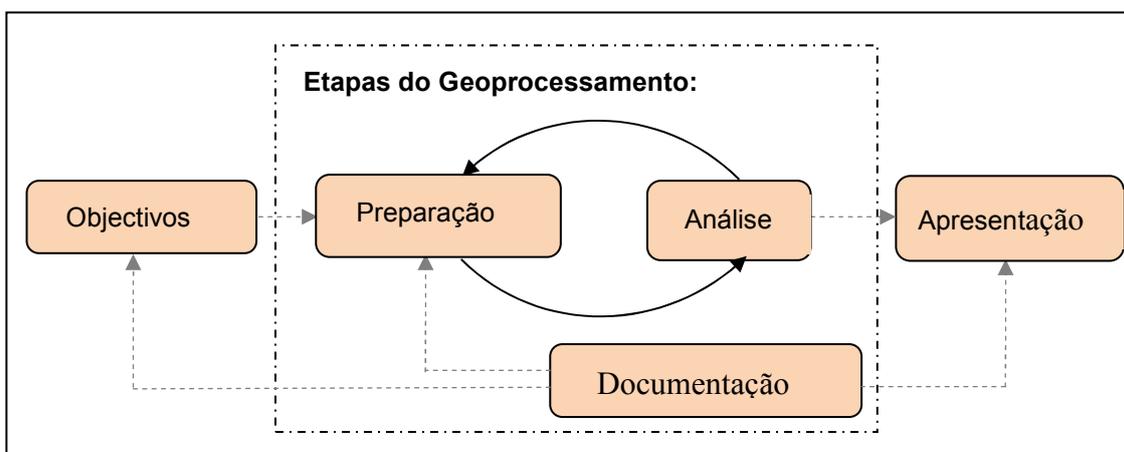


Figura II-1 - Tarefas inerentes ao desenvolvimento de uma base de dados;

Fonte: Adaptado de Llopis (2006)

### **2.3.2. Preparação e introdução de dados num SIG**

Normalmente um SIG funciona como uma base de dados com informação geográfica (dados alfanuméricos) que se encontram associados por identificadores comuns aos objectos gráficos de um mapa digital (dados gráficos). Entre as tarefas mais frequentes inerentes ao desenvolvimento de Projecto SIG, destaca-se a preparação das fontes, integrando a aquisição de mapas e outros documentos, a duplicação das fontes, a clarificação das ambiguidades existentes nessas fontes e, a Introdução e transformação de dados.

Actualmente não existe um formato definido para os dados em SIG. Os fabricantes de software SIG e outras organizações como as Instituições Públicas, vem procurando formatos digitais mais eficazes e versáteis para armazenar a informação geográfica. Cada formato de armazenamento espacial apresenta vantagens e desvantagens, podendo-se escolher o formato que melhor se ajuste às necessidades. A precisão dos dados é, contudo, um requisito essencial, sendo função dos métodos utilizados no processo de captura e/ou produção. Daí a importância de especificação das fontes dos dados que integram um SIG, bem como a análise da sua qualidade e fiabilidade (Llopis, 2006).

O desenvolvimento de um SIG passa, geralmente, pela conversão de mapas pré-existentes para formato digital, compilação de novos mapas, fotografia aérea, imagens de satélite, levantamentos de campo e a criação de novos mapas a partir da análise das bases de dados existentes. A integração de dados disponíveis, em formato analógico nas bases de dados, pode passar pela digitalização (manual ou semiautomática e fotogramétrica), rasterização, associada à geometria de coordenadas ou aos sistemas de posicionamento por satélite, ou transformação de ficheiros já existentes.

Recorre-se à digitalização manual ou semiautomática, quando os mapas disponíveis não podem ser usados sob a forma de *rasters*. Neste caso, os mapas são colocados sobre uma mesa digitalizadora, sendo registados pelo sistema a escala, o ângulo de rotação e a área coberta. Cada tema/*feature* é digitalizado localizando-o com o cursor e clicando no botão adequado.

A digitalização no monitor, recorrendo a diferentes programas como o IGeovec, o Microstation, o Reprographics, o AutoCAD, o Arc Scan e o ArcMap, constitui um procedimento corrente que apresenta alguns constrangimentos passíveis de induzir a erros. Trata-se, efectivamente, de um trabalho cansativo, cuja fadiga do operador pode degradar seriamente a qualidade dos resultados. Neste caso, Llopis (2006) recomenda a fixação do nº de horas de trabalho. Um outro erro apontado, situa-se a nível do número de vértices introduzidos, normalmente superiores ao necessário.

Entre as principais fontes de dados utilizadas em sistemas de informação geográfica, destacam-se as imagens de satélite, as fotografias aéreas e dados recolhidos com receptores GPS.

A fotografia aérea é o método de detecção remota mais antigo e mais amplamente utilizado até a década passada. Aeronaves equipadas com câmaras, sobrevoando a superfície da terra, a altitudes entre os 200 e 15000 metros, captam as informações em série. As fotografias aéreas fornecem assim, um inventário visual instantâneo de uma porção da superfície terrestre e podem ser usadas para elaborar mapas detalhados através de interpretação visual. Nesta interpretação, várias características são utilizadas, nomeadamente a cor, a textura, o tamanho, a forma, o contexto e a semelhança.

O ortofotomapa é uma fotografia aérea rectificada, ou seja, uma fotografia onde são corrigidos os efeitos de perspectiva da projecção central fotográfica e das distorções provocadas pela inclinação da fotografia e ondulação do terreno. Trata-se de um produto cartográfico que reúne as vantagens da fotografia aérea com as vantagens da cartografia convencional. Pode ser interpretada como uma fotografia mas, ao contrário desta, o ortofotomapa tem uma escala constante e permite medir directamente ângulos, distância e áreas. Permite uma fácil e rápida percepção do tipo de uso do solo, da distribuição e da localização dos fenómenos espaciais. Constituem, portanto, uma excelente base cartográfica, sendo também utilizados em diversos tipos de planeamento em que seja necessário rigor espacial, como por exemplo estudos de planeamento e gestão urbana.

A recente disponibilização de imagens registadas por sensores remotos em formato digital, passou a permitir uma rápida integração dos resultados de análises de detecção remota em sistemas de informação geográfica.

Relativamente ao GPS (Sistema Posicionamento Global), constitui um sistema de navegação e posicionamento baseado num conjunto de satélites. Idealizado na década de 60 do século XX para superar constrangimentos relacionados com a gestão individualizada de um grande número de satélites e garantir uma navegação contínua, precisa e mundial (Matos, 200).

Nos últimos anos vêm sendo desenvolvidos aparelhos receptores, para diferentes fins. No âmbito do presente trabalho recorreu-se ao GPS para a recolha de dados espaciais, tendo em atenção o nível de precisão exigido.

No XI.2 é apresentada uma descrição, ainda que sucinta, do novo sistema GPS/NAVSTAR (*Global Positioning System/Navegation by Satellite Timing and Ranging*).

### **2.3.3. Formatos e armazenamento de dados geográficos**

Armazenar dados com a finalidade de substituir um mapoteca analógico por um mapoteca digital, apresenta várias vantagens óbvias, entre as quais pode-se citar a redução do espaço físico, evitar a deterioração dos produtos em papel, possibilidade de rápida recuperação de dados; a possibilidade de produzir cópias sem perda de qualidade, entre outras. Contudo, o adequado armazenamento de dados geográficos em formato digital, constitui uma tarefa importante tanto para a manutenção como para a sua eventual recuperação. A construção de uma base de dados digital é um processo moroso e dispendioso. Os sistemas de armazenamento de dados gráficos devem ser capazes de armazenar grandes volumes de dados, localizar rapidamente os dados e permitir a ligação entre os dados gráficos e os atributos. A transferência dos dados do computador para um meio de armazenamento permanente, para a sua preservação com segurança, constitui uma recomendação corrente dos especialistas em SIG (Llopis, 2006).

Geralmente pode-se armazenar os dados de dois modos distintos: classe de entidades simples ou topológica. Estas classes podem armazenar-se como

uma cobertura ou num *dataset* de entidades de uma geodatabase. Em ambos os casos, a edição de uma classe de entidade terá implicações para as outras classes de entidades relacionadas. Numa *dataset* as relações topológicas estão baseadas numa geometria coincidente. As entidades devem compartilhar uma coordenada “x” e uma coordenada “y” para obter uma relação topológica.

As Geodatabases albergam no seu interior classes de entidades como um único tipo de entidade. Pontos, linhas, polígonos, tabelas, etc., podem-se agrupar facilmente em colecção de classe de entidade chamada *dataset* de entidades ou *Feature Data Set* para separar grupos de dados espaciais, com um mesmo sistema de coordenadas ou, entidades espacialmente dependentes, como se fossem directorias. Uma Geodatabase pode representar dados geográficos de quatro formas diferentes: Objectos discretos através de vectores, fenómenos contínuos através de *raster*, superfícies através de TIN (Triangulated Irregular Network) e, referências a lugares, através de localizações e directorias.

Llopis (2004) chama a atenção para o facto do termo Geodatabase ser utilizado para referir o formato de armazenamento de dados suportados pelo ArcInfo em dois tipos de implementação física: A Geodatabase pessoal, desenhada para projectos de escala menor, armazenado em formato \*.MDB, não necessita de nenhum software adicional para o aceder e manipular os dados, podem ser lidos por vários utilizadores em simultâneo mas, só podem ser editadas por um utilizador de cada vez. As Geodatabases multiutilizadores do ArcSDE, são concebidos para aplicações de projectos maiores, os quais manipulam grandes bases de dados, sendo armazenados em alguns dos formatos suportados por RDBMS (Access, Oracle, BD2, Informix e SQL Server). O ArcSDE permite acesso remoto para vários processos como consultas, *Joins and Relates*.

As aplicações em ArcGIS apresentam a vantagem de suportar vários formatos, sem necessidade de conversão nomeadamente, shapefiles, coberturas, *grides*, *geodatabases*, e dados disponibilizados por internet através do ArcIMS. Adicionalmente, o ArcGIS suporta os três formatos de arquivos do CAD mais comuns (\*.DXF, \*.DWG e \*.DGN), assim como uma grande variedade de formatos de imagens comuns (\*.JPG, \*.TIF, \*.BMP, etc.).

Por outro lado, qualquer formato pode ser exportado para *Geodatabase* (\*.MDB) em ambiente ArcGIS. A *Geodatabase* constitui um modelo de dados desenvolvido para substituir as coberturas e *shapefiles*. Trata-se de um sistema de armazenamento de dados em sistemas de gestão de bases de dados. Este modelo de dados permite a definição dos elementos geográficos por forma a serem modelados em conformidade com o mundo real.

Acrescenta-se ainda que, o ArcGIS proporciona funcionalidades para realizar operações espaciais tais como localizar os objectos que estão próximos, adjacentes ou coincidentes. Através das *Geodatabases*, pode-se impor a integridade dos atributos, mediante domínios e regras de validação.

A par do ArcGIS que constitui a principal base para o presente trabalho, existem outros pacotes de SIG disponíveis actualmente nomeadamente, o Geomedia (Intergraph), o AutoCAD Map (AutoDesk), o Bentley Map (substitui o MicroStation Geographics; Bentley Systems) e outros como o MapInfo, Erdas Imagine, ER Mapper, PCRaster, GRASS, SPRING, Miramon, IDRISI, IDRISI 32.

O SIG da ESRI requer Licenças (Arc View, Arc Editor e Arc Info). Entre os programas e extensões, destacam-se o Arc Map, o 3D Analyst, o Arc Catalog, o Arc Press, o Arc Globe, o Arc Scan, o Arc Reader, o Geostatistical Analyst, o Arc Scene, o Maplex1, o Publisher2, o Spatial Analyst, o Survey Analyst, o Tracking Analyst3 e, o Network Analyst.

O ArcGIS disponibiliza um conjunto de ferramentas para processamento de dados tais como o ArcCatalog, o ArcMap, o ArcToolbox. Este último facilita o acesso a um maior número de ferramentas de conversão, manutenção e análise de dados, processamento de mapas, definição e/ou transformação de sistemas de coordenadas.

#### **2.3.4. Meios de disponibilização de dados geográficos**

As infra-estruturas de dados espaciais constituem a tendência actual para a disseminação de informação geográfica. O termo *Spatial Data Infrastructure* (SDI) surgiu em 1993, tendo sido introduzido pelo US National Research Council O US Federal Geographical Data Committee define uma SDI como o

conjunto de tecnologia, políticas, normas, recursos humanos e actividades relacionadas, necessárias para a aquisição, processamento, uso, manutenção e preservação de dados espaciais no contexto das Instituições Públicas, do sector privado, das organizações sem fins lucrativas e da academia. O conceito de SDI encontra-se em evolução, reflectindo as possibilidades tecnológicas emergentes e um crescente reconhecimento da importância da disseminação da informação geográfica. Este autor acrescenta que, um SDI deve conter, no mínimo, os metadados para pesquisa de informação e a indicação da forma de acesso aos dados, podendo, ainda, conter meios para a visualização dos dados e disponibilização de software para exploração dos dados em modo de visualização. Esta infra-estrutura é, geralmente, enquadrada por instrumentos institucionais que definem a articulação entre instituições, as regras de acesso e, os processos de manutenção. A disponibilização de dados geográficos, especialmente ao utilizador não especializado, interno ou externo à Instituição, actualmente pode ser realizado com simplicidade e eficácia. Existem, basicamente, três possibilidades: distribuição na internet, distribuição em suporte físico (tipicamente CD-ROM) e, combinação das duas. A tendência para a generalidade dos casos é a de acesso à informação através de browsers, com ou sem necessidade de Plug-in. Este tipo de solução requer, do lado do servidor, a programação das funcionalidades e da interface em que, praticamente não são feitas exigências específicas do lado do cliente e, o seu desempenho é, actualmente, condicionado pela velocidade de transmissão de dados na rede (Matos, 2008).

A protecção da informação é, obviamente, simples, em soluções baseadas em rede, uma vez que, a informação propriamente dita pode não sair do servidor.

## **2.4. CARTOGRAFIA E PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS**

De acordo com a *International Cartographic Association* (ICA) a cartografia consiste no conjunto de operações científicas, artísticas e técnicas que, a partir dos resultados de levantamentos directos ou do exame e estudo de documentos, se empregam na elaboração e feitura de mapas, cartas, plantas e outros modos de expressão cartográfica, assim como na utilização das mesmas.

As cartas destinam-se, em geral, a registar e transmitir informação sobre entidades geográficas, naturais ou artificiais, concretas ou abstractas e, sobre as relações espaciais entre elas. O termo escala expressa a relação constante entre as medidas efectuadas sobre um modelo e as medidas homólogas no terreno (Gaspar, 2005).

A inexistência ou a desactualização da cartografia dificulta as acções de planeamento, a distribuição de recursos e a implementação de projectos. Daí a extrema necessidade da existência de cartografia actualizada. O suporte mais usual para a representação de informação é, ainda, as cartas em papel. No entanto, assiste-se um protagonismo crescente da informática na cartografia.

Os SIG têm vindo a provocar mudanças profundas no modo como a informação geográfica é armazenada, representada e explorada (Gaspar, 2005). Destaca-se, neste âmbito, o carácter dinâmico das cartas produzidas em ambiente SIG, capazes de representar a informação permanentemente actualizada, de a seleccionar de acordo com as conveniências e de a explorar através de ferramentas de análise espacial.

A cartografia digital constitui, assim, um meio de manipulação de grandes volumes de informação cartográfica. Entre as vantagens relativamente a cartografia analógica, aponta-se: i) a facilidade de manuseamento das informações contidas, tornando possível a sua actualização e correcção com rapidez; ii) a maior facilidade na reprodução de cartas actualizadas, a diferentes escalas, permitindo a ampliação ou redução para melhor visualização de detalhe; iii) a possibilidade de alteração de símbolos e sinais gráficos, em função do ênfase e do tema em estudo e, iv) a possibilidade de organizar as informações por níveis (layers).

Normalmente, distingue-se a cartografia de base, com carácter generalista, que se destina a uma utilização alargada como documento de referência, integrando a representação de entidades naturais ou artificiais existentes à superfície da Terra, nomeadamente o relevo da superfície, os cursos de água, os aglomerados populacionais e as vias de comunicação bem como, entidades de carácter abstracto tais como, as fronteiras e limites administrativos. É destinada a apoiar actividades diversas nomeadamente, o ordenamento do

território, as engenharias e as actividades militares, a par de constituir o suporte para outros tipos de cartas, nomeadamente, temáticas.

A cartografia temática tem como objectivo representar a informação sobre um assunto específico. Em termos genéricos pode-se mesmo afirmar que qualquer assunto ou tema que apresente aspectos de distribuição espacial, é susceptível de originar uma carta temática, contrariamente a cartografia de base, que segue regras de representação e selecção dos elementos relativamente rígidas.

A construção de uma carta topográfica, ou de qualquer mapa, implica que sejam tomadas algumas opções, nomeadamente relativas à projecção cartográfica a utilizar, ao *Datum* geodésico que as coordenadas geográficas se referem e, à quadrícula cartográfica a implantar. Uma projecção cartográfica define a forma como a superfície da Terra é representada numa superfície bidimensional plana, a superfície de projecção. A aplicação de uma superfície de dupla curvatura (não planificável), como a esfera ou o elipsóide (superfície objecto), numa superfície de curvatura simples (planificável), com o plano, o cilindro ou o cone (superfície imagem), é impossível sem a introdução de deformações que provocam a alteração métrica da informação representada na superfície objecto resultantes. Um sistema de coordenadas é composto pela própria projecção e outros parâmetros de definição adicionais, incluindo as unidades (por exemplo metros ou pés), o meridiano central, possivelmente a zona, dependendo da projecção e, em determinados casos, uma falsa origem. Esta é aplicada a valores de coordenadas para que os dados espaciais fiquem referenciados por unidade positivas (Gaspar, 2005).

Em Cabo Verde, constata-se que, a cartografia disponível adopta, fundamentalmente, dois sistemas de Projecção: o *Universal Transverse Mercator* sobre *World Geodetic System 1984 (UTM WGS84)* e, “Cónica Secante de Lambert. Face a complexidade deste tema, e às dificuldades encontradas no âmbito do presente estudo, considerou-se necessária uma abordagem ao tema, ainda que, de forma superficial e, apresentada como anexo à presente dissertação, colocando ênfase na teoria das Projecções cartográficas, nos critérios mais importantes relacionados com as propriedades

geométricas e analíticas utilizados na classificação e na nomenclatura das projecções de uma forma geral.

## **2.5. MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL**

Constata-se que os fenómenos espaciais estruturados, como os recursos geológicos, os recursos hídricos, os solos, ou a pluviometria de uma região, entre outros têm, regra geral, duas características comuns: serem entidades que se distribuem no espaço de um modo não aleatório, isto é, com uma certa estrutura e a informação disponível ser, normalmente, recolhida em pontos, discretos e, não raras vezes, escassos, o que faz com que, ao seu conhecimento global esteja sempre associada uma certa ideia de incerteza.

Soares (2006) considera que, para a quantificação das características de um recurso natural ou fenómeno espacial, é necessário dispor de modelos que permitam inferir sobre as grandezas, ou fenómenos, no espaço não amostrado, a partir da informação disponível. Este autor acrescenta que os modelos físicos deterministas que caracterizam completamente um dado fenómeno através das variáveis e parâmetros do próprio modelo são, infelizmente, pouco atractivos para a quantificação daqueles fenómenos espaciais pois, apesar de estes terem uma certa estrutura espacial, existe sempre associado à sua quantificação a noção de incerteza. Cita os casos de um aquífero subterrâneo e de um reservatório petrolífero em que, o escoamento do fluido (água ou óleo) pode ser determinado por leis físicas precisas, como por exemplo a lei de Darcy de escoamento em meios porosos. No entanto, considera que em presença de um meio geológico heterogéneo, o modelo de escoamento é perfeitamente inútil face à incerteza ligada a forma e características petrolíferas das diferentes formações geológicas por onde circula o fluido.

Matos (2008) complementa, dividindo os métodos de interpolação espacial em dois grupos, determinísticos e probabilísticos, baseando-se ambos, numa matriz parcialmente preenchida ou num conjunto vectorial de pontos com um valor associado e tendo, como objectivo, a obtenção de valores para as células não preenchidas. Este autor afirma. Ainda. que, para um mesmo conjunto de localizações e valores, a superfície obtida por interpolação difere consoante o método adoptado ou seja, diferentes métodos podem proporcionar melhores ou

piores estimativas, conforme o tipo de aproximação aos valores experimentais, residindo o sucesso da interpolação, em grande medida, na possibilidade da aplicação do conhecimento que se possa inferir sobre a distribuição espacial dos dados.

### **2.5.1. Métodos determinísticos**

Os métodos determinísticos ajustam a superfície ao conjunto de valores pontuais tendo, genericamente em consideração que o que está mais próximo deve ser mais semelhante entre si, do que o que está mais distante, não tendo em consideração a correlação espacial entre os valores e as características particulares da sua distribuição.

Existem, actualmente, várias funções determinísticas de interpolação. A mais simples baseia-se na afectação, do valor associado ao ponto, ao polígono do “diagrama de Voronoi” no qual está inserido, aceitando-se que o valor é constante nesse polígono. Este método está fortemente enraizado nalguns domínios de aplicação, nomeadamente a hidrologia. A interpolação baseada numa triangulação, consiste no cálculo do valor para uma dada posição, em função da equação do plano, definida para os três pontos mais próximos. Este sistema de triangulação considera que o comportamento da variável é aproximadamente linear entre os pontos amostrados. Apesar da aplicação dos métodos de interpolação espacial ser mais comum na geração de superfícies com estrutura matricial, as redes irregulares de triângulos constituem um dos exemplos mais notáveis de método de interpolação linear (Matos, 2008).

A triangulação é um processo fundamental na construção de modelos de terreno. A superfície é modelada por um conjunto de faces trianguladas. A altitude de qualquer ponto abrangido pelo modelo é definida pela altitude do ponto da face triangular em que se insere o que corresponde a uma interpolação bi-linear dentro de cada triângulo. A superfície assim gerada é designada por RIT (Rede Irregular triangulada) ou TIN (Triangulated Irregular Network) e representa um Modelo Digital do Terreno (MDT). A representação do terreno em perspectiva é especialmente intuitiva. A representação tridimensional associada à possibilidade de implantação de objectos sobre o terreno oferece resultados gráficos interessantes, sendo possível simular, com

algum realismo, o ponto de vista de um observador sobre o terreno. Entre as aplicações dos MDT, as cartas hipsométricas constituem formas de representação do relevo de grande legibilidade. Para a sua elaboração, são definidas classes ou intervalos de cotas com a finalidade de diferenciar zonas de altitude ou, apenas, uma representação sugestiva do terreno (Matos, 2008).

### **2.5.2. Métodos probabilísticos**

Nos métodos probabilísticos, é adoptado o formalismo das funções aleatórias, sendo analisada a auto-correlação espacial entre os valores pontuais, com vista a modelar a variabilidade espacial do fenómeno dentro da área de estudo. Esta análise envolve cálculos estatísticos básicos, como a média e a variância, e a sua comparação para diversas zonas e direcções do espaço.

Segundo Soares (2006), o facto destes modelos incorporarem a incerteza na sua conceptualização, não significa que o fenómeno em si tenha resultado de um processo aleatório, servindo apenas de base metodologia à inferência espacial ou estimação de grandezas em áreas não amostradas e à quantificação da incerteza associada ao estimador. Um processo estocástico é, no contexto deste modelo, um modo de abordagem do conjunto de dados provenientes das amostras experimentais, que admite modelação espacial por parte do utilizador.

Neste sentido, o primeiro passo, na modelação geoestatística, consiste na concepção de um processo aleatório que melhor caracterize o conjunto de dados experimentais das amostras ou observações. Ou seja, conceber um processo estocástico não implica a caracterização do conjunto total de variáveis aleatórias e as funções de distribuição multivariadas, mas sim e, tão somente, a selecção de um número restrito de parâmetros que, conjuntamente com algumas hipóteses de partida, permitem a inferência espacial.

Constata-se que as decisões sobre a adaptabilidade de um modelo a um determinado caso real, podem ser mais ou menos objectivas, dependendo do propósito do estudo. A partir do momento em que se adopte um determinado modelo, como por exemplo as funções aleatórias para caracterizar um conjunto amostral e o processo subsequente de inferência espacial, recomenda-se um afastamento sistemático entre o modelo e a realidade, no sentido de validar

esta relação. Isto significa que em todas as etapas de um processo de tratamento de um conjunto de dados, que representam parte da realidade, tem de haver um constante recuo ao fenómeno físico, com o objectivo de avaliar e validar o modelo como apropriado ao caso de estudo.

A geoestatística integra um conjunto de aplicações, nomeadamente a análise da homogeneidade dos valores da amostra, a inferência do modelo de variograma e a estimação por krigagem. Os interpoladores de Daniel Krige, denominados genericamente por Kriging, foram incorporados na metodologia geoestatística por Georges Matheron nos anos 60 do século passado. A co-krigagem constitui um procedimento geoestatístico segundo o qual diversas variáveis regionalizadas podem ser estimadas em conjunto, com base na correlação espacial entre si. Constitui, em si, uma extensão multivariada do método de krigagem quando, para cada local amostrado se obtém um vector de valores em vez de um único valor. Existindo um grau de correlação significativa, os valores ausentes de uma variável sub-amostrada (variável principal ou primária), pode-se melhorar a estimativa utilizando outras variáveis mais densamente amostradas (Matos, 2008).

Soares (2006) considera que o interesse do estudo da dependência espacial de diferentes variáveis, relaciona-se com a necessidade de, por vezes, ter de se recorrer a uma variável auxiliar para se estimar uma variável principal, com a qual está correlacionada. Este processo obriga a ajustar o variograma através de uma curva média e inferir sobre a relação entre o afastamento das amostras e a variação dos valores, para toda a área e para toda a gama de valores, a partir dos valores conhecidos experimentalmente. Esta etapa é extremamente importante dentro da metodologia geoestatística pois é neste ponto que se faz a síntese das características estruturais do fenómeno espacial (grau de dispersão, continuidade, anisotropia, imbricamentos), num modelo único e coerente de variograma. Significa que o ajustamento do variograma experimental por um modelo teórico é, normalmente, condicionado pelo conhecimento pericial que se tem de continuidade espacial representativa do fenómeno em estudo (Soares, 2006).

## 2.6. DETECÇÃO REMOTA

### 2.6.1. Fundamentos da detecção remota

A detecção remota baseia-se no princípio de que toda a radiação electromagnética apresenta propriedades fundamentais, comportando-se de forma previsível, de acordo com a teoria das ondas<sup>1</sup>. O processo é conseguido através de uma série de etapas que passam pela detecção e gravação da energia reflectida ou emitida pelos objectos, posterior processamento, análise e aplicação da informação registada. Os sensores captam as fracções do espectro de energia electromagnética reflectida ou emitida, proveniente dos objectos dispostos sobre a superfície terrestre, convertendo-as numa imagem em papel ou num sinal numérico digital (Lopes, 1999).

No caso dos sinais numéricos digitais, pode-se proceder à sua interpretação por computador onde é utilizado o padrão de resposta espectral, frequentemente designado como assinatura espectral. Esta corresponde à descrição do grau em que a energia é reflectida em diferentes regiões do espectro. Encontrar padrões de resposta espectral distintos é a chave para a maior parte dos procedimentos de interpretação de imagens de detecção remota auxiliada por computador.

As bandas espectrais que carregam a maior parte da informação sobre o ambiente natural, são as correspondentes aos comprimentos de onda do infravermelho próximo e do vermelho (Eastman, 1998). Dada a importância destas bandas, estão sempre presentes nos sistemas de sensores projectados para o monitoramento de recursos naturais. A inclusão de outras bandas depende da gama de aplicações pretendidas. Muitos sistemas incluem a banda do verde pois, conjuntamente com as outras duas, permite produzir composições a falsa cor tradicional (uma imagem em cor plena, derivada das bandas do verde, vermelho e infravermelho, em oposição às bandas do azul, verde e vermelho de imagens em cor natural). Este formato tornou-se comum com o advento da fotografia infravermelha colorida.

---

<sup>1</sup> O sol produz um espectro contínuo de energia que vai desde os raios gama (comprimentos de onda mais curtos) até as ondas rádio (comprimentos de onda mais longos) e, que irriga a terra de energia. O espectro electromagnético é muito amplo mas, apenas algumas regiões são particularmente úteis para a detecção remota.

Colwell (1974) considera que a discriminação da vegetação está fortemente dependente da reflectância do estrato junto ao solo e, do contraste entre radiações da vegetação com a dos restantes elementos do pixel. Por esta razão se afirma que, alguns comprimentos de onda são mais eficientes do que outros na discriminação da vegetação fotossinteticamente activa.

### **2.6.2. Técnicas de processamento de imagens**

O processamento de imagens de Detecção Remota (DR) tem como objectivo a extracção de informação qualitativa e/ou quantitativa necessária para determinadas aplicações tais como, elaboração ou actualização de cartografia, monitorização de fenómenos naturais (cheias, erosão, etc.) ou artificiais (ocupação do solo urbano, evolução de culturas agrícolas, etc.), entre outros (Fonseca e Fernandes, 2004).

De acordo com Lillesand e Kiefer (1987), o processamento de imagens envolve uma série de metodologias e de técnicas que visam transformar a informação digital em produtos que podem ser utilizados em várias aplicações, envolvendo a manipulação e a interpretação de imagens digitais, podendo ser divididos em quatro fases: i) Restauração e rectificação; ii) Realce; iii) Classificação e, iv) Associação de dados.

Fonseca e Fernandes (2004) consideram que as operações de processamento de imagens se dividem em operações de pré-processamento, de transformação e de exploração da imagem. O pré-processamento corresponde à primeira fase do processamento de imagens, compreendendo operações preliminares às principais análises, como sejam as correcções radiométricas e geométricas, as quais visam a eliminação de distorções.

A correcção das distorções radiométricas tem como finalidade corrigir os valores dos Níveis Radiométricos (NR) dos elementos da imagem que, devido a influências externas como a difusão e a dispersão da radiação electromagnética, não são proporcionais às radiâncias dos respectivos objectos. Com esta correcção, calibra-se a imagem de modo a verificar uma

---

relação perfeita entre o nível radiométrico registado pelo sensor e o fluxo energético que ele recebeu, em todos os pixéis que constituem a imagem.

O desenvolvimento de técnicas digitais para a correcção, realce e interpretação de imagens de detecção remota auxiliada dos meios informáticos ocorreu de forma independente e, de certa forma, mais avançada do que o desenvolvimento dos sistemas de informação geográfica (Matos, 2008).

Tendo as imagens estrutura de dados *raster*, e sendo muitos dos procedimentos envolvidos nestes sistemas de processamento (Image Processing Systems – IPS) idênticos aos envolvidos em SIG com estrutura raster, tem-se tornado comum a produção de pacotes de processamento de imagens adicionadas às capacidades mais gerais de análise de SIG. O IDRISI32 constitui um software desenvolvido nesta perspectiva, combinando os sistemas de informação geográfica e o processamento de imagens (Eastman, 1998).

A geometria da imagem pode também ser afectada por diversos erros, originados pela variação da velocidade do satélite, variações na altitude do satélite e, variações do relevo. A realização de ortorectificação, elimina o efeito da distorção geométrica provocada pelo relevo, requerendo para tal, um modelo digital de terreno. As imagens fornecidas comercialmente, normalmente já estão georreferenciadas, ortorectificadas e corrigidas radiometricamente. Em determinadas situações, o utilizador tem de desenvolver estas operações, principalmente quando procede a análises temporais.

### **2.6.3. Transformação de Imagens**

O processamento digital de imagens disponibiliza várias possibilidades de transformação de dados, destacando-se o cálculo de índices de vegetação, composições coloridas e a análise em componentes principais.

O cálculo de índices de vegetação constitui uma das aplicações mais usuais de combinações matemáticas de bandas espectrais. Existe uma grande variedade de índices de vegetação que têm sido desenvolvidos em diferentes estudos para auxiliar o monitoramento da vegetação. A maior parte é baseada na

interacção entre a vegetação e a radiação electromagnética nos comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo (0,6 – 0,9  $\mu\text{m}$ ).

Lopes (1999) define os índices de vegetação como combinações matemáticas de determinados comprimentos de onda, constituindo indicadores sensíveis da presença e estado da vegetação. Podem, assim, representar-se como combinações lineares, ortogonais ou associações de quocientes de reflectâncias ao nível do verde e/ou vermelho (R) e infravermelho próximo (IR). Este autor considera ainda que, de entre as principais vantagens na aplicação dos índices de vegetação, destaca-se o facto de permitirem dissipar os efeitos dos denominados factores de perturbação (as condições atmosféricas, a geometria da medição, as propriedades ópticas do solo, o estrato arbóreo e arbustivo).

A equação utilizada no cálculo do NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) é  $\text{NDVI} = (\text{IR} - \text{R}) / (\text{IR} + \text{R})$ . A função é aplicada directamente sobre cada par de pixeis, a nível das bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Esta combinação baseia-se no conhecimento de que a vegetação apresenta uma intensa absorção na região do vermelho, devido à clorofila e, uma intensa reflectância na região do Infravermelho próximo devido, fundamentalmente, a estrutura interna celular da folha. Com este índice, produz-se uma escala de valores que se situa no intervalo entre -1 e 1, indicando os valores mais altos, uma maior presença de vegetação, e os resultados demonstram boa correlação com as medidas de biomassa no terreno. O NDVI<sup>2</sup> constitui um dos índices de vegetação mais utilizados no monitoramento da vegetação, sendo aplicado na construção de perfis sazonais e temporais das actividades da vegetação, permitindo assim, comparações e correlações futuras. Algumas instituições internacionais como a FAO (United Nations Food and Agricultural Organization), o ARTEMIS (Sistema em Tempo Realde Alerta contra a Fome do USAID (Famine Early Warning System) recorrem aos índices de vegetação NDVI para a previsão da produção alimentar e, eventual prevenção de carências, nomeadamente nas regiões semi-áridas e áridas do Continente Africano. (Matos, 2008)

---

<sup>2</sup> Índice da vegetação da diferença normalizada,

Relativamente a análise em componentes principais (PCA), constitui uma técnica de transformação linear baseada na análise factorial. Para um conjunto de bandas espectrais de uma imagem, a técnica PCA produz um novo conjunto de imagens designadas componentes, não correlacionadas entre si e, ordenadas em termos da variância do conjunto de bandas originais que explicam. Este tema será aprofundado na secção 4.5 tendo em conta, a sua importância no âmbito do presente estudo. Na detecção remota a técnica PCA tem sido aplicada no monitoramento ambiental. Nos casos em que as imagens multi-espectrais estão disponíveis para diferentes datas, as bandas das imagens são submetidas à PCA, como se todas fossem provenientes da mesma imagem. As alterações entre duas datas tendem a ser evidenciadas nas últimas componentes (Reis, 1997).

É possível também demonstrar, através de técnicas de análise de componentes principais que, na maioria dos ambientes, as bandas espectrais que carregam a maior parte da informação sobre o ambiente natural, são as correspondentes aos comprimentos de onda do infravermelho próximo e do vermelho (Eastman, 1998).

#### **2.6.4. Realce de Imagens**

Esta técnica é aplicada com o objectivo de modificar, através de funções matemáticas, os níveis de cinza ou os valores digitais de uma imagem, de modo a destacar certas informações espectrais e a melhorar a qualidade visual da imagem, facilitando, assim, a análise e fotointerpretação. Destacam-se as técnicas de *ampliação de contraste, composição colorida e combinações matemáticas*.

Na ampliação de contrastes, parte-se do princípio que os níveis de cinza de uma imagem obtidos pelos sistemas sensor, não ocupam todo o intervalo de valores possíveis. Através de transformação matemática, o intervalo original é ampliado para toda a escala de níveis de cinza ou números digitais disponíveis (0 a 255), existindo várias opções de transformação, sendo a mais comum, a linear.

A composição colorida trata-se de um dos artifícios mais comuns na interpretação das informações de imagens de satélite pois, permite uma melhor

identificação e discriminação de objectos<sup>3</sup>. As composições baseiam-se nas cores primárias (vermelho, verde e azul), correspondentes a bandas espectrais. A composição colorida permite uma melhor identificação e discriminação de objectos pois, o olho humano é capaz de discriminar mais facilmente matizes de cores do que tons de cinza.

### **2.6.5. Classificação de imagens**

A classificação de uma imagem baseia-se na assinatura espectral dos objectos, que depende de vários factores, nomeadamente a sua composição, temperatura e humidade. Nesta base são desenvolvidas operações matriciais que visam a obtenção de imagens com um reduzido número de valores, derivadas das iniciais, onde cada valor corresponde à identificação de um determinado fenómeno ou objecto.

Com se pode observar na figura seguinte, as reflectâncias de alguns elementos da paisagem, designadamente o solo, a água e vegetação diferenciam-se e variam para os diferentes comprimentos de onda:

- Os comprimentos de onda longos da radiação visível e infravermelho próximo, são mais absorvidos pela água, comparativamente aos comprimentos de onda do visível, os quais são mais curtos. Este facto facilita a distinção deste elemento nessa região do espectro;
- Na região do vermelho verifica-se uma elevada absorção de energia pelas plantas, fenómeno relacionado com absorção da energia pela clorofila. Daí que esta banda seja a que melhor permite distinguir entre superfícies com e sem vegetação. Por outro lado, a reflectância deste objecto aumenta significativamente na região do infra-vermelho próximo, fenómeno que, segundo Lopes (2007) está relacionado com a estrutura interna das folhas, as quais agem como um reflector difuso;
- O solo tende a apresentar uma reflectância elevada em todas as faixas do espectro, aumentando com o comprimento de onda de forma aproximadamente contínua. Lopes (2007) considera que neste caso os níveis

---

<sup>3</sup> O olho humano é capaz de discriminar mais facilmente matizes de cores do que tons de cinza.

de reflectância dependem de factores como os seus constituintes e o índice de humidade.

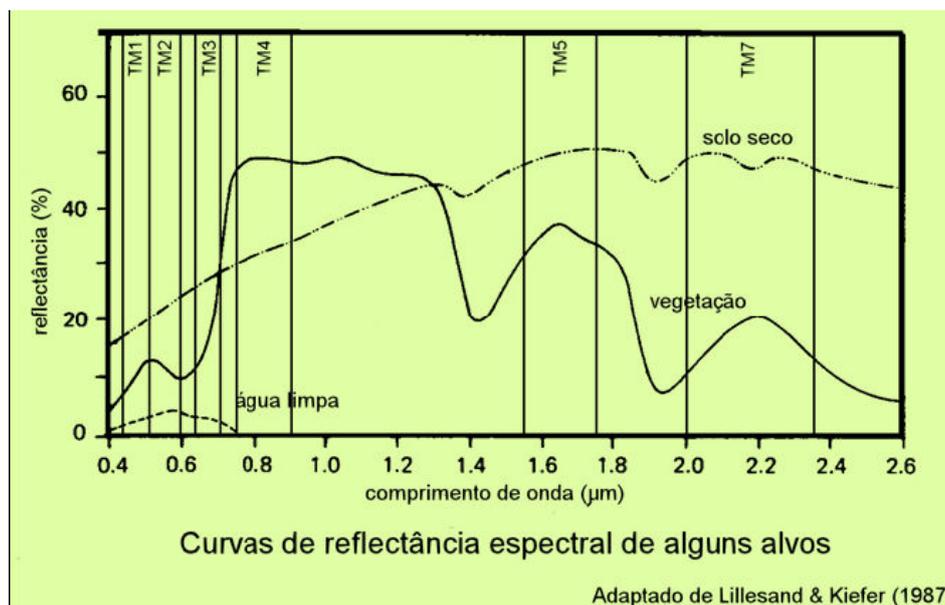


Figura II-2 - Curvas de Reflectância de alguns objectos;

Fonte: <http://www.ptr.poli.usp.br/labgeo/graduacao/ptr321/material2/Principio de SensoriamentoRemoto.pdf>

A classificação pode ser feita por processos directos, não assistidos, ou por processo estatísticos, assistidos pelo utilizador. A classificação não assistida é automática e resulta na classificação directa da imagem, tendo o utilizador de dizer apenas quantas classes quer. Num processo mais avançado, pode ser feita através da análise em clusters, sobre uma composição colorida de bandas. Apresenta como principal vantagem o facto do analista, sem conhecimento prévio extensivo da região, poder desenvolver o processo de classificação. Contudo, os resultados apresentam baixa fiabilidade e é necessário o conhecimento mínimo da região na análise dos resultados obtidos, a fim de atribuir às classes criadas tipos de ocupação do solo.

A Classificação assistida é um método de classificação através do qual o analista instrui ao sistema para seleccionar ou identificar características numa imagem, obtendo os exemplos espectrais que são alimentados, a fim detectar todas as áreas espectrais similares. Neste processo de classificação, os valores (números digitais – do inglês *digital number* – DN) de cada pixel na imagem são comparados com as estatísticas representativas derivadas de

áreas de treino. Os pixéis previamente identificados são atribuídos à classe de treino com maior similaridade.

De acordo com Campbell (2005) existe um número de características chaves para a escolha das áreas de treino: i) número de pixéis (pelo menos de 100 pixéis para cada categoria); ii) dimensão (devem ter, no mínimo, 4ha (10 mas, preferivelmente, ter 16ha; iii) posição (devem posicionar-se por forma a favorecer a transferência exacta da sua disposição na imagem; iv) uniformidade (algumas classes informativas não são particularmente uniformes e não são convenientemente representadas, por uma única amostra).

## **2.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA**

Estabelecer relações, encontrar ou propor leis explicativas é o papel da própria ciência. Para isso é necessário controlar, manipular e medir as variáveis que são consideradas relevantes ao entendimento do fenómeno analisado. Muitas são as dificuldades em traduzir as informações obtidas em conhecimento. A maior delas é de natureza epistemológica: a ciência não conhece a realidade, apenas a representa através de modelos e teorias dos diversos ramos de conhecimento. Outra dificuldade é a aspiração de universalidade das explicações científicas. Ora, isto implica e condiciona a pesquisa a uma “padronização” metodológica. Um aspecto essencial desta padronização é a avaliação estatística da informação. Esta simplificação tem vantagens e desvantagens. Quando um fenómeno depende de muitas variáveis, geralmente este tipo de análise falha pois, não basta conhecer estatísticas isoladas. É necessário também conhecer a totalidade da informação fornecida pelo conjunto de variáveis. As relações existentes entre as variáveis são de difícil percepção e assim, relações antagónicas ou sinérgicas de efeito mútuo entre variáveis, podem complicar a interpretação do fenómeno a partir das variáveis consideradas. Porém, no caso restrito de variáveis independentes entre si, é possível, com razoável segurança, interpretar um fenómeno complexo usando a informação estatística de poucas variáveis. As informações estatísticas mais relevante, neste tipo de análise, são as medidas de tendência central e de dispersão dos dados (Neto, 2004). No caso das variáveis biofísicas em análise, factores como a latitude, a altitude e a proximidade ao mar interferem no clima

e, da conjugação dos citados factores e dos elementos do clima (temperatura do ar, pressão atmosférica, regime de ventos, evapotranspiração, humidade, nebulosidade e precipitação) é que resulta o clima de qualquer região.

### **2.7.1. Análise em componentes principais**

A análise em componentes principais é um método estatístico multivariado que permite transformar um conjunto de variáveis correlacionados entre si, num outro conjunto de variáveis não correlacionadas (ortogonais), as chamadas componentes principais. Estas resultam de combinações lineares do conjunto inicial, sendo calculadas por ordem decrescente de importância, isto é, a primeira explica o máximo possível da variância dos dados originais, a segunda o máximo possível da variância ainda não explicada e assim sucessivamente. A última componente será a que menor contribuição dá para da variância dos dados originais (Reis, 1997).

Tendo em conta que a combinação linear explica o máximo possível da variância não explicada e, terá de ser ortogonal à qualquer outra combinação não definida, o conjunto de todas as combinações encontradas constitui uma solução única. Na análise em componentes principais, contrariamente a outros tipos de análise factorial, não existe a necessidade de testar a existência de factores subjacentes. Infelizmente os dois métodos alternativos resultam, em geral, em diferentes componentes principais e em diferentes proporções da variância total explicada por cada uma delas. Para a resolução deste tipo de problema (a inconstância das componentes principais perante alterações das escalas de medida das variáveis), existem duas vias: i) tentar que todas as variáveis estejam definidas na mesma unidade de medida, o que nem sempre é possível ou, ii) centrar e reduzir (normalizar) todas as variáveis para que tenham variância unitária e encontrar as componentes principais a partir da matriz de correlações (Reis, 1997).

### **2.7.2. Análise em clusters**

Este método de análise procede ao agrupamento de indivíduos para as quais existe informação sobre determinadas variáveis, de tal modo que, os indivíduos pertencentes a um mesmo grupo sejam tão semelhantes entre si quanto

possível e, sempre mais semelhantes aos elementos do mesmo grupo do que os a elementos dos restantes grupos. Este método é também designado por método de partição, classificação ou taxonomia (Reis, 1997).

Genericamente, a análise de clusters compreende cinco etapas:

- i) A selecção de indivíduos ou de uma amostra de indivíduos a serem agrupados;
- ii) A definição de um conjunto de variáveis a partir das quais será obtida a informação necessária ao agrupamento dos indivíduos;
- iii) A definição de uma medida de semelhança ou distância entre cada dois indivíduos;
- iv) A escolha de um critério de agregação ou desagregação dos indivíduos, isto é, a definição de um algoritmo de partição/classificação e, v) a validação dos resultados encontrados.

A validação dos resultados exige a utilização de um aplicativo adicional, sendo normalmente utilizado o teste “t de Student”.



### III. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### Nota introdutória

A maior parte da informação apresentada neste ponto, existia em formato analógico ou seja, em papel (mapas, tabelas, relatórios, etc.). Assim, o início do trabalho consistiu na recolha, e processamento dessa informação, e na criação da base do Sistema de Informação Geográfica que constitui a presente dissertação de mestrado. Dada a necessidade de se fazer a apresentação da área de estudo, e o enquadramento da mesma, antes de se apresentar os capítulos relativos ao *Material e Métodos* e à *Apresentação e Discussão dos Resultados*, poderia ficar pouco explícito para o leitor, a origem da informação apresentada neste ponto. Gostaria, pois, de realçar que a maior parte da informação apresentada neste ponto constitui resultados obtidos durante a execução da componente prática da dissertação de mestrado, cuja metodologia é apresentada no capítulo IV e cujos resultados são discutidos no capítulo V.

#### 3.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

O arquipélago de Cabo Verde situa-se no Oceano Atlântico, a aproximadamente 333,3 milhas da Costa Ocidental da África, entre os paralelos 14°48'00 e 17°12'13'' Norte e, os meridianos 22°23'59'' e 25°20'40'' Oeste. É constituído por 10 ilhas e 8 ilhéus, normalmente organizados em dois grupos em função da posição geográfica relativa aos ventos Alísios do Nordeste: O grupo de **Barlavento** (do lado de onde sopra o vento) e, o grupo de **Sotavento** (do lado para onde o vento). O arquipélago totaliza uma superfície territorial de 4.033 km<sup>2</sup>, sendo a extensão da linha de costa correspondente a aproximadamente 1.020Km. Dispõe adicionalmente de uma zona económica exclusiva (ZEE) de 734.265 Km<sup>2</sup> (Bravo de Laguna, 1985).

Situando-se numa região elevada do actual fundo oceânico, que faz parte da "Crista de Cabo Verde" ("Cape Verde Rise"), a vizinhança das ilhas corresponde a um domo com cerca de 400Km de largura. Analisando a carta batimétrica da região, constata-se que as ilhas se elevam de um soco submarino em forma de ferradura, situado a uma profundidade de,

aproximadamente, 3.000 metros, de onde emergem três pedestais bem distintos. A Norte, compreende as ilhas de Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia e São Nicolau e, os ilhéus Boi, Pássaros, Branco e Raso. A Leste e a Sul, compreende as ilhas do Sal, Boa Vista, Maio e Santiago e, os ilhéus Rabo de Junco, Curral de Dadó, Fragata, Chano, Baluarte e de Santa Maria. A Oeste, agrupam-se as ilhas do Fogo e da Brava e os ilhéus Grande, Luís Carneiro e de Cima (Gomes e Pina, 2003).

Em termos climáticos, o arquipélago integra a extensa faixa de climas áridos e semi-áridos em plena região Saheliana, entre as altas pressões subtropicais do Atlântico e as baixas pressões equatoriais da frente inter-tropical. Por outro lado, conjuntamente com os Arquipélagos da Madeira, dos Açores e das Canárias, Cabo Verde integra a região biogeográfica da Macaronésia.

A ilha de Santo Antão é a mais ocidental e setentrional do arquipélago, situando-se entre as coordenadas cartográficas: 16°54'07'' e 17°12'13'' Norte e, 22°23'59'' e 25°20'40 West. Apresenta uma forma grosseiramente rectangular, sendo a extensão longitudinal e meridional de aproximadamente 40 e 22 km, respectivamente. A superfície territorial<sup>4</sup> calculada no âmbito do presente estudo, tomando como base limite da ilha disponibilizado pela DGOT e, recorrendo a funções do ArcGIS, corresponde a 785 Km<sup>2</sup>.

Administrativamente Cabo Verde organiza-se actualmente em 22 Municípios, distribuídos pelas 9 ilhas habitadas. A ilha de Santiago é a maior em extensão, integra a capital do país (Praia), um dos 9 Municípios da ilha. Santo Antão divide-se em 3 Municípios, nomeadamente: do Porto Novo, com 562,8 Km<sup>2</sup> (71,7% do território), da Ribeira Grande, com 167,6 Km<sup>2</sup> (21,4% do território) e do Paúl, com 53,9 Km<sup>2</sup> (6,9% do território).

Destaca-se ainda a divisão em Freguesias, dividindo-se o Município de Ribeira Grande em três Freguesias (Santo Crucifixo, Nossa Sra. Do Livramento e São Pedro Apóstolo) e do Porto Novo em duas (Santo André e São João Baptista). Paúl corresponde a uma única Freguesia (Santo António das Pombas).

---

<sup>4</sup> Tradicionalmente é atribuída à ilha uma superfície correspondente 779 Km<sup>2</sup>. Esta diferença pode dever-se a diferentes métodos de medição ou, a diferentes níveis de marés.

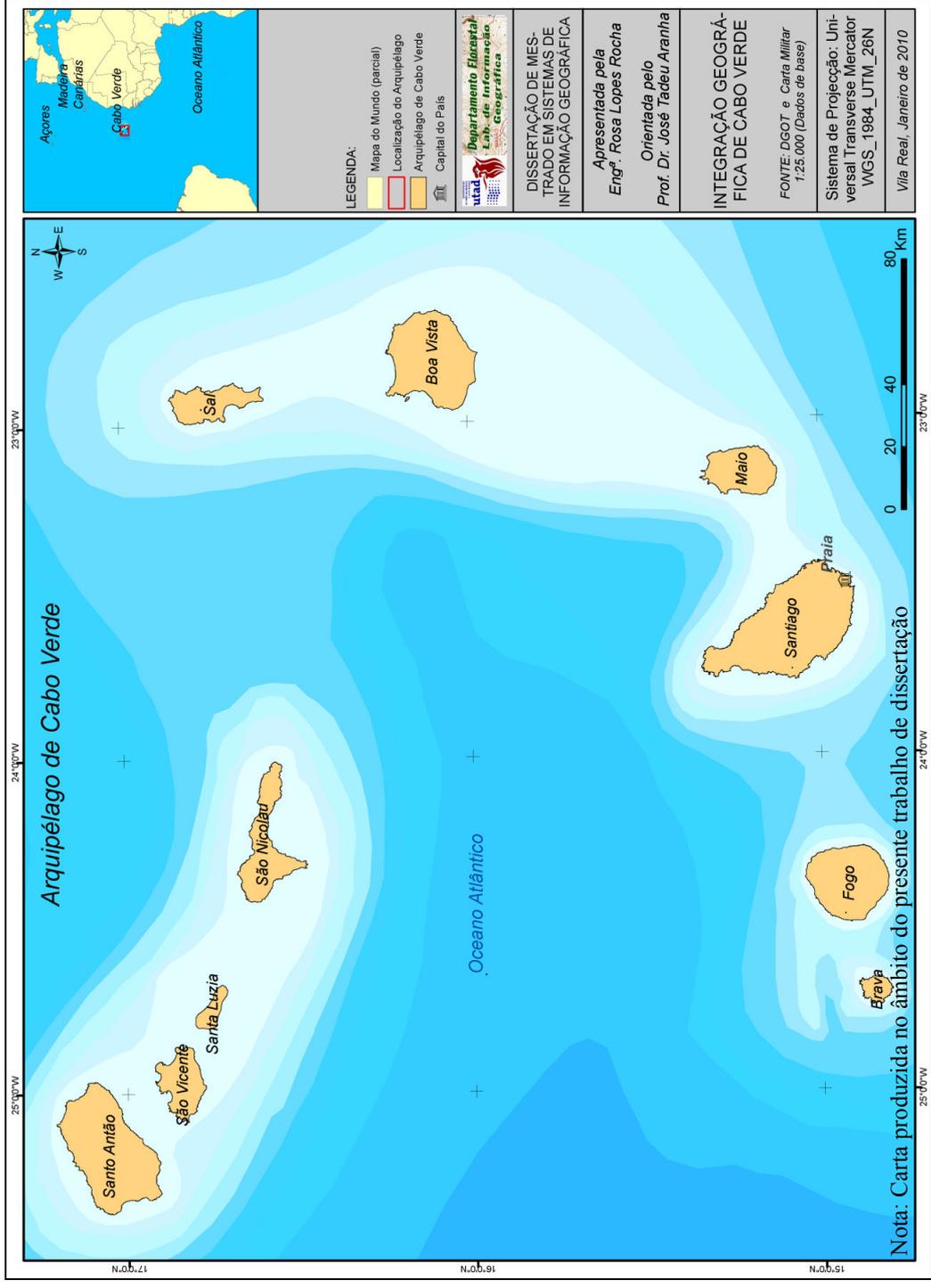


Figura III-1 - Enquadramento geográfico do arquipélago de Cabo Verde

Em termos de ocupação humana, as diferentes ilhas do arquipélago foram progressivamente povoadas a partir de 1460/62, altura dos descobrimentos Portugueses. De acordo com os dados publicados pelo INE, em 1940 a população do país totalizava 171.740 habitantes, tendo sofrido uma redução para 149.984 em 1950, como consequência da seca e da fome que assolaram o território durante a década intercalar. Nas décadas seguintes, ainda que de forma relativamente irregular, registaram-se sucessivos aumentos, atingindo 341.491 habitantes residentes em 1990 e 434.635 em 2000, ano em que foi realizado o último senso no País. A distribuição da população pelas ilhas foi sempre muito irregular sendo a maior concentração nas ilhas de Santiago, São Vicente, Santo Antão e Fogo.

### **3.2. BREVE CARACTERIZAÇÃO DO ESPAÇO FÍSICO EM CABO VERDE**

Morfologicamente o arquipélago de Cabo Verde apresenta um certo polimorfismo. Extensas aplanações quase ao nível do mar nas ilhas orientais, nomeadamente, Sal, Boavista e Maio, onde as formações montanhosas não ultrapassam os 400m de altitude, contrastam com as elevações de centenas de metros e vales encaixados nas ilhas ocidentais. As ilhas de Santiago, São Nicolau, São Vicente e Santa Luzia, embora também com formas abruptas, ocupam uma situação intermédia. A maior altitude corresponde ao Pico na ilha do Fogo, com 2829m, seguindo-se o Topo de Corôa na ilha de Santo Antão com 1985m. O Pico de Antónia em Santiago apresenta 1395m e, o Monte Gordo, em São Nicolau, apresenta 1304m.

Vários autores relacionam a citada morfologia das ilhas com a génese do arquipélago. Gomes e Pina (2003) consideram que a formação das ilhas teria sido iniciada por uma actividade vulcânica submarina central, mais tarde completada por uma rede fissural manifestada nos afloramentos. Já Sabino (1981) referia que as várias ilhas do arquipélago se formaram em épocas diferentes. Admite-se que as erupções vulcânicas determinadas pelas citadas fracturas na região do Oceano Atlântico verificaram-se no sentido Este/Oeste, o que justificaria o aparecimento de formações sedimentares nas ilhas mais orientais em oposição ao predomínio de basaltos ricos em olivina e augite,

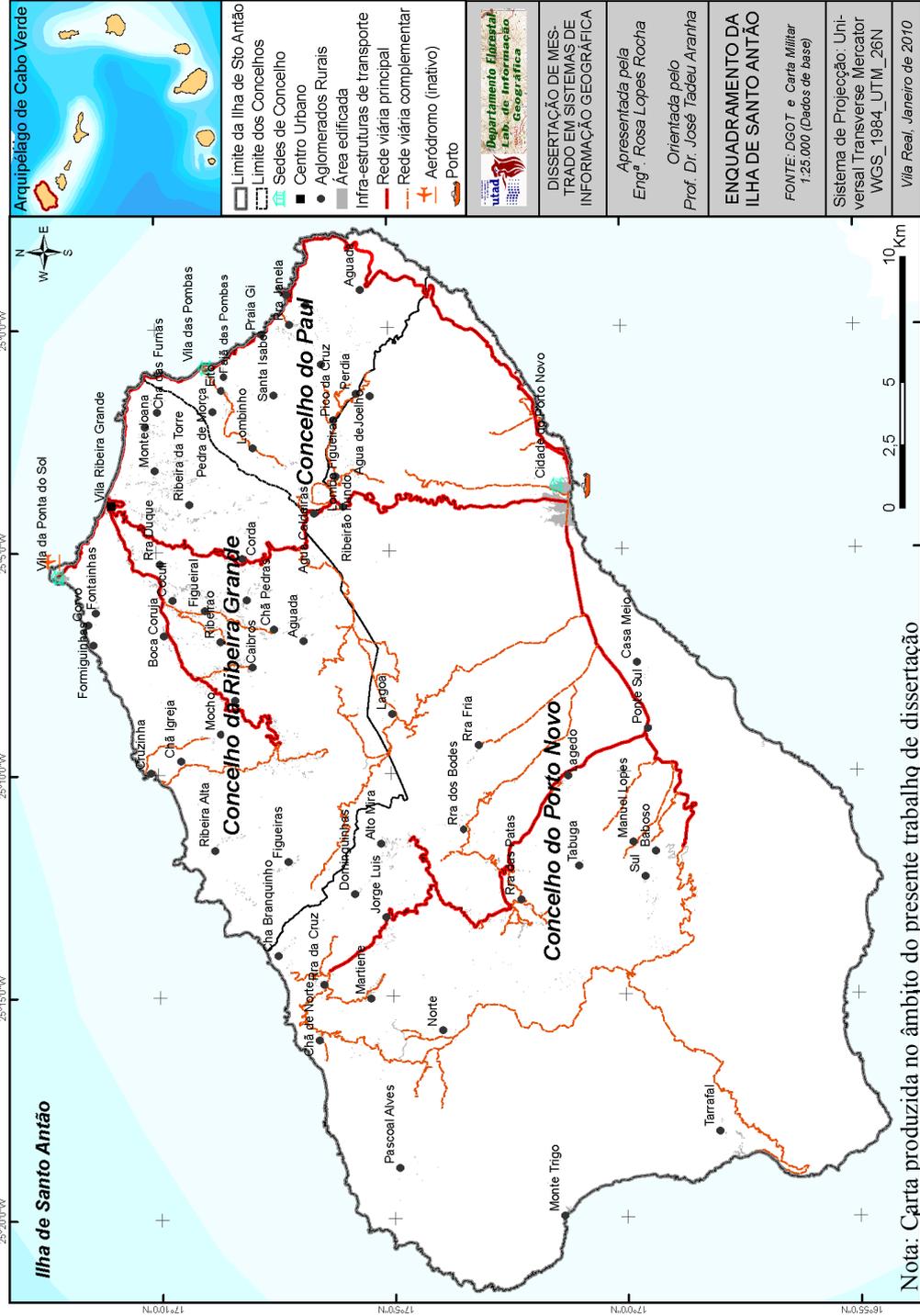


Figura III-2 - Enquadramento geográfico e administrativo da Ilha de Santo Antão

tufos, escórias, fenólitos, traquitos e andesitos, na maior parte das ilhas. Madoux (1978) refere que a formação das ilhas ocorreu em dois períodos distintos, nomeadamente no “cenozóico Inferior” período durante o qual terá ocorrida a acumulação de basaltos na base das ilhas e, no “cenozóico superior”, caracterizado por intensa erosão, emissão de fenólitos e outras rochas eruptivas, seguidas por mantos basálticos que abriam as estruturas anteriores, após um intervalo prolongado. Este autor exemplifica o facto das ilhas de Boavista e Maio, situadas na região oriental do arquipélago, apresentarem camadas horizontais de calcários que atingem três metros de espessura, as quais datam do “Cenozóico Superior”. Nesta base, a ilha da Boavista é considerada a mais antiga do Arquipélago, dispendo-se as demais, sucessivamente à Ocidente. Subsequentemente, a ilha de Santo Antão, situando-se no extremo ocidental é considerada a mais jovem.

Considera-se que no “Mioceno” todas as ilhas já se encontravam formadas, não obstante a actividade vulcânica continuar em algumas até o “Pleistoceno”, exceptuando a ilha do Fogo, onde se verificara a penúltima erupção vulcânica em 1951 e, a última, em 1996. Actualmente, não se distingue os aparelhos eruptivos em todas as ilhas, os quais terão sido destruídos pela erosão. Contudo, alguns cones vulcânicos mantêm a sua individualidade, nomeadamente a correspondente ao Topo de Corôa e Cova na ilha de Santo Antão.

De acordo com o Livro Branco sobre o estado do ambiente em Cabo Verde publicado em Dezembro de 2004, a precipitação média anual no Arquipélago não ultrapassa os 300 mm nas zonas situadas a menos de 400 m de altitude, registando-se uma tendencial redução a partir da década de sessenta do século passado, com reflexos negativos não só nas condições de exploração agrícola, como também, no abastecimento de água (INMG 2003). As áreas sob a influência das massas de ar quentes e secos que sopram do quadrante Leste durante um período do ano (Harmatão), são as mais secas, correspondendo a uma precipitação média de 150 mm. Nas zonas situadas a mais de 500m de altitude e expostas aos ventos alísios, as precipitações podem ultrapassar 700 mm. Relativamente ao balanço hidrológico, de acordo com o INMG (2003), cerca de 20% da água de precipitação perde-se por escoamento superficial,

13% dirige-se para a recarga de aquíferos e 67% desaparece por evaporação (INMG 2003).

Relativamente aos factores condicionantes do clima, Sabino (1980) e Monteiro (1990) afirmam que as condições climáticas do Arquipélago resultam da interacção entre o relevo e, as três massas de ar que atingem a região, nomeadamente os “Ventos Alísios” que sopram do quadrante NE, o “Harmatão” que sopra de Este e, a “Monção” do Atlântico Sul. Monteiro (1990), complementa afirmando que a situação geográfica do arquipélago entre o Trópico de Câncer e o Equador no prolongamento da Faixa Saheliana, integra o numa vasta região de climas áridos e semi-áridos que abrangem todo o noroeste do Continente Africano, em transição para o clima desértico. Este autor acrescenta ainda que o clima do Arquipélago está relacionado com a faixa de altas pressões anticiclónicas que incide na citada região durante grande parte do ano sendo, contudo, moderado pela acção do Oceano Atlântico, que envolve o Arquipélago, agindo sobre a temperatura e a humidade. Face a importância dos citados ventos na determinação do clima no Arquipélago, considera-se necessário, ainda que de forma sucinta, apresentar uma descrição da sua natureza e os períodos do ano em que a acção é mais perceptível e, a esquematização dos citados factores climáticos regionais, apresentados no anexo XV.

Relativamente aos aspectos pedológicos, Madoux (1978) e Monteiro (1990) afirmam que no arquipélago predominam os litossolos e solos litólicos, os quais representam cerca de 50% da superfície do território, representando os afloramentos rochosos cerca de 20% do território. Acrescentam que os solos correspondentes a fundos de ribeiras, ou seja, os aluviões, são relativamente férteis mas, com uma fraca capacidade de retenção da água pois, a textura é geralmente grosseira e o teor de matéria orgânica baixo. Monteiro (1990) considera que são solos providos de certos elementos minerais tais como o fósforo, o cálcio e o magnésio e, que apresentam frequentemente carências em zinco. Por outro lado, o pH é, geralmente, neutro, apresentando-se ácido em condições de maior humidade. Nas proximidades do mar ocorrem, os solos salinos.

Atendendo às características pedológicas, ao clima e ao relevo, existe uma significativa diversidade de condições para o desenvolvimento da vegetação natural e artificial. Madoux (1979) afirma que, as características de aridez que dominam o território impõem uma certa limitação ao desenvolvimento da vegetação. Constantino *et al* (1970) referiam ser notável o escalonamento da vegetação em altitude e em função das zonas climáticas. Algumas regiões de altitude nas ilhas mais montanhosas (Santo Antão, Fogo, Santiago e São Nicolau), apresentando uma cobertura vegetal diversificada e, normalmente permanente ao longo do ano.

Segundo o relatório Nacional sobre o Estado da Biodiversidade em Cabo Verde, actualmente a flora vascular é representada, na sua maioria, pelas plantas que directa ou indirectamente foram introduzidas pelo homem desde a colonização do arquipélago. O citado relatório refere ainda que no ano de 1997 cerca de 621 espécies foram reportadas como constituindo a flora espontânea do arquipélago. Outros autores, nomeadamente Duarte (1998) apontam a existência de 755 espécies espontâneas, das quais 331 teriam sido introduzidas a partir da região biogeográfica da Macaronésia e de países africanos. Destacam-se neste último caso, o Senegal, a Gâmbia, a Mauritânia e o Marrocos. Nesta base, a flora indígena corresponde a 224 espécies, sendo que 85 (38%) são consideradas variantes muito próximas de espécies existentes na Macaronésia, especialmente nas ilhas Canárias e na ilha da Madeira. O género com maior representação é o *Diplotaxis* (Mostarda-brabo), integrando 8 espécies, seguido dos géneros *Limonium* (Carqueja), *Lotus* (Piorno) e *Tornabénea* (Funcho), com 5 espécies. A família com maior diversidade específica é a *Asteraceae* (compostas), com 10 espécies, entre as quais *Sonchus daltonii* Webb (Coroa-de-rei) e *Artemisia gorgonum* Webb (Losna).

Relativamente a disponibilidade hídrica, em Cabo Verde a água é considerada um dos principais recursos naturais condicionantes do desenvolvimento. A localização do arquipélago, numa região cujo balanço hidrológico é geralmente deficitário, a água disponível para os mais diferentes fins, nomeadamente de abastecimento doméstico, é geralmente insuficiente, condicionada pelo balanço hídrico geralmente negativo.

Algumas análises desenvolvidas com base em dados estimativos quantificam as disponibilidades hídricas com base em precipitações médias e em balanços hidrológicos proporcionais. BURGEAP (1974), através da fórmula empírica  $I = 0,25 (P - 300)$ , sendo I a infiltração útil em mm/ano e P a pluviosidade média expressa em mm/ano, corrigida com vários factores como natureza do coberto vegetal, declive do relevo e outros, estima os recursos hídricos subterrâneos no arquipélago em 173 milhões de m<sup>3</sup> por ano, sendo que 90,3% se concentrariam nas ilhas de Santo Antão (36,1 %), Santiago (27,1,8%), e Fogo (27,1%).

As citadas estimativas são, globalmente, concordantes com outras desenvolvidas, nomeadamente pela PNUD/ONUDES (1987) e pela JICA/Japão (1999). Há que referir que os valores apontados não representam as quantidades tecnicamente exploráveis, mas sim, as quantidades totais.

Regista-se, nas últimas décadas, uma redução tendencial dos níveis pluviométricos e, simultaneamente, uma redução dos caudais dos pontos de água. Contudo, uma análise comparativa entre algumas ilhas do arquipélago revela que nem sempre os maiores níveis de precipitação correspondem à maior disponibilidade hídrica. Apesar da ilha de Santo Antão registar um nível de precipitação média anual (274,5mm) inferior aos registados nas ilhas do Fogo (495 mm) e de Santiago (321 mm), a disponibilidade de hídrica na ilha de Santo Antão é significativamente superior. Com efeito, os dados oficiais apontam para a concentração, nesta última ilha, de aproximadamente 50% dos recursos hídricos superficiais existentes.

### 3.3. CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO EM SANTO ANTÃO

De acordo com Diniz e Matos (1999), as características do meio físico na ilha de Santo Antão revelam a existência de um complexo conjunto de factores mesológicos intervenientes, nomeadamente:

- i) De âmbito fisiográfico, destacando-se o padrão próprio do relevo (modelação das superfícies, declives, níveis de altitude), a hidrografia e o escoamento superficial;
- ii) De âmbito geomorfológico, considerando a geologia e a natureza do substrato litológico, os materiais de superfície, a morfologia e os solos e, quanto a estes, a sua distribuição e características do meio edáfico;
- iii) De âmbito bioclimático, correlacionando a distribuição das formações vegetais e os tipos de vegetação com a zonalidade climática, as formas de relevo, a altitude e a exposição e ainda,
- iv) Relacionados com a distribuição das populações, os tipos de ocupação do meio rural, ao uso actual dos solos, analisando a sua capacidade de utilização agrícola, florestal e pecuária.

Baseando-se na análise percentual, os referidos autores conjugam uma multiplicidade de factores e definem a “*Carta Agroecológica e da Vegetação*” da ilha de Santo Antão, que integra oito unidades da paisagem, coincidentes com as unidades climáticas identificadas. Diferenciando os aspectos morfogeológicos, pedológicos e biológicos, identificam um total de cento e sete unidades agroecológicas na região. O mapa apresentado na figura seguinte resulta da digitalização da citada carta, publicada em formato analógico na escala e 1:50.000. Sublinha-se que, não obstante a metodologia empírica que suporta a elaboração da citada carta, a inexistência de outras informações espaciais passíveis de suportar a caracterização do meio, constitui actualmente uma referência incontornável.

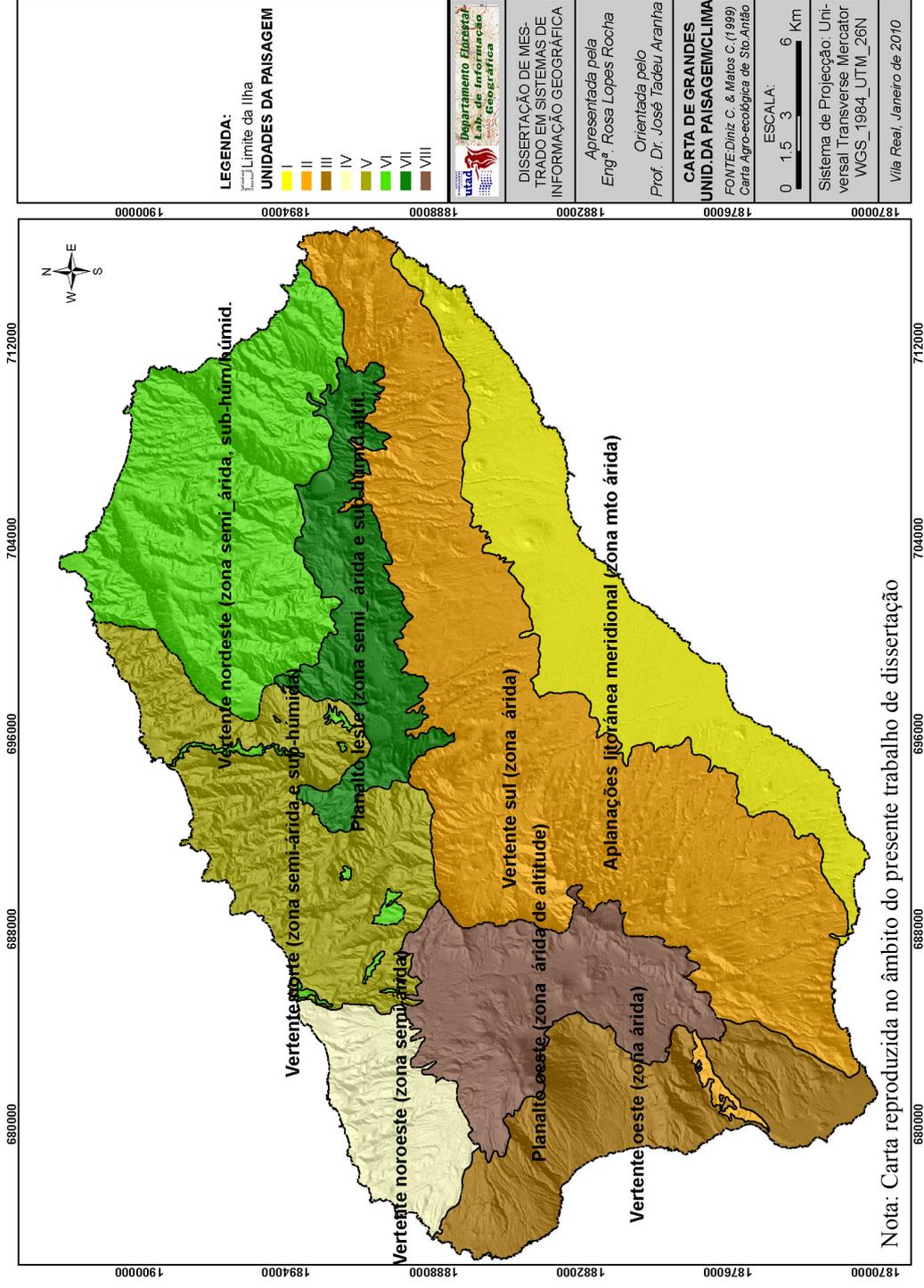


Figura III-3 - Carta de Identificação das Unidades Climáticas e da Paisagem na ilha de Santo Antão;

### 5.1.1. O substrato geológico

No âmbito da elaboração da “Carta Agroecológica e da Vegetação”, Diniz e Matos (1999) identificaram na ilha de Santo Antão, dois complexos eruptivos: o complexo eruptivo principal em correspondência com o aparelho vulcânico de Topo de Corôa localizado na região ocidental e, o complexo eruptivo antigo, em correspondência com o aparelho vulcânico de Cova, localizado na região central. Os referidos autores citam Bebiano (1932), segundo o qual, os mantos de lava basáltica predominantes na região foram derramados pelos citados aparelhos vulcânicos e, por vários outros aparelhos de menor importância dispersos na região.

A carta geológica recentemente produzida e disponibilizada pelo INGRH em formato raster, confirma a descrição do citado autor. A carta apresentada na figura seguinte, resultante da vectorização das unidades litológicas e da rede de fracturação e subsequente sobreposição à carta de relevo sombreado, permite visualizar a organização espacial e a extensão das diferentes unidades, bem como a sua associação com as formas do relevo. A análise dos dados constantes da legenda da referida carta geológica e a extracção dos dados subjacentes a carta digitalizada e, a análise da caracterização geológica da ilha desenvolvida por Bebiano (1932) bem como, da memória descritiva da carta agroecológica, permitiu a seguinte caracterização geológica da ilha:

- Os basanitos alternados com diques e piroclastos, representados pela sigla “**ov**”, correspondem a formação geológica mais antiga da ilha, datando do Plioceno (7,5 à 2 ma). Concentram-se essencialmente em três grandes manchas, as quais cobrem, parcialmente, as bacias hidrográficas de Alto Mira, Ribeira das Patas, Ribeira Grande, Ribeira do Paúl e Ribeira do Penedo. Esta unidade litológica totaliza 167,5 Km<sup>2</sup>, área correspondente a 21,4% do território;
- Os mantos de lava basáltica, essencialmente basanitos neflínicos e, representados pela sigla “**ivl**”, datam do Pleistoceno (1,4 à 0,7 ma) e, constituem a unidade geológica mais representativa da ilha, totalizando 327,3 Km<sup>2</sup>, área que representa 41,7% do território. A disposição dos mantos na ilha relaciona-se com a orientação dos ventos dominantes;

- A unidade seguinte corresponde a basaltos neflínicos, integrando piroclastos fenolíticos, representada pela sigla “**ivt**” data do Pleistoceno, entre 0,7 e 0,3 ma. Totaliza uma área de 69,5 Km<sup>2</sup> (8,9% do território), abrange, essencialmente, a região do Planalto Leste, entre o Morro de Conceição e o Gudo de Cavaleiros, estendendo para a parte superior da bacia hidrográfica de Figueiras;
- As três formações seguintes identificados pelas siglas “**PC**”, “**TCA**” e “**TC**”, integram o complexo eruptivo de Topo de Corôa, datando de sucessivas fases do Pleistoceno, entre 0,4 e 0,17 ma. Correspondem, essencialmente a basaltos neflínicos, destacando-se a presença de piroclastos no estrato correspondente ao Proto-Corôa (PC), significando “anterior ao Topo de Corôa”. Estes estratos totalizam uma área de 61,2 Km<sup>2</sup>, correspondente a 7,8% do território;
- As manchas caracterizadas por lavas fenolíticas e piroclastos, identificados pela sigla “**ph**”, correspondem a depósitos de vertente ou fragmentos de rochas caídas das encostas. Datam também no Pleistoceno e ocupam uma área correspondente a 2,6% do território, distribuindo-se por diferentes regiões da ilha, destacando-se a região de Cova, no Planalto Leste;
- Os cones e cinzas vulcânicas, identificados pela sigla “**cc**” ocupam uma superfície correspondente a 1,8% da ilha e, estão normalmente associados aos estratos identificados pela sigla “**nl**” que correspondem a basaltos neflínicos, lavas leucíticas e piroclastos. Ambas as formações datam do Pleistoceno e estendem por uma superfície correspondente a 1,5% da ilha;
- Os estratos identificados pelas siglas “**vc1**” e “**vc2**” totalizam uma superfície de 40,7 Km<sup>2</sup> (5,2% do território) e correspondem a depósitos piroclásticos que datam do Pleistoceno. O vc1 resulta de uma fase de actividade vulcânica mais activa comparativamente ao vc2.
- A unidade Lapili pomfíticos identificada pela sigla “**p**”, data de 0,2 ma (Pleistoceno). Surge essencialmente na região sul de forma dispersa e, totaliza uma superfície de 17,9Km<sup>2</sup> (2,3% do território). Localmente designada por pozolana, vem sendo utilizada na produção de cimento hidráulico, sendo considerado um dos mais importantes recursos geológicos da ilha;

- A unidade designada Lavas de Lagoa, representada pela sigla “L”, data do Pleistoceno, entre 0,4 e 0,1 ma e corresponde a basaltos neflínicos provenientes da região de Lagoa. Concentram nas encostas expostas a sul da ilha, totalizando uma superfície de 21,9 Km<sup>2</sup> (2,8% do território);
- Os taludes, identificados pela sigla (t), correspondendo a fase entre o Holoceno e o Pleistoceno e constituem depósitos de vertente, com maior expressão na região norte e nordeste da ilha, totalizando uma superfície de 1,6 Km<sup>2</sup> (0,2% do território). Nesta fase formam-se ainda os estratos correspondentes a areias e calhaus, localizados essencialmente, em fundos de vales e, totalizando uma superfície de 2 Km<sup>2</sup> (0,3% do território).

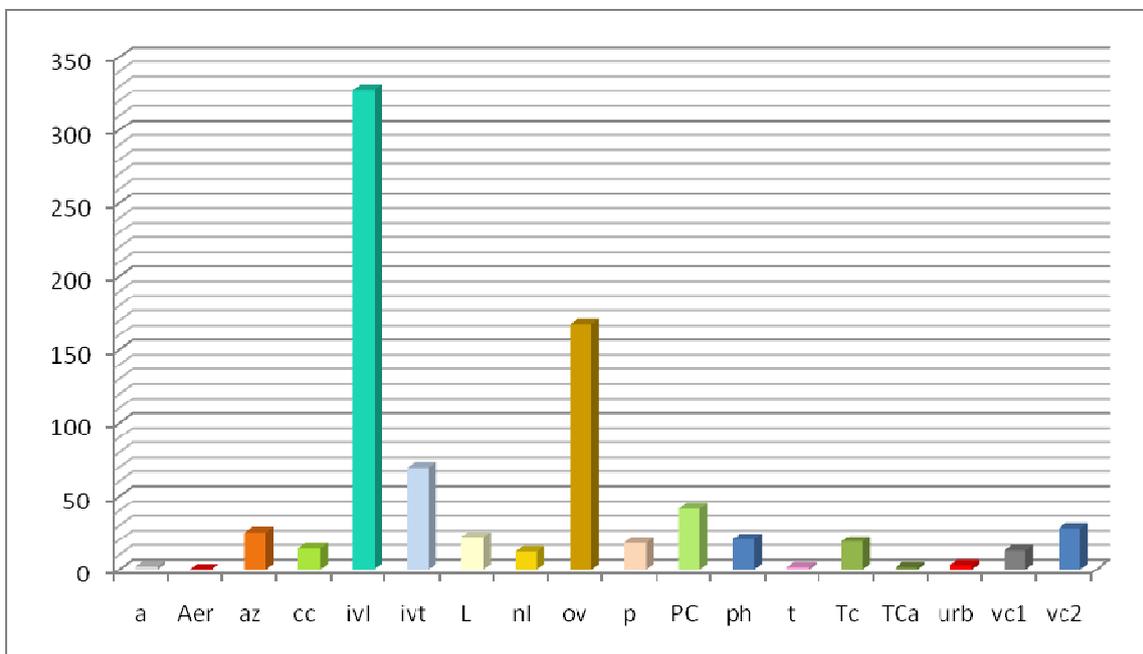


Figura III-4 - Superfície da ilha (Km<sup>2</sup>) ocupada pelos principais estratos litológicos;

Fonte de dados de base: Carta apresentada na Figura III-5.

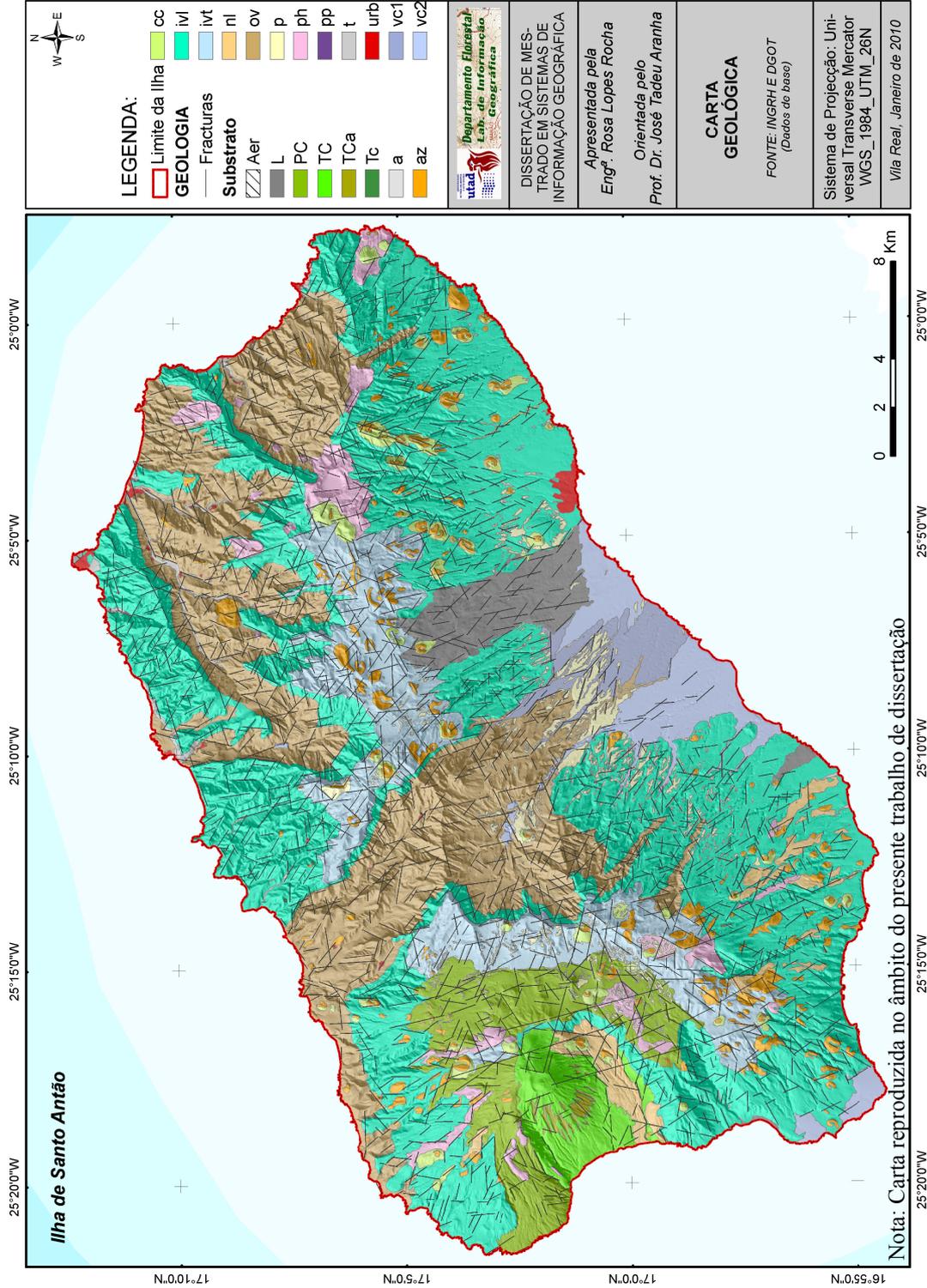


Figura III-5 - Carta Geológica da Ilha de Santo Antão.

### 5.1.2. A estrutura fisiográfica

A ilha de Santo Antão é considerada a mais montanhosa do arquipélago, sendo frequentemente designada “a ilha das montanhas”. A morfologia da região é normalmente associada à sua génese vulcânica, às formações litológicas dominantes e ao clima, sendo este último factor considerado determinante para os processos erosivos antigos e actuais.

Como se pode constatar na carta de festos e talvegues apresentado na figura seguinte, a linha de festo principal integra a cordilheira central e desempenha um importante papel na estruturação morfológica. O sistema de drenagem da globalmente estrutura-se a partir da citada linha de festo, a qual corresponde ao limite superior das principais bacias hidrográficas. Uma densa rede de afluentes integra a rede hidrográfica complementar, convergindo para os leitos das bacias hidrográficas cuja foz se localiza no litoral norte da ilha. Os elevados declives da rede de drenagem potenciam a velocidade do escoamento e a torrencialidade dos cursos de água que, geralmente, apenas funcionam durante os episódios pluviais

Da análise conjugada de vários factores nomeadamente, a geologia e aspectos do relevo, os autores da carta agroecológica e da vegetação da ilha identificam um conjunto de unidades geomorfológicas e que, grosso modo, representa uma síntese interpretativa das características geomorfológicas da ilha. Realça-se ainda a introdução, na análise, da intervenção antrópica na estrutura morfológica de alguns sectores da ilha, designadamente pela introdução de infra-estruturas de conservação os solos e correcção torrencial. Contudo esta complexa estrutura geológica pode ser reagrupada em função de características relativamente omogéneas e diferenciadoras. Observa-se que a existência de uma alta região central fortemente marcada pela erosão, divide a ilha em duas grandes unidades: i) A *região norte* cujo relevo é, de uma forma geral, extremamente dissecado, marcado por uma densa sequência de vales muito profundos com desníveis abruptos e, ii) a *região sul*, globalmente caracterizada por encostas relativamente suaves e extensas aplanções litorâneas.

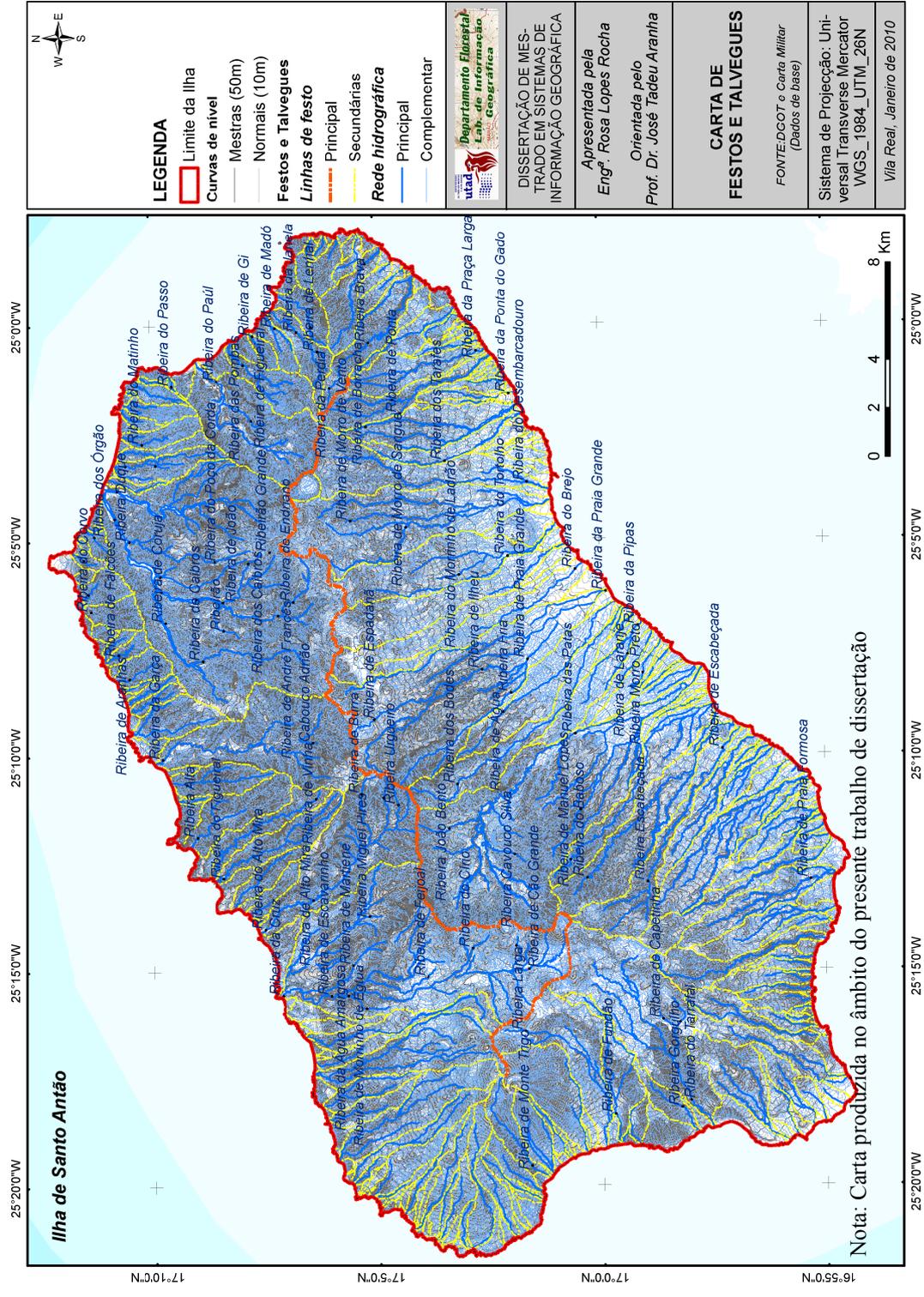


Figura III-6 – Estrutura hidrográfica da ilha de Santo Antão  
Fonte de dados de base: DGOT e Carta Militar



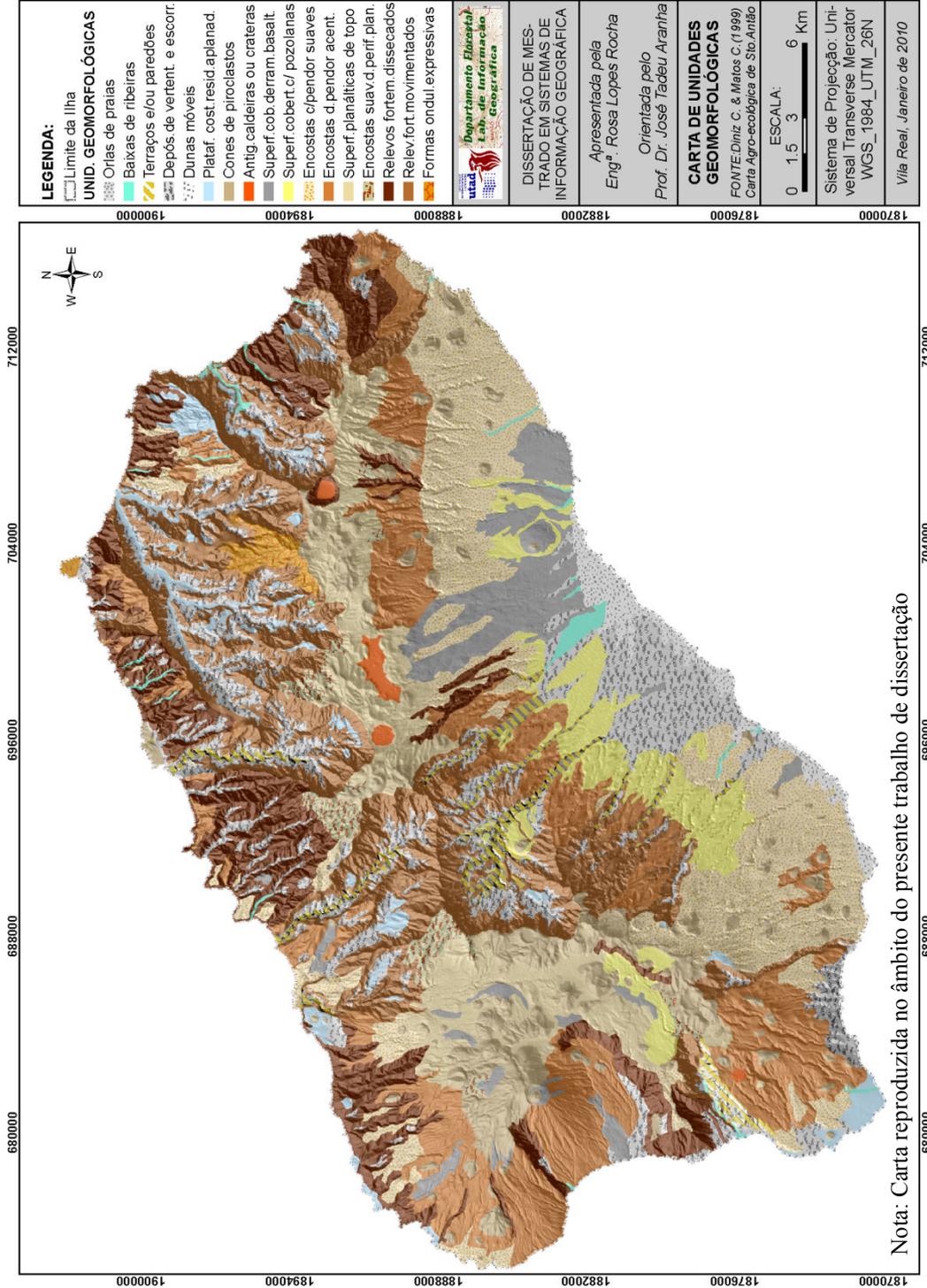


Figura III-7 - Carta de Unidades Geomorfológicas da Ilha de Santo Antão; Fonte de dados de base: Diniz e Matos (1999)

### 5.1.3. Aspectos pedológicos

Sendo o solo um recurso natural, não renovável à escala da vida humana, e que, por isso, é indispensável conservar, importa o conhecimento dos solos de um território enquanto elemento essencial para a identificação de potencialidades, limitações e riscos associados ao uso actual e futuro. A inexistência de uma carta de solos da ilha de Santo Antão constitui, assim, um sério constrangimento à gestão sustentável deste recurso. O único elemento acessível que caracteriza espacialmente os solos da ilha, ainda que de forma empírica, constitui a carta agroecológica. Sendo este o único elemento disponível, no âmbito do presente estudo foram extraídos os elementos que serviram de base a produção da carta apresentada na figura seguinte. Os dados subjacentes permitiram a elaboração do gráfico seguinte, que apresenta a representatividade territorial dos diferentes grupos de solos.

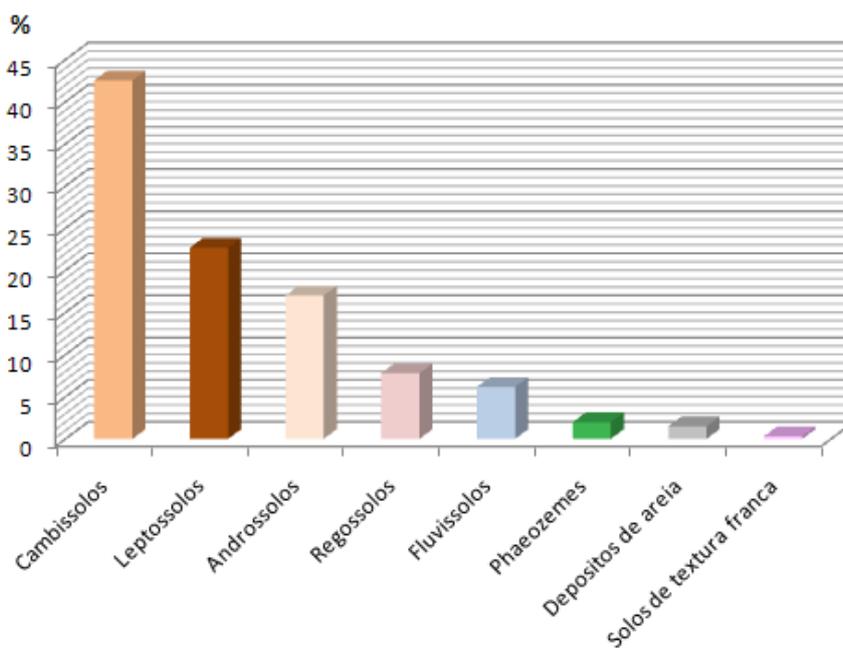


Figura III-8 - Representatividade dos solos dominantes;  
 Fonte de dados de base: Carta apresentada na Figura III-9.

Verifica-se que, a pedologia da ilha é dominada por Cambissolos os quais representam 42,5% do território. Estes solos, ainda em processo de desenvolvimento, apresentam uma espessura que varia entre 0,5 a 1,5m, apresentam frequentemente calhaus a superfície. Localizam-se nos mais variados tipos de relevo, desde o suave ondulado até o montanhoso e apresentam uma fertilidade natural considerada muito variável.

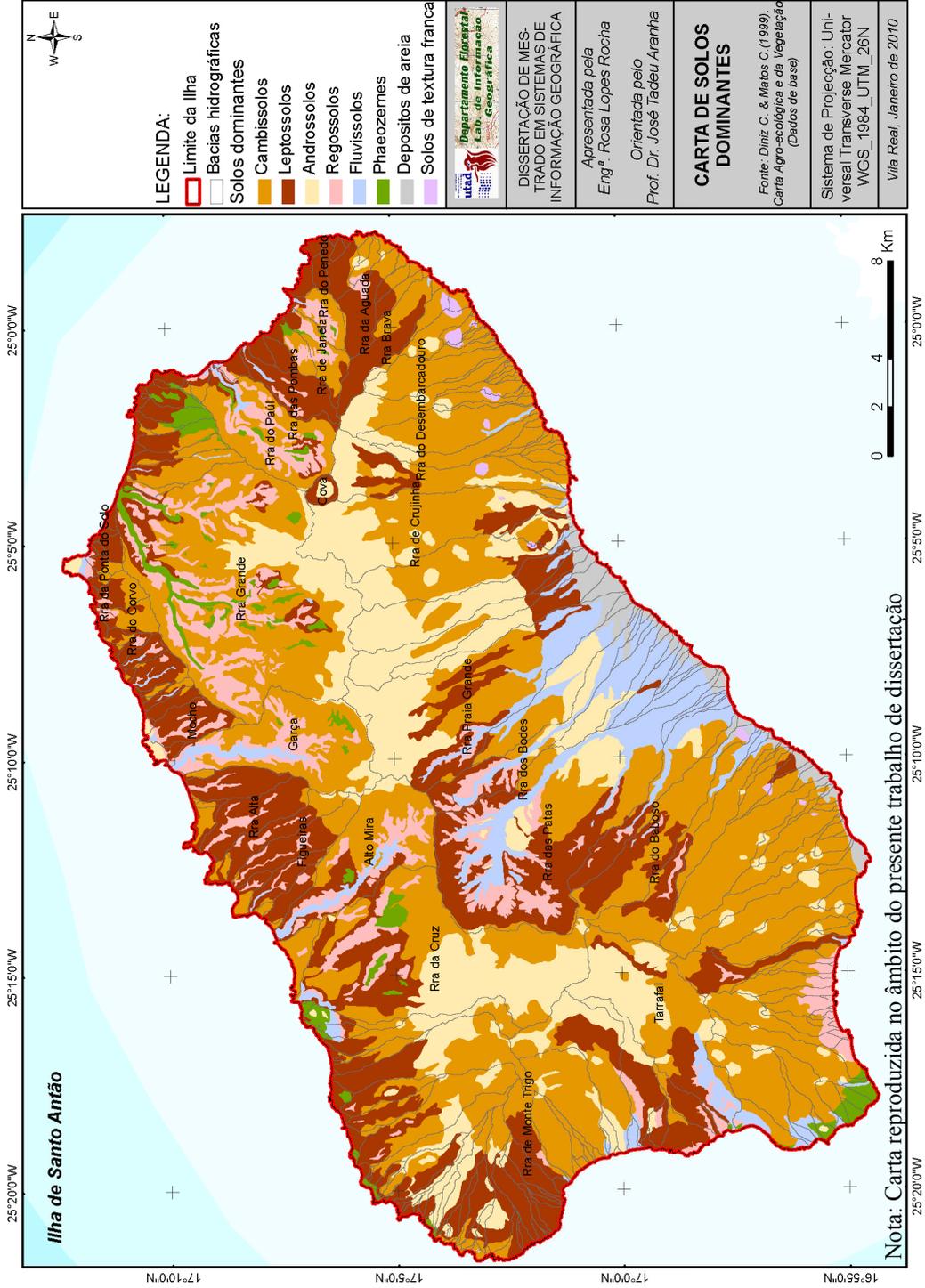


Figura III-9 - Carta de Solos dominantes na ilha de Santo Antão;  
Fonte de dados de base: Diniz e Matos (1999)

Confrontando a citada classificação espacial com a legenda da FAO/UNESCO (1988), constata-se que:

- Os Leptosolos (do grego *leptos*, delgado) são solos incipientes, assentes sobre rocha dura e com uma espessura que não ultrapassa os 50 cm de profundidade. Ocupam 22,7% do território, incluindo os Leptosolos êutricos e os Leptosolos líticos;
- Os Androssolos, correspondem a solos que, pela actividade humana, sofreram uma modificação profunda por soterramento dos horizontes originais, através de remoção ou perturbação dos horizontes superficiais, cortes ou escavações, adições seculares de materiais orgânicos, rega contínua e duradoura, entre outras. Observa-se na carta indica que os solos classificados como Androssolos correspondem a áreas agrícolas de sequeiro localizadas fundamentalmente nas zonas planálticas de altitude e representam, aproximadamente, 17% do território.
- Os Regossolos relacionam-se com áreas sujeitas a forte erosão, geralmente correspondentes a encostas com elevados declives e, ocupam 7,8% do território.
- Os Fluvisolos (do latim *fluvius*, rio), ainda que, com uma menor representatividade (6,2% do território), desenvolvem-se nas faixas adjacentes às linhas de água, resultando da deposição de solos transportados pela erosão detêm relativo potencial para uso agrícola. Contudo, a actividade agrícola é geralmente condicionada pela deficiente disponibilidade hídrica efectiva, face a fraca capacidade de retenção devido a textura grosseira e o baixo teor em matéria orgânica.
- Os Phaeozemes correspondem a solos de áreas quentes e húmidas e, dispõem de uma camada superficial rica em matéria orgânica. Correspondem a solos aráveis, ocupados por culturas irrigadas e representam 2% do território.
- Os depósitos de areia e algumas manchas de solos textura franca, localizados nas planícies litorâneas da região sul da ilha, representam apenas 1,5% e 0,3% do território, respectivamente.

Confrontando as unidades pedológicas apresentadas com as unidades geomorfológicas na carta apresentadas na Figura III – 7, observa-se uma significativa concordância das unidades delimitadas na carta de origem.

Relativamente à degradação do solo, apesar de não existirem estudos aprofundados que quantifiquem as perdas por erosão na ilha, as estimativas são preocupantes. Com efeito, aos factores naturais propícios ao fenómeno somam-se factores antrópicos relacionados com práticas culturais, desajustadas durante séculos, justificada pela necessidade de sobrevivência dos seus habitantes. Aponta-se como uma das principais causas antrópicas da degradação do solo, as práticas agrícolas desajustadas em encostas com declives acentuados. O remeximento do solo e a ausência de vegetação no início da época pluvial, aumentam a vulnerabilidade dos solos onde se pratica a agricultura pluvial, à erosão. A nível das áreas irrigadas a rega por alagamento aumenta a susceptibilidade das partículas finas do solo ao transporte. Complementarmente, nas regiões áridas e semi-áridas, aponta-se o sobrepastoreio envolvendo o gado caprino como factor potenciador da degradação dos solos e da vegetação.

A introdução de socalcos em encostas, ainda que localizada, traduzindo-se na recuperação dos solos degradados através do transporte dos sedimentos depositados no fundo dos vales pelas cheias, a par de aumentar a capacidade produtiva, minimiza as perdas.

Relativamente à ocupação dos solos, de acordo com a pesquisa realizada, a ilha de Santo Antão não dispõe de uma carta de ocupação actual do solo. A imagem apresentada no anexo II corresponde a designada “Carta Agrícola” produzida em 1957 por A. J. da Silva Teixeira e publicada na escala 1:50.000. Mais do que uma carta agrícola, traduz a ocupação do solo na época, não obstante a deficiente qualidade e o desfasamento da informação.

#### **5.1.4. Aspectos climáticos**

Na descrição dos aspectos climáticos da ilha, normalmente considera-se que os elementos disponíveis são relativamente limitados devido a escassa cobertura em estações meteorológicas, a multiplicidade de situações

fisiográficas e fitoclimáticas que se podem individualizar, sendo estas, estreitamente relacionadas com a exposição das vertentes aos diferentes quadrantes. Daí que a análise vem sendo desenvolvida em bases perceptivas.

No aspecto geral, a ilha apresenta um clima tropical seco, com duas estações, a seca e a húmida, à semelhança das demais ilhas do arquipélago. Face a sua estrutura geomorfológica específica, nomeadamente o forte desenvolvimento em altitude e a orientação favorável a interceptação dos Ventos Alísios, a ilha apresenta uma elevada variabilidade microclimática. Assim, as regiões expostas a NE apresentam uma estratificação bioclimática entre o litoral e o interior da ilha, e entre a base e as regiões de altitude. Complementarmente, as extensas aplanções litorâneas na região E/S são penalizadas pelos ventos quentes e secos provenientes da região do Sahara.

Baseando-se nesta constatação prática, Sabino (sem data) apresenta, em forma esquemática, a seguinte distribuição climática numa ilha com estrutura cónica, situada na região geográfica do Arquipélago de Cabo Verde e, que, globalmente descreve a realidade climática da ilha.

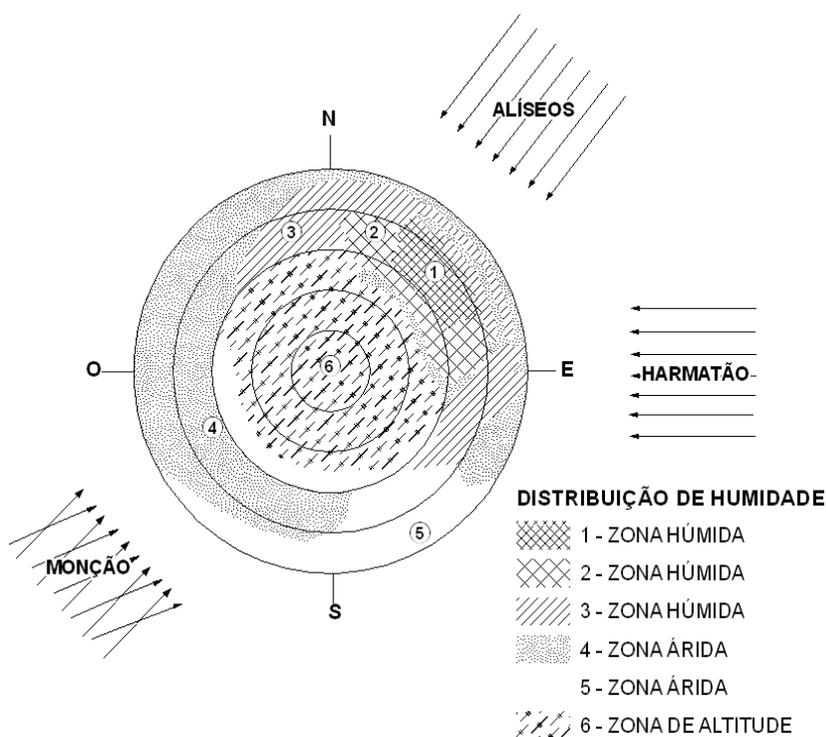


Figura III-10 - Massas de ar predominantes e estrutura esquemática do clima numa ilha cônica localizada na região de Cabo Verde;

Fonte: Adaptado de Sabino (sem data)

Observa-se que o efeito dos ventos alísios se fazem sentir nas regiões com exposição NE entre os 500 à 600 metros e, os 1500 metros de altitude. Com efeito, os ventos Alísios transportam a humidade do oceano e, ao serem interceptados por estruturas montanhosas, com temperaturas elevadas a nível superficial, dilatam e elevam-se. A partir do citado limite inferior, a redução da temperatura atmosférica condiciona a condensação do ar, originando os frequentes nevoeiros e orvalhos que se traduzem nas denominadas precipitações ocultas na região do Planalto Leste e, que favorecem o estabelecimento de uma cobertura vegetal permanente. A região correspondente ao Planalto Norte, cujas altitudes variam entre 1400 e 1985m, apresenta uma acentuada aridez, evidenciando o efeito do fenómeno da inversão térmica. Complementarmente, nas regiões baixas da ilha, o clima apresenta características de aridez, sendo mais acentuada na região sul da ilha. É perceptível a redução gradual da aridez com o aumento da altitude, traduzindo o gradiente da vegetação.

Em termos objectivos, a instalação, nos finais dos anos 70, de duas estações meteorológicas nas localidades de Lagoa (Planalto Leste) e em Lombo de Santa (Vale da Ribeira Grande) e, de um conjunto de postos udométricos distribuídos pela região, permite actualmente dispor-se de um conjunto de dados referentes a elementos climáticos, nomeadamente de precipitação, velocidade do vento, temperatura e humidade atmosférica, correspondente as últimas três décadas. Contudo, registam-se falhas pontuais de dados, advenientes da deficiente manutenção dos instrumentos, situação que se vem agravando nos últimos anos como atesta o gráfico apresentado na figura seguinte, relativos ao nº de udómetros funcionais ao longo dos últimos 30 anos.

A compilação dos dados referentes ao período 1980 e 2009, maioritariamente fornecidos pelo INMG5, instituição que substituiu o INIDA6 na gestão dos dados meteorológicos no País, permitiu no âmbito do presente trabalho, desenvolver-se a análise quantitativa das precipitações, baseada numa série temporal mínima recomendada, correspondente a 30 anos<sup>7</sup>, não obstante as citadas falhas. Neste ponto será apresentada a análise estatística desenvolvida

---

5 Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

6 Instituto Nacional de Investigação e Desenvolvimento Agrário

<sup>7</sup> mínima recomendada pela World Meteorological Organization (WMO)

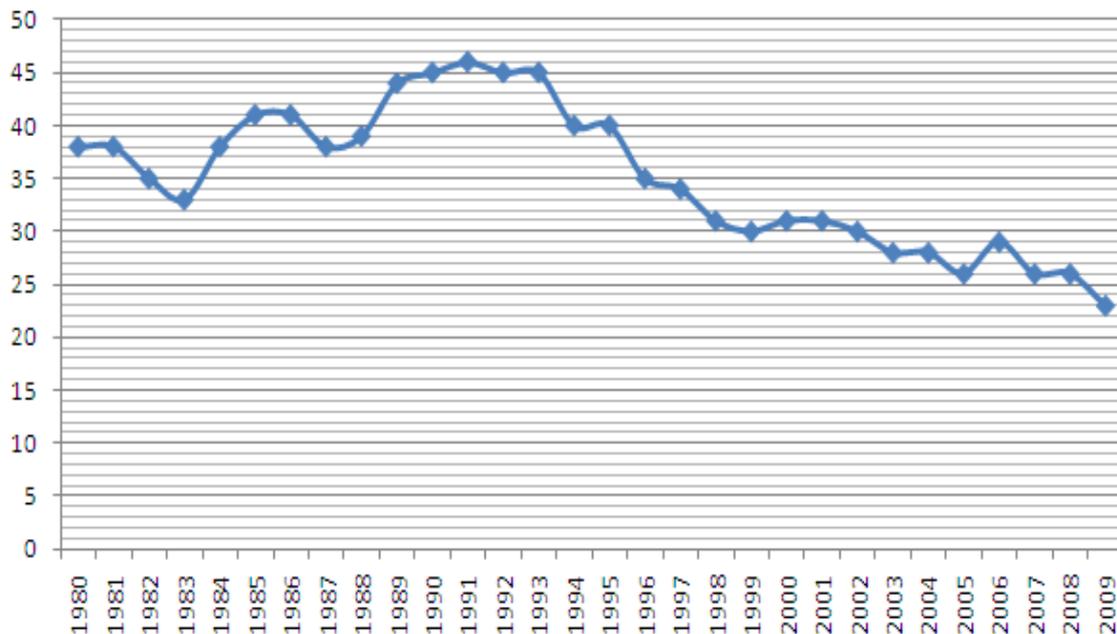


Figura III-11 – Variação do nº de postos udométricos funcionais em Sto. Antão de 1980 e 2009.

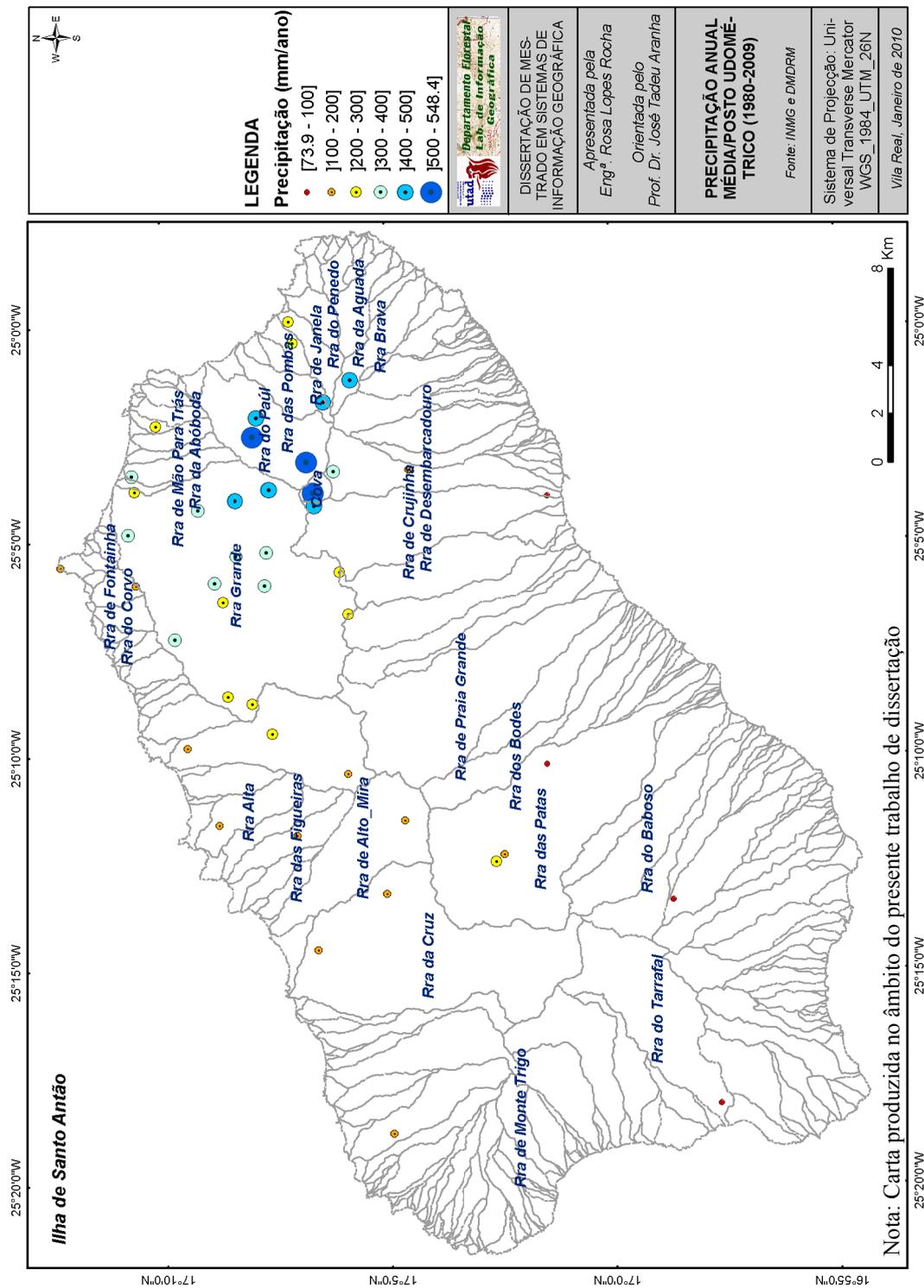
Fonte; INMG e DMDRM (dados de precipitações registadas por posto udométrico).

no âmbito do presente trabalho, colocando a tónica na variação temporal, sendo, no capítulo referente aos resultados, apresentada uma análise espacial proporcionada pela aplicação de técnicas de interpolação dos dados pontuais.

No que se refere aos demais elementos climáticos, cujos dados são registados nas duas estações meteorológicas, nomeadamente, a temperatura do ar, o vento e a humidade relativa do ar, não sendo possível aplicar os métodos de interpolação espacial e subsequente análise espacial, são apresentadas as análises numéricas através de gráficos. Contudo, relativamente a temperatura, foi possível extrair de imagens de satélite Landsat disponíveis para seis momentos entre 1999 e 2007, as temperaturas da superfície do solo as 11h25mn.

#### *a) Análise quantitativa das precipitações*

A carta apresentada na figura seguinte apresenta a distribuição espacial dos postos udométricos e níveis de precipitação média anual no período 1980/2009. A média aritmética da precipitação anual corresponde a 274,5 mm/ano. A precipitação anual total registada pelos diferentes postos udométricos no período varia entre 0 e 1.507,5 mm/ano. Este valor extremo foi



Nota: Carta produzida no âmbito do presente trabalho de dissertação

Figura III-12 - Distribuição espacial dos postos udométricos e classes de precipitação média anual no período 1980-2009, na ilha de Santo Antão. Fonte de dados de base: INMG e Delegação do MADRM em Santo Antão

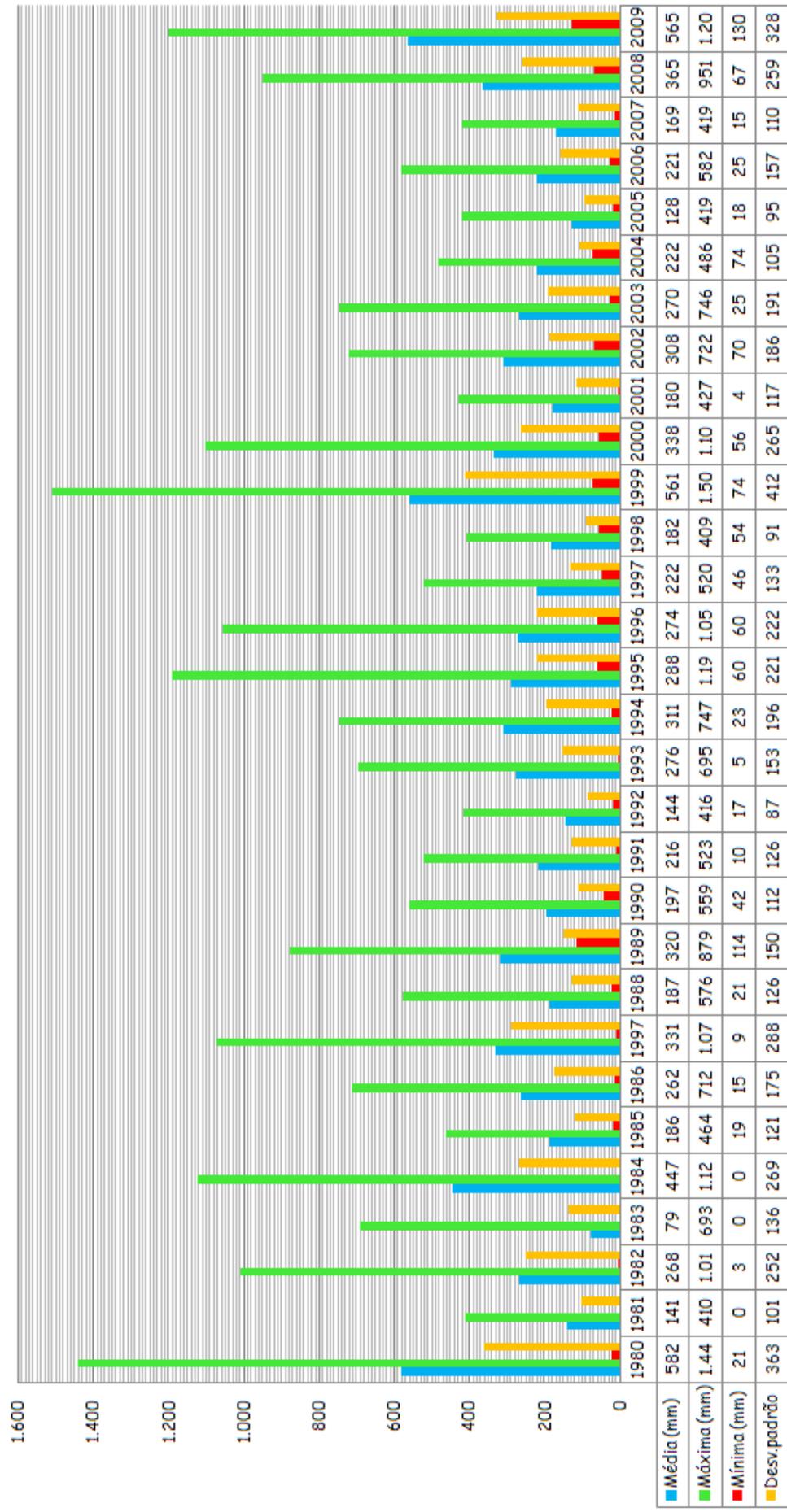


Figura III-13 - Variabilidade inter-anual das precipitações registada em Santo Antão, entre 1980 e 2009; Fonte de dados de base: INMG e DMADRM

Fonte de dados de base: INMG e DMADRM

registado no posto udométrico de Passagem, no vale do Paúl em 1999, ano que corresponde a maior precipitação média registada na ilha durante o período (774,1mm/ano).

No gráfico apresentado na Figura III-13 observa-se uma extrema variabilidade inter-anual dos níveis de precipitação entre 1980 e 2009.

No gráfico apresentado na Figura III-14 pode-se observar a evolução dos níveis de precipitação nos diferentes meses do ano os quais aumentam gradualmente a partir de Julho e atingem os valores máximos em Setembro. Deve-se sublinhar que, normalmente, as precipitações registadas durante os primeiros meses do ano ocorrem nas regiões de altitude expostas à Nordeste.

Agrupando a informação diária por década, constata-se que, não obstante valores residuais<sup>8</sup> de precipitação entre a 3ª década de Janeiro e a 3ª de Julho (com incidência nas regiões de altitude expostas ao ventos alísios), a única década em que não houve qualquer registo de precipitação nos postos udométricos da ilha durante os últimos 30 anos, corresponde a 3ª de Junho.

A análise dos dados referentes aos diferentes pontos indica ainda que, a partir da segunda década de Agosto até a terceira de Setembro, em termos médios, registam-se precipitações em toda a ilha, pese embora uma acentuada variabilidade espacial. Constata-se ainda que, a uma forte concentração sazonal das precipitações, se associa ainda uma outra diária, igualmente acentuada. Alguns episódios de cheias e inundações registados ao longo da história de ocupação de ilha, revelaram-se graves. Destacam-se as ocorrências registadas no século passado, nos anos de 1938, 1950, 1961 e 1984. Este último integra a série de dados analisada, sendo apresentados no gráfico da Figura III-17, os dados registados nos dias 16 e 17 de Setembro de 1984 que evidenciando a concentração das precipitações num curto período de tempo.

Importa sublinhar que em vários postos udométricos, nomeadamente os localizados em Corda, Sul, Ribeira das Patas, Ribeira da Cruz, Figueiral do Paul, Fajã de Janela, Passagem, Lombo Branco, Chã de Igreja, Pinhão, Chã de Arroz, Campinho, Manuel Joelho e Ponta Sol, os dados registados no dia 17

---

<sup>8</sup> Registam-se valores médios inferiores a 8 mm

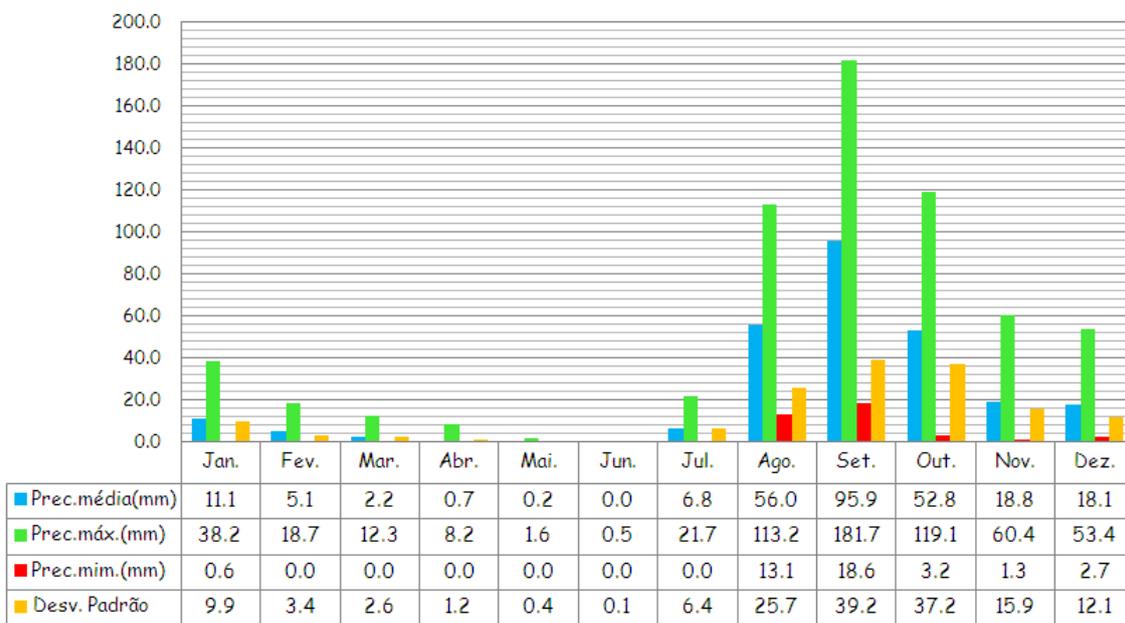


Figura III-14 - Variação da precipitação mensal média, máxima, mínima e, do desvio padrão em relação à media, em Santo Antão, correspondente a série 1980-2009.

Fonte de dados de base: INMG e DMADRM em Santo Antão

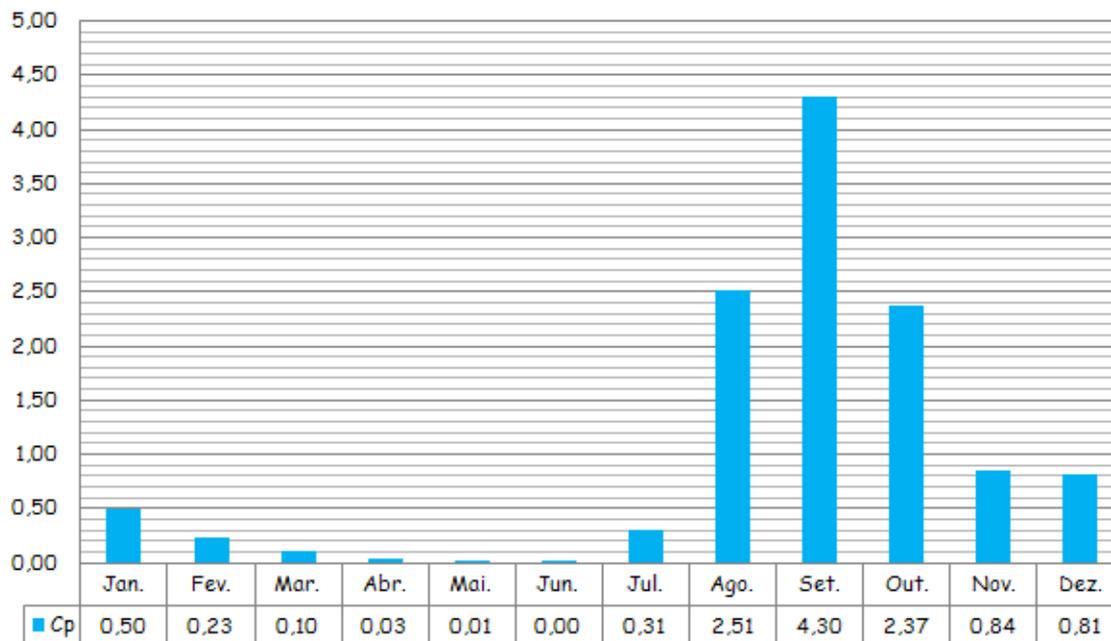


Figura III-15 - Variação do coeficiente pluviométrico (Cp), em Santo Antão, correspondente a série 1980-2009.

Fonte de dados de base: INMG e DMADRM em Santo Antão

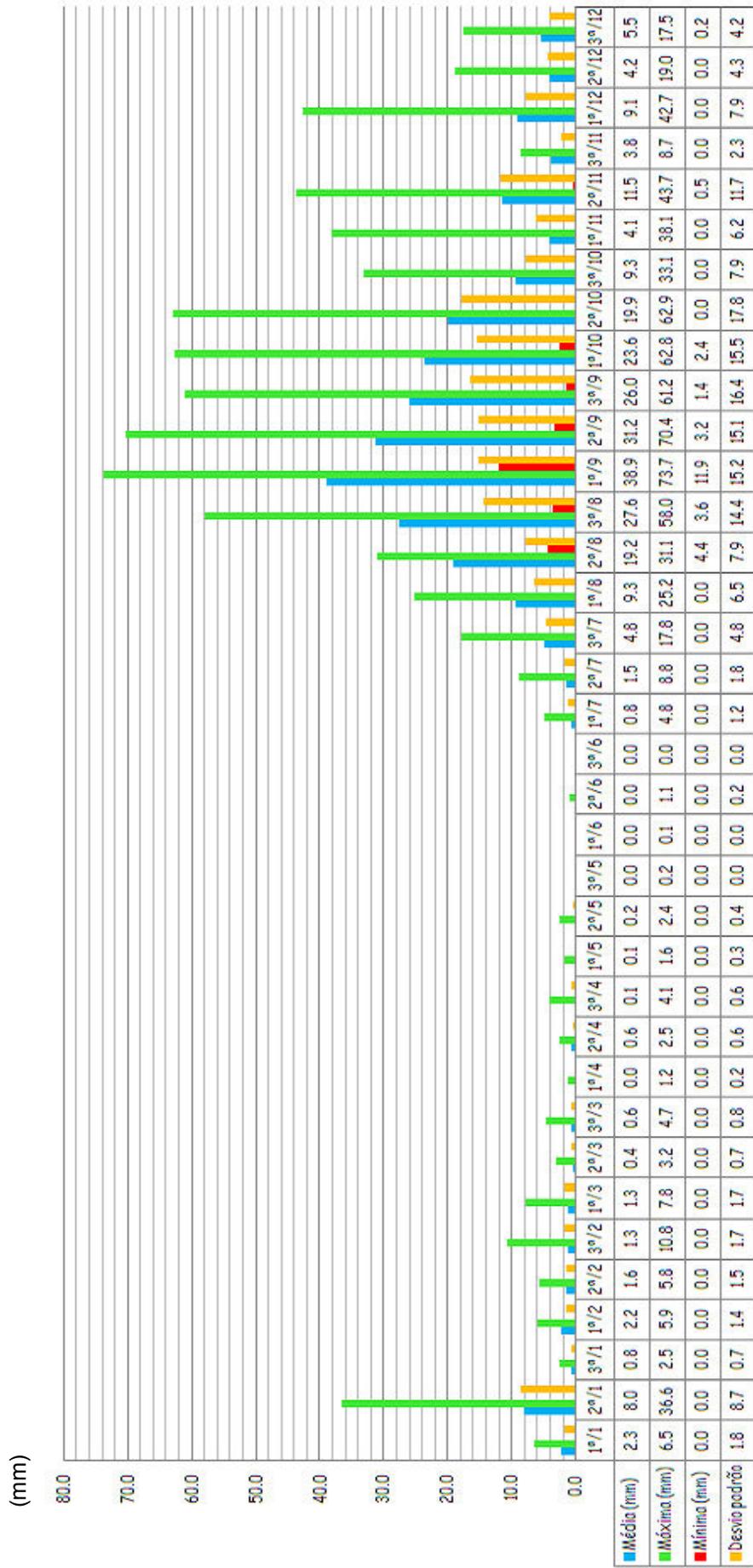


Figura III-16 - Evolução dos níveis de precipitação média (mm) ao longo das sucessivas décadas do ano, no período 1980/2009, na ilha de Santo Antão.

Fonte de dados de base: INMG e DMADRM em Santo Antão

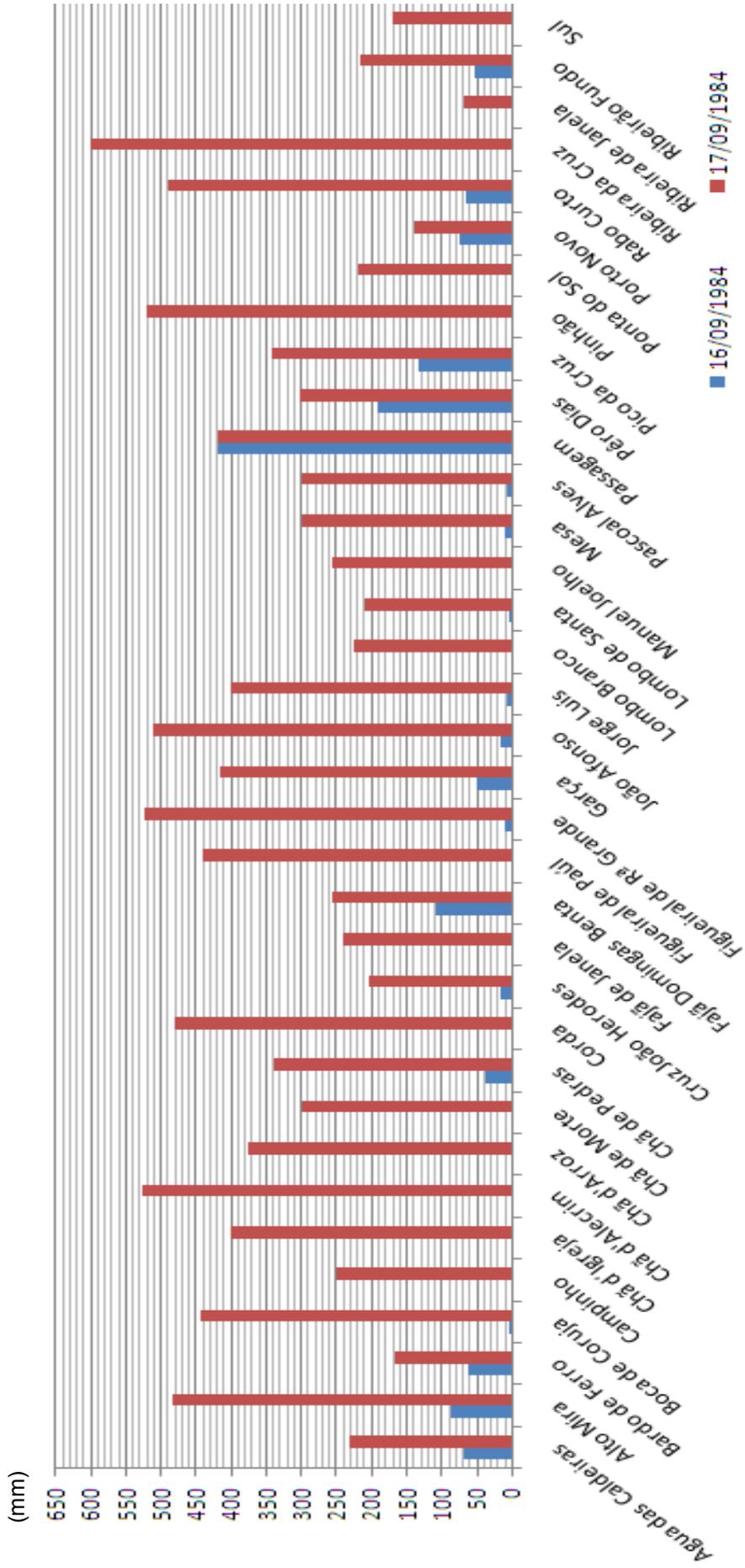


Figura III-17- Precipitações registadas na ilha de Santo Antão nos dias 16 e 17 de Setembro de 1984

Fonte: Dados de base registados pelo INIDA

correspondem a valores acumulados entre os dias 16 e 17. O valor total é, contudo, subestimado pois, as precipitações ocorridas durante os dois dias, ultrapassaram a capacidade máxima dos udómetros. Acrescenta-se ainda a ocorrência de ventos fortes que poderão constituir um factor adicional de subestimação dos valores.

Uma outra vertente da análise das precipitações na região relaciona-se com a perceptível degradação das condições ambientais e, a atribuição deste fenómeno à redução gradual dos níveis de precipitação no território nacional, ao longo das últimas décadas. A elevada variabilidade dos dados quantitativos anuais não permitem confirmar esta tendência nos últimos 30 anos. Daí recorrer-se ao agrupamento dos dados em quinquénios e, posterior análise dos quantitativa dos dados médios, máximos, mínimos e, do desvio padrão em relação à média, a par da definição da linha de tendência das sucessivas médias quinquenais.

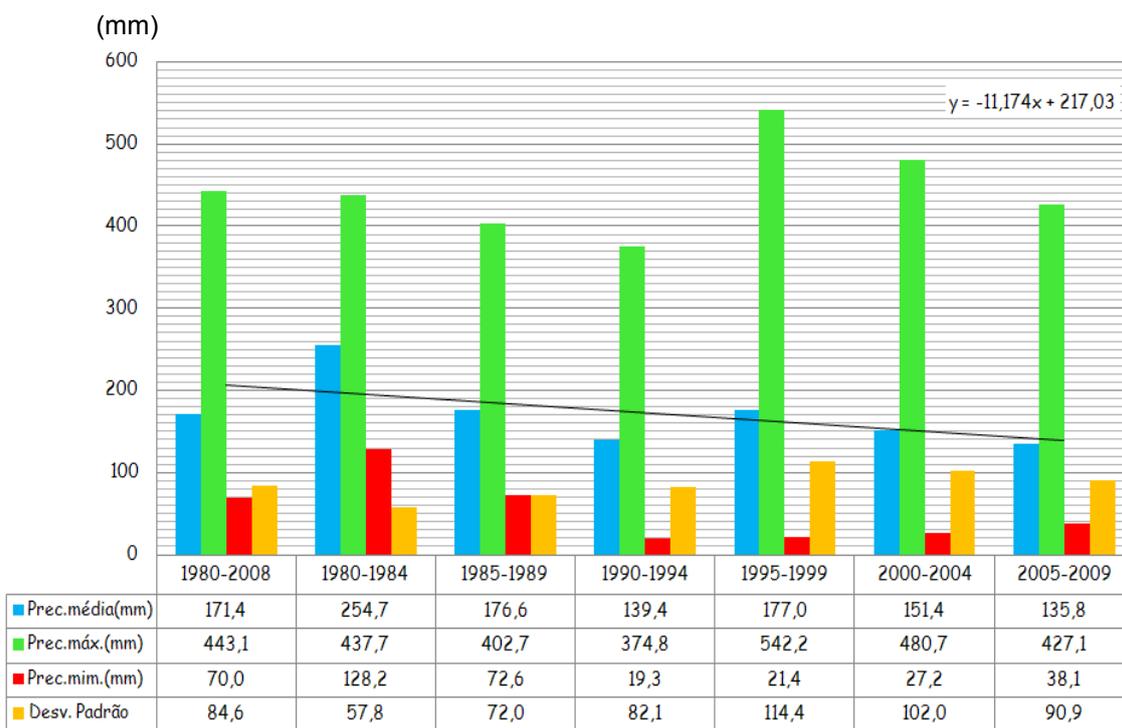


Figura III-18 - Evolução da precipitação anual média nos sucessivos quinquénios entre 1980 e 2009, na ilha de Santo Antão

Fonte de dados de base: INMG e DMADRM em Santo Antão

Como se pode verificar, o período com valores médios mais elevados corresponde a 1980-1984 mas, os valores máximos mais elevados foram

registados no período 1995-1999. Paradoxalmente, nesse último período foi registado o segundo valor mínimo mais baixo (21,4mm/ano) e, que justifica o desvio padrão, em relação à média, mais elevado. A linha de tendência da média traduz uma redução dos níveis de precipitação média nos sucessivos períodos quinquenais na ordem dos 11,17mm de precipitação por período.

*b) Análise de outros elementos do clima*

Relativamente a outros elementos do clima, nomeadamente, a temperatura do ar, a velocidade do vento e a humidade relativa do ar, os dados disponíveis correspondentes as estações meteorológicas localizadas em Lagoa e Lombo de Santa, para o primeiro parâmetro e, apenas em Lombo de Santa, para os restantes, são apresentados nos gráficos seguintes.

Pode-se constatar no gráfico apresentado Figura III –19, que as temperaturas máximas e mínimas mensais referentes a região de altitude são normalmente inferiores as registadas em Lombo de Santa. Contudo, observa-se que, o valor da temperatura mais elevada em Lagoa registada durante o mês de Junho, aproxima-se do valore registado em Agosto, na estação de Lombo de Santa. No que concerne as temperaturas mínimas, os valores médios mais baixos correspondem a Dezembro e Janeiro para as estações de Lombo de Santa e Lagoa, respectivamente. Relativamente a humidade relativa, de acordo com os dados registados na estação meteorológica de Lombo de Santa, a humidade relativa média mensal, varia entre 76% e 85%, valores registados nos meses de Janeiro e Setembro, respectivamente, como se pode constatar no Figura III –21. Um outro elemento do clima disponível pela estação climatológica de Lombo de Santa trata-se da velocidade do vento

Deve-se contudo relativizar os dados pois, a estação de Lagoa localiza-se numa região de altitude (sensivelmente a 1260 metros) e, a de Lombo de Santa, na região Norte da ilha, a 388 metros de altitude. A extensa região Sul, cujas temperaturas são sensivelmente mais elevadas e, os ventos mais intensos e frequentes, não dispõe de dados passíveis de uma caracterização fidedigna.

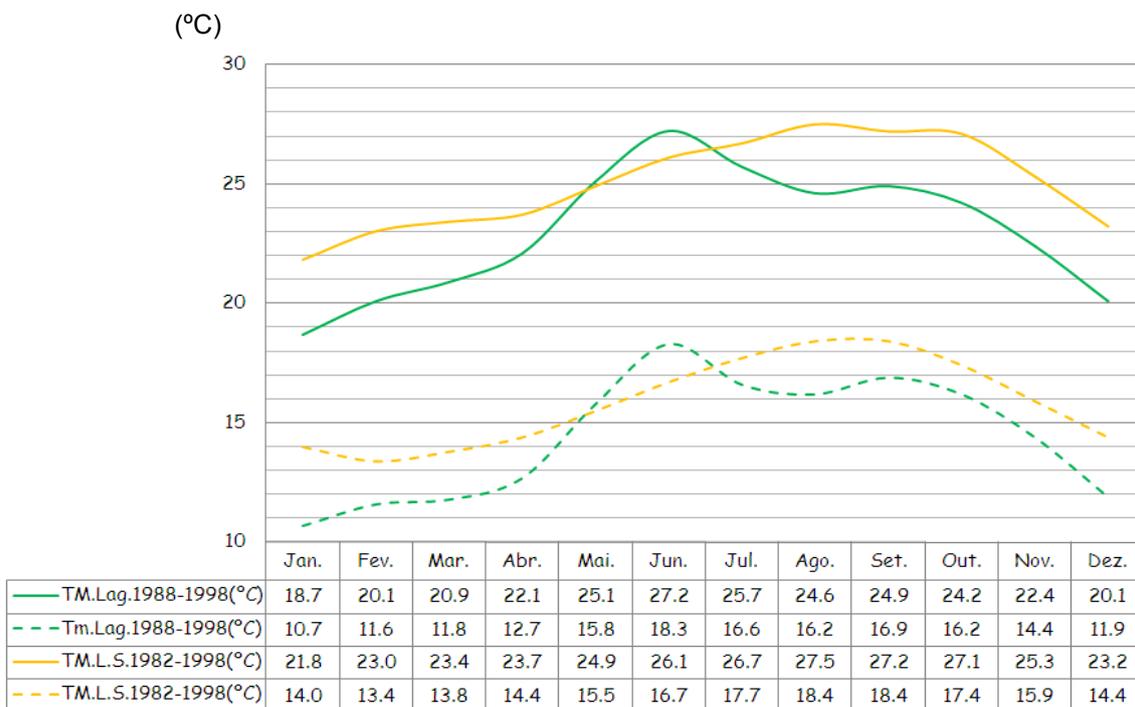


Figura III-19 - Temperatura média mensal (°C) registada nas estações meteorológicas de Lagoa e Lombo de Santa, nos períodos 1988-1998 e 1982-1998, respectivamente.

Fonte de dados de base: INMG

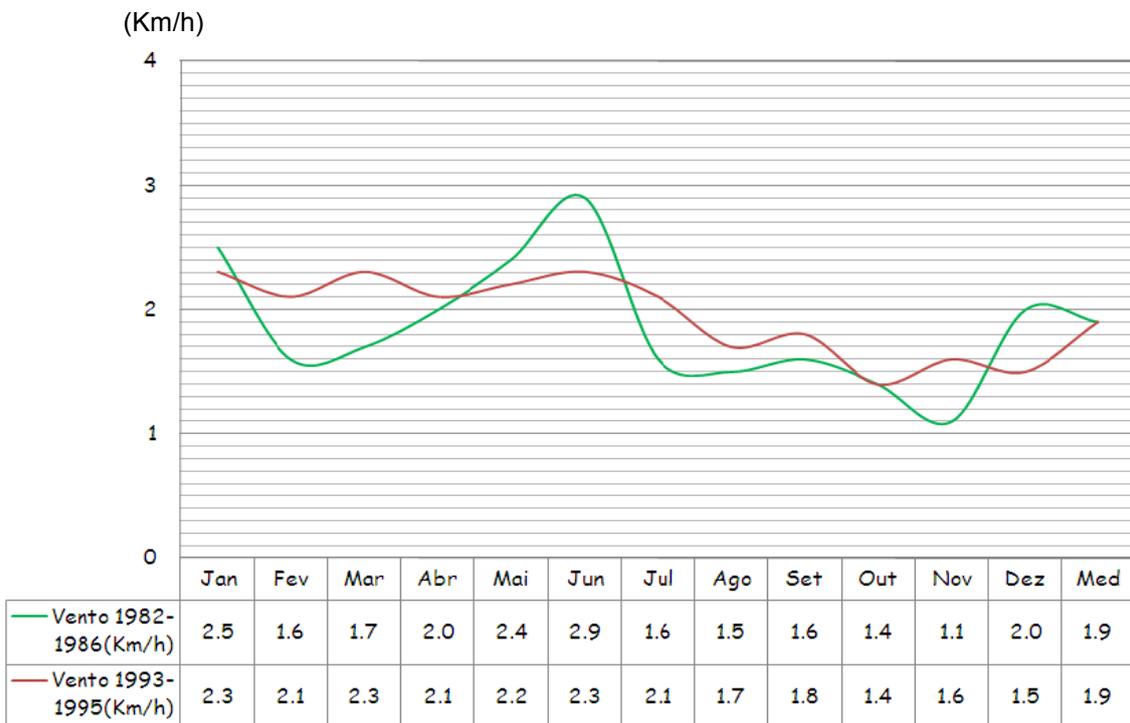


Figura III-20 - Velocidade média do vento (Km/hora) em Lombo de Santa.

Fonte de dados de base: INMG

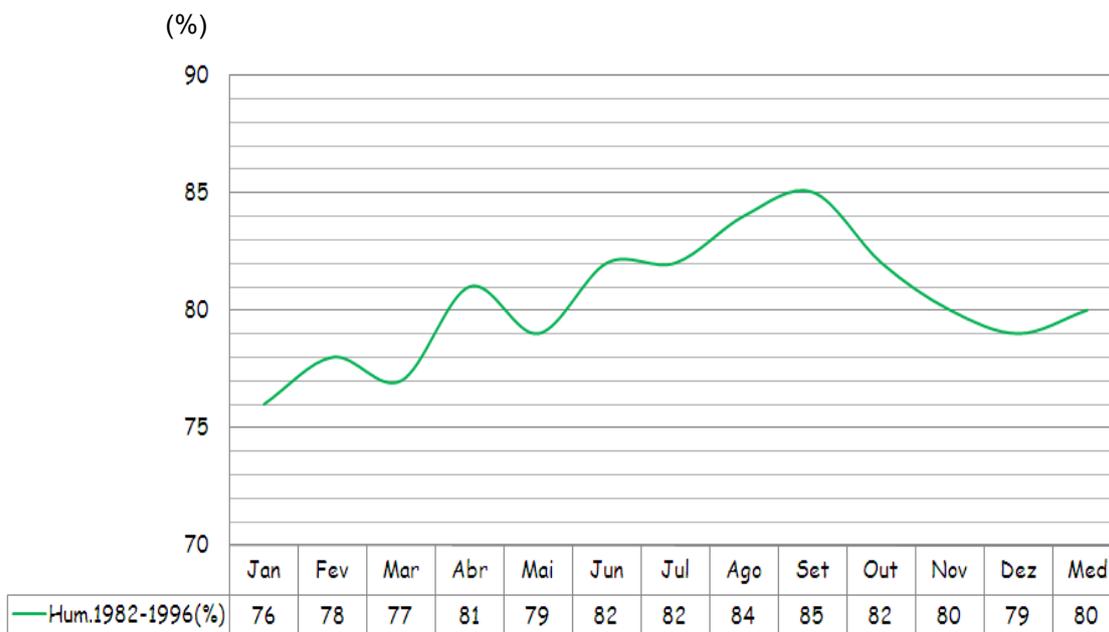


Figura III-21 - Humidade relativa média mensal (%)em Lombo de Santa (1982-1996);

Fonte de dados de base: INMG

### 5.1.5. Aspectos fitogeográficos

No domínio da vegetação natural, a ilha foi percorrida em diferentes épocas por algumas missões científicas, devendo-se destacar, as colheitas de material botânico efectuadas por Bolle, Vogel, Schmidt e Cardoso Junior no século passado, e as de Chevalier em 1933, Grandvaux Barbosa em 1956, Sunding em 1980, Killian em 1982 e Lobin em 1982. Mais recentemente, no âmbito da elaboração da carta agroecológica e da vegetação, foram realizadas, de acordo com a respectiva memória descritiva, 300 observações que terão permitido a colheita e análise de 200 plantas, individualizando 20 comunidades vegetais. Para cada comunidade apresenta-se uma listagem de espécies mais relevantes, sendo as três primeiras as que definem ou caracterizam a comunidade e, as seguintes dispostas por ordem decrescente de abundância ou frequência.

A carta apresentada na Figura III-22 representa as unidades vegetais identificadas na carta agroecológica e da vegetação e auxiliada pela respectiva memória descritiva. A referida informação de base reagrupa as comunidades vegetais em função de unidades bioclimáticas, como se poderá constatar no anexo IV Globalmente, a vegetação da ilha de Santo Antão é caracterizada como nitidamente xerofítica e subxerofítica, com dominância de espécies maioritariamente anuais e, curtamente vivazes.

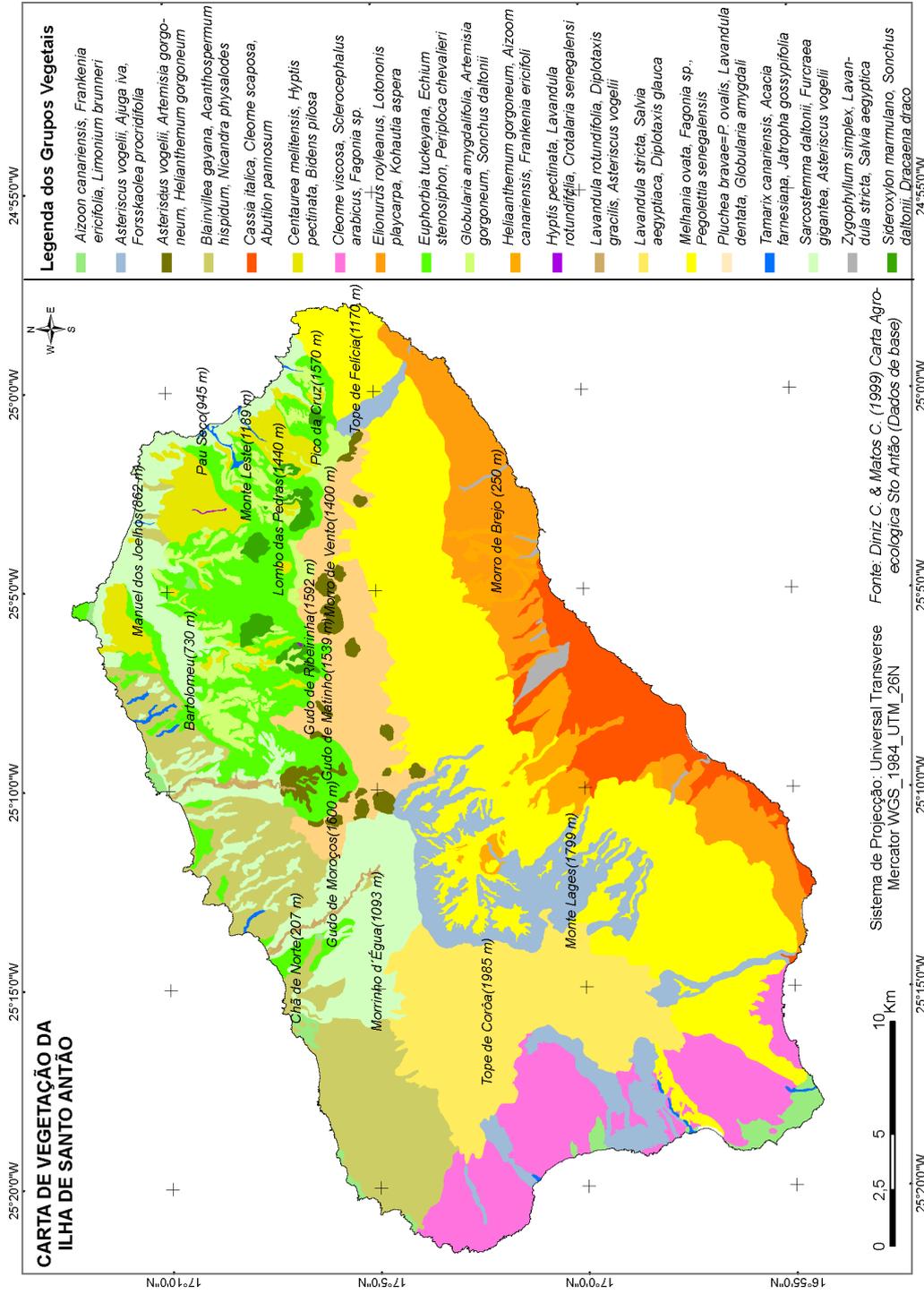


Figura III-22 - Carta de Identificação das Comunidades Vegetais da ilha de Santo Antão;

Fonte de dados de base: Diniz e Matos (1999). Nota: Carta reproduzida no âmbito do presente trabalho de dissertação

Percorrendo a ilha constata-se que, no sentido descendente, a vegetação torna-se progressivamente mais ressequida, muito esparsa e de reduzida expressão lenhosa. Esta realidade difere-se na região com altitudes superiores a 1500 metros, a qual integra a parte superior do complexo montanhoso de Topo de Corôa, onde a vegetação apresenta características das zonas áridas e semi-áridas. Nas áreas de cultivo que dependem do regime pluvial, a vegetação reduz-se a um coberto herbáceo pouco denso, típico dos terrenos agricultados, com grande predomínio de plantas anuais e efémeras, principalmente das famílias das Amaranthaceae, das Asteraceae e diversas gramíneas com algum interesse forrageiro. Contudo, a disponibilidade água de origem superficial e subterrânea, proporciona a actividade agrícola irrigada, com maior intensidade nas regiões com exposição Nordeste, destacando-se as Bacias Hidrográficas do Paúl e, da Ribeira Grande.

Relativamente a vegetação endémica, constata-se que a ilha dispõe de maior concentração de endemismos a nível do Arquipélago de Cabo Verde. A título exemplificativo, na localidade de Moroços concentram-se uma dúzia de espécies endémicas numa área inferior a 1ha. Reconhecendo a necessidade de preservação desta biodiversidade, foram identificadas 4 áreas que deverão integrar a rede nacional de áreas protegidas, não tendo sido, ainda, definidos os limites das citadas áreas. Estas áreas correspondentes a citada localidade de Moroços, a região abrangendo Cova e a parte superior da Bacia Hidrográfica do Paúl, Pico da Cruz e Topo de Coroa.

#### **5.1.6. Os recursos hídricos**

O inventário dos recursos hídricos da ilha de Santo Antão, realizado pelo INGRH entre 2003 e 2008, revela a situação num determinado momento em cada ponto de água. Apesar de ser informação estática, trata-se de informação de importância transcendental, pois constitui o único inventário exaustivo dos recursos hídricos e infra-estruturas hidráulicas até então realizado na ilha.

Entre as informações recolhidas, destacam-se os dados relativos a localização geográfica e a parâmetros quantitativos e qualitativos da água nomeadamente

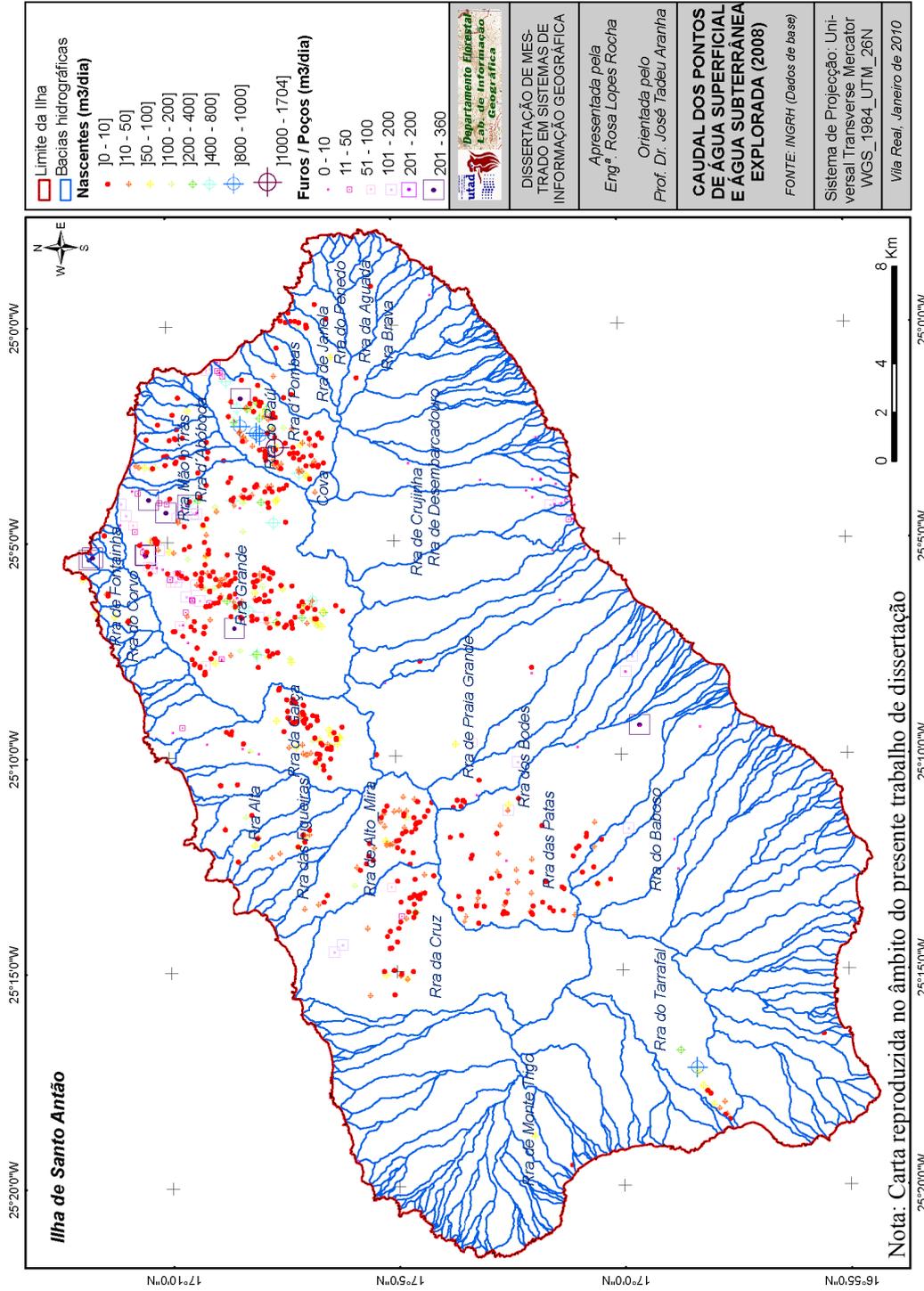


Figura III-23 - Localização dos pontos de água inventariados entre 2003 e 2008 na ilha de Santo Antão e respectivos caudais diários; Fonte de dados de base: INGRH - Inventário dos recursos hídricos.

o caudal, a condutividade eléctrica, o pH e a temperatura, bem como informações relativas as infra-estruturas de captação, armazenamento.

No âmbito do presente trabalho, os dados relativos ao referido inventário e disponibilizados em formato analógico, foram digitalizados, integrados no SIG e analisados. Sublinha-se que, tendo como objectivo a apresentação de dados que reflectisse a realidade o quão fiável possível, deficiências detectadas pela analista face ao conhecimento da realidade, foram comunicadas ao INGRH tendo sido, na sequência, parcialmente corrigidas por equipas de terreno disponibilizadas pela Instituição. Contando ainda com a colaboração da Delegação do INGRH na ilha, foram efectuados levantamentos de dados complementares que se revelaram necessários, nomeadamente relacionadas com os resultados negativos da prospecção de água subterrânea.

A carta apresentada na figura seguinte, mostra a localização dos pontos de água superficial e subterrânea, evidenciando os caudais diários disponíveis, organizados em classes. De acordo com os citados dados, a ilha dispõe de 718 nascentes e, que perfazem um caudal diário total de 27.906m<sup>3</sup>. Relativamente a água subterrânea, os dados revelam que foram realizados, até o término do inventário em 2008, 95 furos cujo caudal diário varia entre 0 e 300m<sup>3</sup>. Apenas 36 furos apresentam o caudal diário superior a zero, totalizando 5.779 m<sup>3</sup>/dia e perfazendo uma média de 160,5m<sup>3</sup> por furo. Adicionalmente foram inventariados 49 poços totalizando 2.263m<sup>3</sup>/dia sendo que 86,6 e 11 % do volume, localiza-se em Ribeira Grande e no Paúl, respectivamente. Dos 12 poços existentes em Porto Novo, apenas 4 dispõem de água e correspondem a um total de 53 m<sup>3</sup>/dia. Relativamente a profundidade da disponibilidade de água, de ntre os 95 furos inventariados apenas 50 dispõem de dados relativos a profundidade no citado inventário. Estes apresentam uma profundidade que varia entre os 20 e os 253m, totalizando 3726m de prospecção e, correspondendo a uma média de 74,5m por furo. Apenas 13, todos localizados no concelho do Porto Novo, ultrapassam os 100 metros. Dos 49 poços inventariados, 42 dispõe de informações relativas a profundidade, correspondendo a uma média de 9,7 metros, variando entre 2 e 21 metros.

A análise das disponibilidades hídricas por bacia hidrográfica<sup>9</sup> indica que 72% dos pontos de água superficial e 84% do caudal total diário na ilha, concentram nas bacias hidrográficas do sector norte, as quais representam apenas 21,8% do território. As bacias hidrográficas do Paúl e da Ribeira Grande, localizadas na região norte dispõe, globalmente, de 87,1% dos recursos hídricos superficiais do sector norte e, 73,26% do total disponível da ilha. O gráfico apresentado na Figura III\_ 24 apresenta o volume total de recursos hídricos superficiais disponíveis diariamente nas principais bacias hidrográficas, informação que traduz o nível de importância decrescente das referidas unidades hidrográficas. As bacias hidrográficas com maior disponibilidade de recursos hídricos localizam-se no sector norte da ilha, situação naturalmente relacionada com os maiores níveis de precipitação nas vertentes norte e, que favorece o aparecimento de um maior número de nascentes nessa vertente. A par das bacias hidrográficas de Ribeira Grande e do Paúl, destacam-se por ordem decrescente, as bacias hidrográficas do Tarrafal, da Garça, Alto-Mira, Ribeira da Cruz, Ribeira de Mão para Trás, Ribeira das Patas, Ribeira das Fundas e Ribeira de Janela.

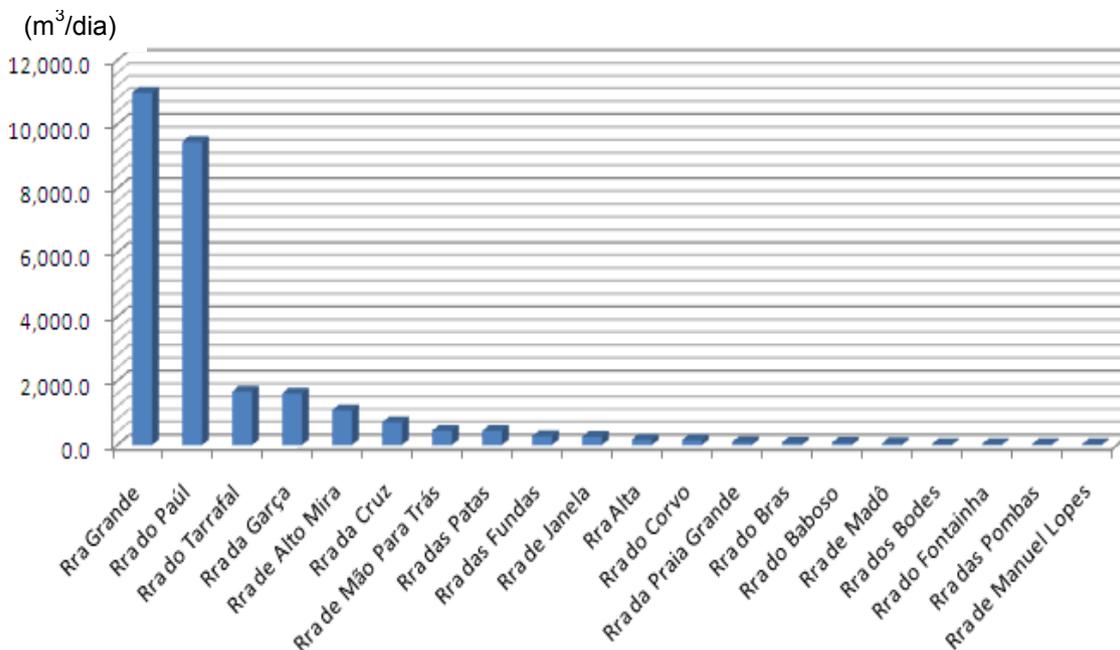


Figura III-24 – Recursos Hídricos superficiais disponíveis (m3/dia) por Bacias Hidrográfica.

Fonte de dados de base: INGRH - Inventário dos recursos hídricos

<sup>9</sup> Sublinha-se que o limite das bacias hidrográficas utilizados resultam dos modelo digital do terreno produzido no âmbito do presente trabalho e apresentado no capítulo correspondentes aos resultados.

Como se pode constatar, nos mapas apresentados nos anexos V e VI, a bacia hidrográfica da Ribeira Grande, apesar de acumular o maior caudal diário disponível, face a sua dimensão, não corresponde ao maior caudal específico, contrariamente a bacia hidrográfica do Paúl. Destacam-se outras bacias hidrográficas com elevado caudal específico, nomeadamente a Ribeira de Mão para Trás, contígua à Ribeira Grande. Sublinha-se ainda a situação da bacia hidrográfica do Tarrafal, localizada no sector sul da ilha e com um significativo caudal específico.

A prospecção de água subterrânea altera a situação de disponibilidade total e relativa a nível das diferentes bacias hidrográficas como se poderá observar no mapa apresentado na Figura III – 25. A carta correspondente ao anexo VII apresenta e os principais usos da água subterrânea actualment disponível, evidenciando a existência de um conjunto de furos inativos. Com efeito, os resultados nem sempre correspondem as previsões das prospecções realizadas. Os factores subjacentes a inatividade constituem uma informação importante para a prospecção futura, sendo apresentados na carta correspondente ao anexo VIII A estrutura geológica interna, a constituição química da água e, a inexistência de água ou, disponibilidade de um caudal mínimo passível de viabilizar o subsequente equipamento constituem as principais causas identificadas. Observa-se contudo que, em várias regiões da ilha não existem dados relativos prospecção de água subterrânea. A inexistência de acessos constitui o principal factor limitativo a realização da prospecção nas citadas regiões.

Relativamente as características da água subterrânea disponível, os dados indicam que a temperatura média corresponde a 26,3 °C, sendo o valor mais baixo correspondente a 17 °C e, o mais elevado correspondente a 33 °C. A condutividade eléctrica, parâmetro normalmente usada para medir a quantidade de sais dissolvidos na água e, importante indicador da qualidade da água, constata-se que os 36 furos analisados apresentam uma condutividade eléctrica média correspondente a 1014 µs/cm, valor extremamente elevado. O valor mais baixo registado de 57 µs/cm corresponde ao furo FSA1-028, localizado na bacia hidrográfica de Ribeira da Torre. Sublinha-se que, quanto

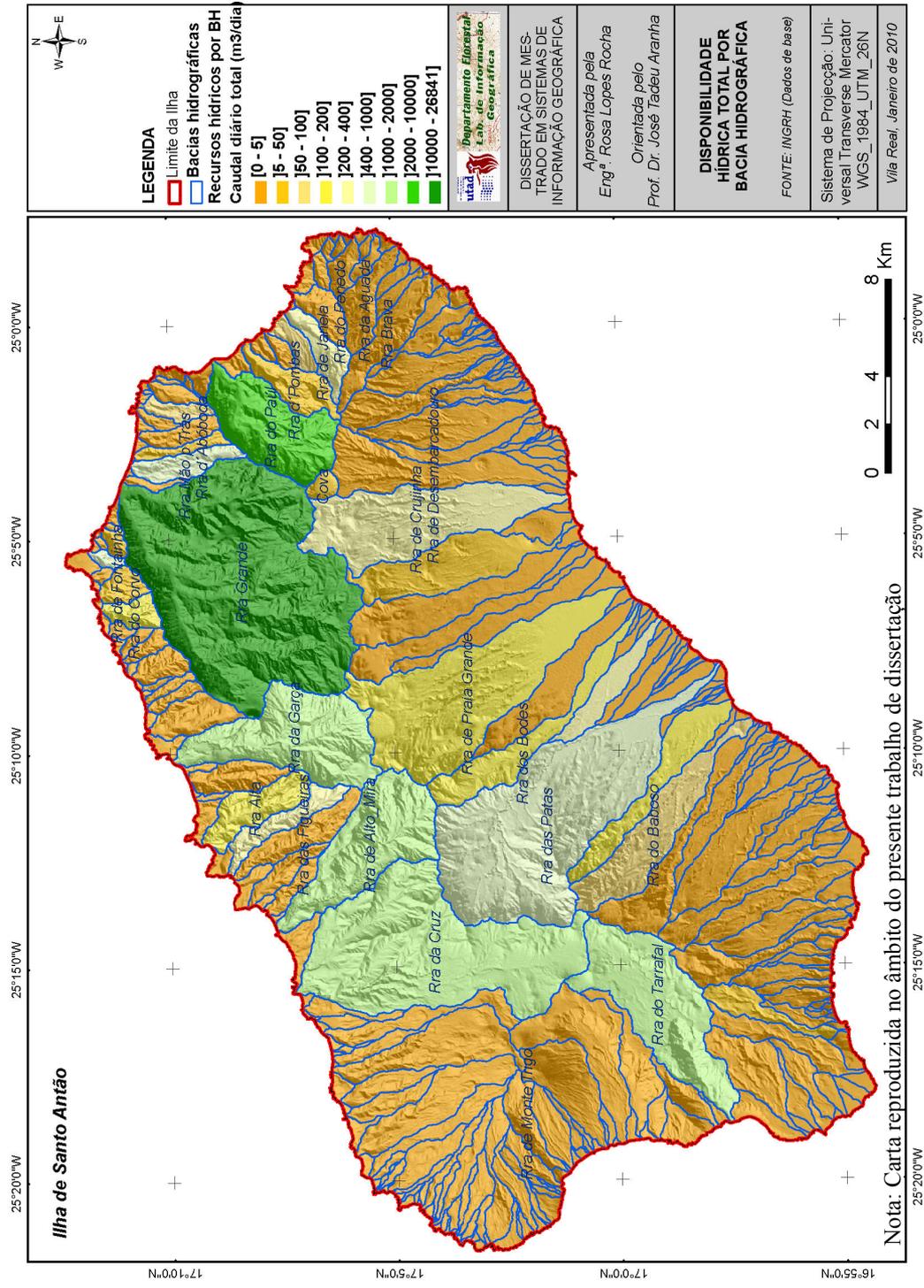


Figura III-25 - Caudal total de recursos hídricos disponível diariamente por Bacia Hidrográfica (até 2008),

Fonte de dados de base: INGRH - Inventário dos recursos hídricos

mais quente é uma água, mais liberdade de movimento têm os iões, que são os condutores da corrente eléctrica. Normalmente quando se refere um valor de condutividade da água é à temperatura de 25 C°. No caso da ilha de Santo Antão em que a temperatura média é superior a este valor (26,3 °C), atingindo 33°C, seria necessário efectuar a correcção dos valores obtidos. Por outro lado, a média da condutividade obtida é inflacionada por dois valores extremamente elevados, um dos quais apresenta 4.790µs/cm e se localiza em Afonso Martinho a cota de 37m, possuindo uma profundidade de 38 metros, ou seja é explorada abaixo do nível médio do mar. O segundo valor mais elevado corresponde 4.300µs/cm, localizando o furo relativamente próximo do litoral na Cidade do Porto Novo, sendo a água utilizada no processo de dessalinização industrial para o abastecimento da referida Cidade.

No que se refere aos poços, a condutividade eléctrica média da água corresponde a 1.195,8µs/cm, variando entre 300 e 3.050µs/cm. Relativamente ao parâmetro acidez, os dados registados para os 36 furos corresponde a valores inferiores à unidade ou seja, a água seria extremamente ácida. Considerando o predomínio de rochas basálticas, pode-se inferir que, terá ocorrido um erro de medição.

Relativamente aos factores naturais condicionantes da disponibilidade hídrica, sem prejuízo de uma análise mais aprofundada que o tema merece, constata-se que a localização dos pontos de água superficial relaciona-se, geralmente, com a variação os níveis pluviométricos a par do substrato geológico. Relativamente a este último factor, os dados subjacentes à carta apresentada na Figura III - 26 indicam que 78.1% dos pontos de água superficial na ilha (711), equivalente a 77% do caudal diário (21.684 m<sup>3</sup>/dia) estão associados ao substrato geológico “basanitos intercalados com diques e piroclastos”, representado pela sigla “ov”. Corresponde aos vulcões antigos, sendo a idade geológica a mais antiga da ilha (Plioceno – 7,5 à 2 ma). Segue o substrato geológicos correspondente aos Vulcões mais pequenos e intermédios, predominando diferentes basanitos, predominantemente lavas traqui-basálticas e defríticos, mais neflinica, representados pela sigla “ivl” e correspondente a idade geológica seguinte (Pleistoceno 1.4 - 0.7 ma). Representa 15,4% (140) do nº total de pontos de água e, 18% (5072 m<sup>3</sup>/dia) do caudal diário total.

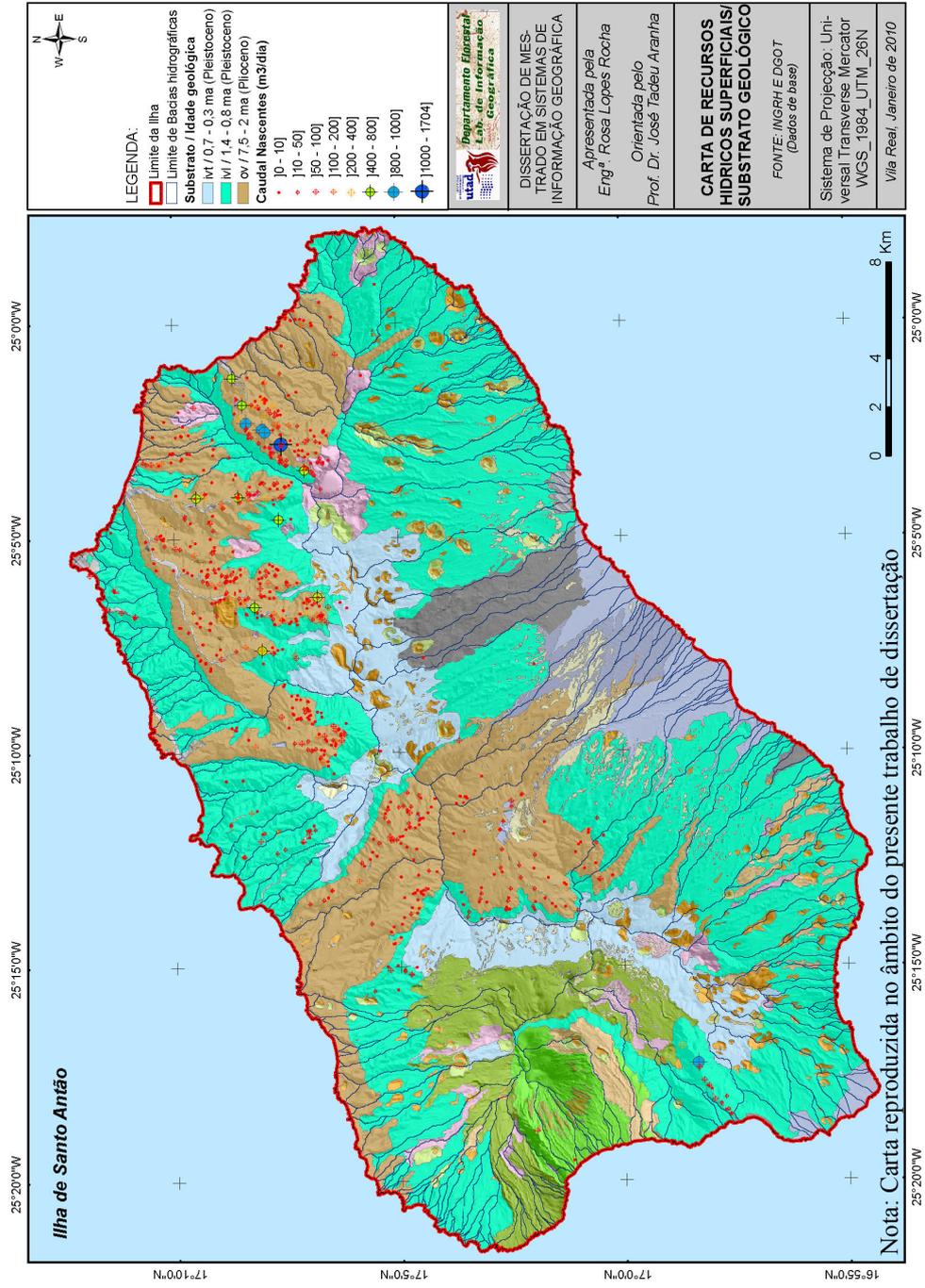


Figura III-26 - Sobreposição dos pontos de água superficial ao substrato geológico

Fonte de dados de base: INGRH – Inventário dos recursos hídricos e Carta Geológica



## IV. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo, são apresentadas as metodologias de trabalho e as técnicas adoptadas na prossecução dos objectivos fixados, a par da apresentação dos dados que o serviram de base.

Tratando-se de um trabalho de capacitação académica e de suporte à investigação, recorrendo a ciências e tecnologias de informação geográfica, houve a preocupação de conhecer diferentes metodologias operativas e, não apenas, de saber utilizar os equipamentos (*hardware*) e as aplicações informáticas (*software*) disponíveis. Fundamentada em ciências subjacentes aos Sistemas de Informação Geográfica, o presente trabalho recorre a tecnologias e ferramentas adaptáveis a cada situação em análise. É neste âmbito que a aplicabilidade de algumas ferramentas na produção de resultados pretendidos, face aos dados de base disponíveis, é demonstrada. Com efeito, a criação de um SIG não é assumida como um fim em si mesmo mas sim como um meio de suporte tecnológico, visando suportar a tomada de decisões inerentes à gestão territorial. O esquema metodológico apresentado na figura seguinte consubstancia a metodologia adoptada. O trabalho desenvolveu-se em três fases:

1. A primeira fase corresponde a montagem de uma base de dados geográficos visando a caracterização biofísica da área de estudo, a ilha de Santo Antão.
2. A segunda fase corresponde ao desenvolvimento de um modelo de integração, visando a definição de unidades biofísicas na região.
3. Na terceira e última fase os resultados obtidos foram analisados e validados recorrendo ao teste “t de Student” e subsequente contextualização face a outras informações e análises do meio físico desenvolvidos por outros autores, recorrendo a metodologias diferentes.

No ponto 4.3 serão apresentadas as principais tarefas desenvolvidas e procedimentos.

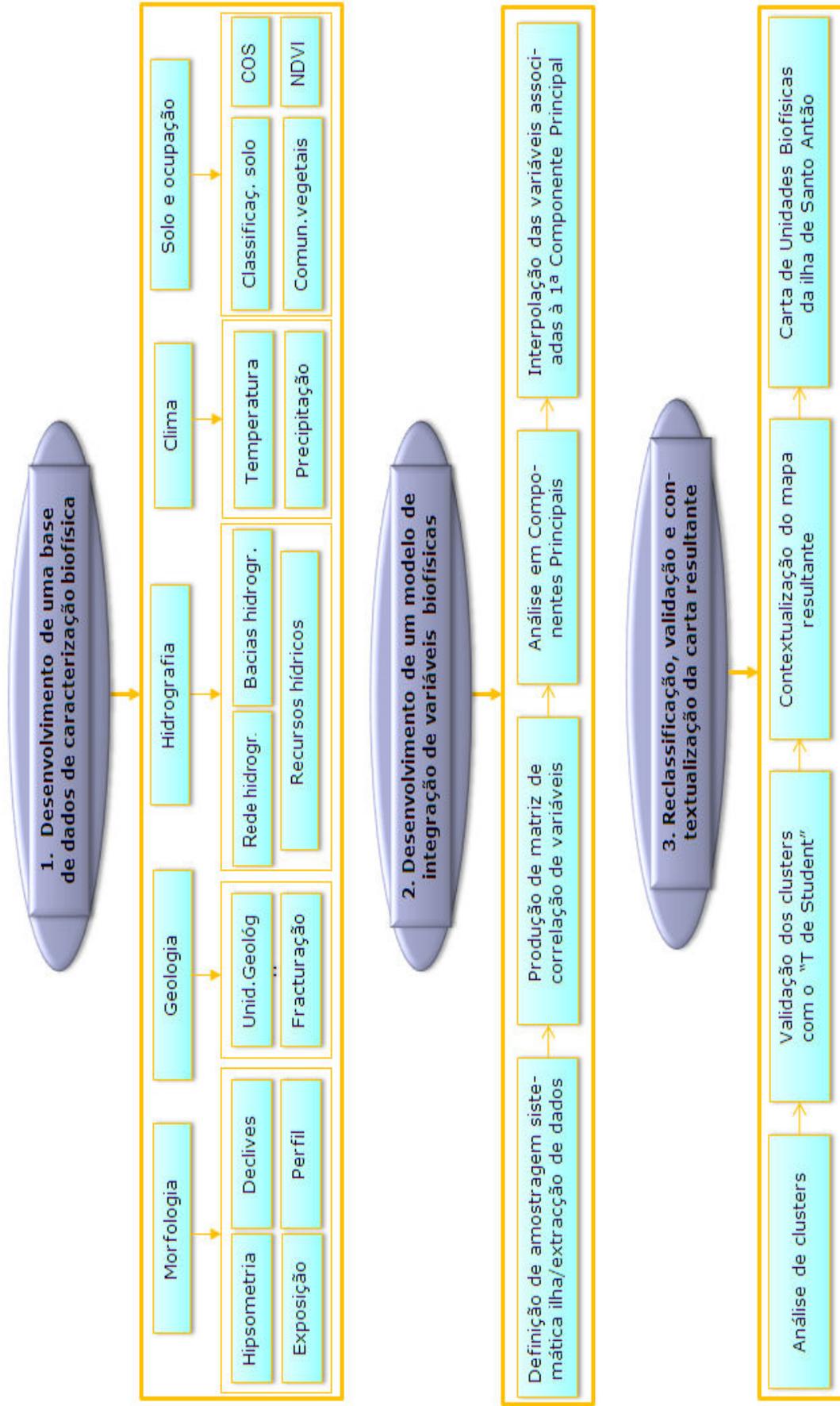


Figura IV-1 - Esquema metodológico adoptado na caracterização biofísica da ilha de Santo Antão  
 Fonte: Elaborado no âmbito do presente trabalho de dissertação

#### 4.1. EQUIPAMENTOS E SOFTWARES UTILIZADOS

Enquadrando-se este trabalho no curso de Pós Graduação e Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, realizado pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, o processamento e análise dos dados foi desenvolvido no Laboratório SIG que integra o Departamento de Ciências Florestais e Arquitectura Paisagística, que integra a referida Universidade. Nesse âmbito, foram disponibilizados equipamentos (*hardware*) e programas informáticos (*software*) necessários às diferentes aplicações no domínio dos SIG, Detecção Remota e Análise Estatística.

Entre os equipamentos utilizados, destaca-se o computador de mesa, um computador portátil e o *Scanner*. A recolha de dados de campo, ainda que pontualmente, foi permitida por um equipamento GPS/PDA, cujo *software* Arc Pad (producto da ESRI) instalado possibilitou o levantamento de dados no terreno em formato vectorial, nomeadamente pontos, linhas e polígonos e subsequente adição de informações complementares nas tabelas de atributos subjacentes.

Relativamente ao *software*, face à disponibilidade e a capacidade demonstrada para responder a um conjunto de procedimentos necessários ao presente estudo, o ArcGIS™ Desktop versão ArcInfo™ constituiu a ferramenta de base para os trabalhos de geoprocessamento desenvolvidos. Entre os programas e extensões utilizados, destacam-se o Arc Map, o Arc Catalog, o 3D Analyst, o Spatial Analyst, o Geostatistical Analyst, o Arc Scan e o Arc Scene. O ArcToolbox facilitou o acesso a um maior número de ferramentas de conversão, manutenção e análise de dados, processamento de mapas, definição e/ou transformação de sistemas de coordenadas, entre outros.

Contudo, tratando-se de um programa de base vectorial, apesar de dispor actualmente de um conjunto de extensões no domínio matricial, o ArcGIS não respondeu a todas as necessidades de geoprocessamento, nomeadamente relacionadas com a manipulação de imagens de satélite, tendo-se recorrido, em complementaridade, ao programa IDRISI (versão Idrisi32), programa de base matricial, que apresenta um conjunto de ferramentas adequadas ao

processamento de dados em formato raster, nomeadamente as imagens de satélite.

Destaca-se, ainda, a utilização do software estatístico JMP, o qual permitiu o desenvolvimento do processo de análise multivariada dos dados produzidos em ambiente SIG e dos programas que integram o Microsoft Office nomeadamente o Access utilizado na concepção de bases de dados relacionais, a folha de cálculo Excel 2007 que permitiu o tratamento e análise de dados e a produção de gráficos, o Word 2007 que permitiu a concepção dos textos e o PowerPoint utilizado na produção de diapositivos para apresentações. Sublinha-se ainda a utilização do programa Adobe Photoshop 7.0 o qual facilitou a manipulação de imagens nomeadamente a carta agroecológica e da vegetação e, cujo procedimento será apresentado no ponto seguinte.

#### **4.2. FONTES, ESTRUTURA E QUALIDADE DOS DADOS**

O levantamento exaustivo de informações relativa à ilha de Santo Antão, permitiu reunir um conjunto de dados existentes em diferentes Instituições, maioritariamente em formato analógico e, passíveis de suportar a caracterização biofísica do território. De entre as instituições destacam-se a Direcção Geral de Ordenamento do Território (DGOT), o Instituto Nacional de Investigação e Desenvolvimento Agrário (INIDA), a Direcção Geral de Agricultura, Silvicultura e Pecuária (DGASP), a Direcção Geral do Ambiente (DGA), o Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos (INGRH), o Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), a Delegação do Ministério do Ambiente, Desenvolvimento Rural e Recursos Marinhos na ilha de Santo Antão, a Delegação do INGRH na mesma ilha, a representação do INMG e Câmara Municipal de Ribeira Grande. Citam-se ainda com fontes complementares de dados, o Instituto de Investigação Tropical em Portugal onde foi disponibilizada a carta agrícola da ilha e, diferentes páginas Web.

O quadro correspondente ao anexo I apresenta os principais dados que serviram de base ao presente, indicando as respectivas fontes e formatos. Importa contudo destacar alguns dados, face à relativa importância para o trabalho:

- A *carta militar da ilha de Santo Antão* foi cedida, em formato analógico à escala 1:25000, pela Câmara Municipal de Ribeira Grande. Tendo sido concebida pelo Instituto Geográfico do Exército Português em meados do século passado, foi parcialmente actualizada pela NATO no âmbito das operações militares desenvolvidas no arquipélago de Cabo Verde em 2007. Esta carta serviu de suporte a vectorização de dados complementares à cartografia de base;
- As *ortoimagens* produzidas pela empresa Municípa –SA em 2003, foram disponibilizadas pela DGOT. Apresentam uma resolução espacial de 0,5m, exceptuando as áreas urbanas cujos estratos correspondem a uma melhor resolução. Tendo servido de base à produção de cartografia de base fornecida em formato vectorial, nomeadamente a *altimetria* (curvas de nível com espaçamento de 5 metros e pontos cotados) e a *planimetria* (rede hidrográfica, edifícios, a rede viárias e outras infra-estruturas);
- A *carta geológica*, disponibilizada pelo INGRH em formato imagem (\*.tif), apresenta como autores F.K.Kusserou, H.Munier.K e B. Meissner. Não tendo sido disponibilizada a correspondente memória descritiva, recorreu-se a fontes adicionais para a sua interpretação;
- A *carta agroecológica e da vegetação*, publicada em formato analógico à escala 1:50.000 em 1996 com a respectiva memória descritiva, foi disponibilizada pelo INIDA, tendo como principais autores C. Diniz C. e C. Matos;
- Os *dados de precipitação diária*, registados nos diferentes postos udométricos da ilha entre 1980 e 2009, foram disponibilizados por diferentes instituições e formatos, destacando-se o INMG. O levantamento das coordenadas geográficas dos postos udométricos, viabilizando a integração dos dados pluviométricos no SIG;
- O *inventário dos recursos hídricos*, integrando um conjunto de dados nomeadamente a localização espacial dos pontos de água e infra-estruturas associadas, o caudal, a temperatura, o pH a condutividade, entre outros, foi realizado pelo INGRH entre 2003 e 2008. Foram disponibilizados em formato analógico, tendo sido digitalizados manualmente no âmbito do presente

trabalho. A constatação de algumas insuficiências condicionou um intenso trabalho de terreno de uma equipa da Delegação do INGRH na ilha, tendo-se minimizados as falhas; e

- *As imagens de satélite Landsat TM e ETM+* da região acedidas gratuitamente através do site <http://glovis.usgs.gov>. Face à deficiente qualidade, muitas imagens foram eliminadas, tendo sido retidas apenas seis correspondentes a datas irregulares, entre 1999 e 2007.

### **4.3. TAREFAS DESENVOLVIDAS**

As tarefas subsequentes envolveram:

- a) A estruturação de uma base de dados, a pesquisa de informações relevantes para os fins do estudo, a preparação dos dados e subsequente introdução num SIG;
- b) A produção de novos dados recorrendo a técnicas de geoprocessamento, a análise espacial e estatística dos dados individuais e o desenvolvimento de uma metodologia de análise integrada variáveis biofísicas, associando as tecnologias em ambiente SIG à análise estatística multivariada;
- c) A interpretação dos resultados baseando-se no conhecimento científico e estabelecimento do paralelo com outros dados produzidos com recurso a metodologias diferentes;
- d) A apresentação dos resultados adequados para cada situação em análise através do presente relatório de dissertação em formato analógico e de uma base de dados em formato digital XV ao relatório.

#### **4.3.1. Pesquisa de dados**

A pesquisa de dados iniciou-se em Março de 2008, no decurso da fase curricular do curso de pós-graduação e mestrado em SIG. Esta fase permitiu constatar um conjunto de problemas relacionados com a disponibilidade de dados geográficos passíveis de suportar a tomada de decisões tendentes a uma gestão territorial integrada e sustentável a nível da ilha de Santo Antão.

Os dados acedidos e as fontes utilizadas foram apresentados no ponto 4.2. Sublinha-se que, exceptuando os dados disponíveis a nível da DGOT em formato vectorial e matricial, a carta geológica a nível do INGRH em formato imagem e algumas tabelas de dados referentes às precipitações, a informação encontrava-se em formato analógico, geralmente dispersa e incompleta. Acresce, ainda, o facto de algumas informações importantes, com destaque para a classificação dos solos, não existir. Por outro lado, a necessária aquisição de imagens de satélite visando a extracção de dados passíveis de complementar a caracterização do território, normalmente importa custos elevados. Não sendo possível suportar os custos inerentes à aquisição de dados com espaçamento regular nos últimos 30 anos visando inferir sobre a evolução recente do território, optou-se pela utilização dos dados disponíveis gratuitamente.

#### **4.3.2. Desenvolvimento do Projecto SIG**

A montagem do projecto SIG passou pela definição do sistema de coordenadas a adoptar, pela conversão de mapas pré-existentes para formato digital, a compilação de novos mapas, ortofotomapas, imagens de satélite, levantamentos de campo e, a criação de novos mapas a partir da análise das bases de dados existentes.

A estruturação da base de dados constituiu a etapa inicial do trabalho mas, ao longo do trabalho foi necessário introduzir pontuais adequações visando responder alguns desafios que foram surgindo. Os dados de base e os dados produzidos no âmbito do presente trabalho, quer em formato matricial, foram progressivamente armazenados e geodatabases (\*.mdb), tendo em atenção a acessibilidade por outros utilizadores e a portabilidade. A seguir serão apresentadas as principais tarefas desenvolvidas inerentes a montagem do SIG:

##### *a) Definição do sistema de coordenadas*

A definição do sistema de coordenadas a utilizar no SIG constituiu a etapa inicial do processo de montagem do sistema. Em Cabo Verde, constata-se que, a cartografia disponível adopta, fundamentalmente, dois sistemas de

Projeção: o “*Universal Transverse Mercator*” (*UTM WGS84*) e a “Cónica Secante de Lambert. A cartografia de base e as ortofotomapas fornecidas pela DGOT, Instituição responsável pelo sector do planeamento e ordenamento do território, não apresentam o sistema de coordenadas explícito. Contactando a instituição foram fornecidos os dados que permitiram a definição do sistema implícito, correspondente a “Cónica Secante de Lambert. Por outro lado, as “Cartas Militares” na escala 1:25.000 tradicionalmente utilizadas em Cabo Verde apresentam o sistema de Projeção universal, UTM-WGS84. Em função da localização das diferentes ilhas nos dois fusos horários abrangentes, 26 ou 27, são adoptados diferentes Datuns locais. Por razões apresentadas no anexo XIV adoptou-se para o SIG em construção o sistema de coordenadas UTM-WGS84-26N<sup>10</sup>. O passo seguinte foi a reprojeção dos dados atrás referidos que integram o limite oficial da ilha, para o sistema UTM-WGS84-26N, que constituiu a referência espacial para os dados introduzidos nas fases seguintes.

#### *b) Preparação e introdução de dados no SIG*

A preparação dos dados disponíveis visando a integração no SIG envolveu vários procedimentos, em função do formato e estrutura dos dados. As cartas em formato analógico, nomeadamente as 11 folhas da carta militar na escala 1:25.000 e a carta agroecológica e da vegetação na escala 1:50.000 foram rasterizadas e posteriormente integradas no SIG em formato imagem (\*.jpg), tendo-se tido o cuidado de estabelecer o melhor compromisso entre a qualidade da imagem e a portabilidade dos dados. Em ambiente ArcGIS estas cartas foram georreferenciadas e convertidas para o formato vectorial, sendo os procedimentos apresentados no ponto seguinte. Relativamente a carta geológica e a carta agrícola, ambas fornecidas em formato imagem, foram adicionadas ao projecto no referido formato, seguindo-se a georreferenciação e a extracção dos dados, a semelhança das cartas anteriormente citadas. No que se refere as imagens de satélite a sua integração no projecto em ambiente ArcGIS foi precedida da importação das diferentes bandas espectrais para o ambiente IDRISI32, e subsequente processamento e extracção de informação. As cartas temáticas produzidas foram exportadas para o formato da ESRI ARCRASTER, permitindo a sua integração no projecto em ArcGIS e análise

---

<sup>10</sup> A ilha de Santo Antão localiza-se no fuso 26N.

integrada. Outros dados disponíveis em formato analógico, nomeadamente o inventário dos recursos hídricos, cujas coordenadas X e Y para os diferentes pontos forma registadas com um GPS (sistema UTM-WGS84) foram integrados através da geometria de coordenadas no SIG após digitalização em tabelas. Grande parte dos dados adicionados às tabelas de atributos dos dados em formato shapefile, nomeadamente resultantes do processo de vectorização das cartas, manualmente. Relativamente a cartografia de base fornecida em formato CAD (Computer Aid Design), foi adicionada ao Projecto SIG e exportada para o formato shapefile. A estrutura dos dados condicionou um tratamento específico visando viabilizar a produção do MDT. Os procedimentos levados a cabo serão descritos na alínea e) deste ponto.

*c) Georreferenciação de dados em formato imagem*

A georreferenciação das cartas introduzidas no SIG em formato imagem, nomeadamente, a carta militar, a carta agroecológica e a carta geológica constituiu um procedimento preliminar visando a extracção de dados espaciais necessárias à análise integrada. Relativamente a carta militar, cujo sistema de coordenadas corresponde ao UTM-WGS84, coincidente com o sistema de coordenadas adoptado para o Projecto SIG e, constituída por 11 folhas, foi inicialmente produzida uma grelha em formato polígono correspondente as coordenadas extremas de cada folha. Posteriormente foram identificadas as coordenadas X e Y correspondente a pontos (no mínimo 4) devidamente distribuídos em cada uma das 11 folhas, seguindo-se a introdução dos dados correspondentes no sistema. A correcta localização espacial foi aferida pela referida grelha e, pelo limite da ilha disponível em formato vectorial.

Relativamente as cartas agroecológica e da vegetação, geológica e agrícola, não sendo possível o procedimento anterior face a ausência de dados impressos nas carta recorreu-se ao limite da ilha como informação de referência, para efectuar a georreferenciação. Para tal foram identificados pontos reconhecíveis nos limites de cada imagem e do limite da ilha no ficheiro em formato shapefile. Para cada ponto fez-se deslocar a imagem em função da localização do ponto equivalente na informação de referência. Tentou-se, o quão possível minimizar o erro num processo interactivo, de eliminação e acréscimo de pontos. Face a menor escala das imagens (1:50.000 no caso da

carta agroecológica e da vegetação e, da carta geológica) comparativamente a informação de referência ou seja o limite da ilha (1:10.000), constatou-se um menor nível de pormenor no limite da ilha a nível das referidas cartas. Sendo a escala do presente trabalho 1:10.000 correspondendo à cartografia de base, a vectorização dos dados que integram as cartas com menor nível de precisão poderá ser considerado um erro pois, não se pode aumentar precisão numa informação já produzida. Contudo, na ausência de outra informação com melhor precisão, estes dados foram utilizados.

Após a georreferenciação foram gravados os ficheiros correspondentes, seguindo-se a atribuição do sistema de coordenadas do Projecto SIG aos citados dados.

#### *d) Conversão de dados*

O desenvolvimento do SIG exigiu a conversão de dados, em função do formato origina e dos fins em causa. Destaca-se: i) a conversão de dados disponibilizados em formato analógico através da rasterização; ii) a conversão de dados em formato shapefile para o formato matricial visando a aplicação de operações matemáticas designadas álgebra de mapas, entre outros; iii) a conversão dos dados altimétricos (curvas de nível e pontos cotado) para o formato TIN através da interpolação; iii) a conversão da TIN para o formato matricial, visando a obtenção de variáveis morfométricas, designadamente as cartas hipsométricas, de declives, curvatura e exposição; iv) a conversão de dados em formato shapefile para o formato matricial visando a aplicação de operações matemáticas designadas álgebra de mapas, entre outros. Alguns desses procedimentos levados a cabo, serão descritos nos pontos seguintes, entre outras.

#### *e) Extração de dados*

A extração de dados existentes em formato imagem envolveu diferentes procedimentos, nomeadamente i) a vectorização manual de dados da carta militar nomeadamente visando complementar a cartografia de base disponibilizada; ii) a vectorização manual da carta geológica, envolvendo os facturas geológicas e os limites dos estratos; a vectorização da carta

agroecológica recorrendo a processos semi-automáticos; iii) a extracção de valores correspondente a pontos de amostragem a partir de cartas em formato matricial, quer visando a obtenção de dados correspondentes as variáveis auxiliares (altitude e exposição) no processo de interpolação por co-krigagem e, visando o desenvolvimento da metodologia de integração de dados na produção da carta de unidades biofísicas;

#### **4.3.3. Procedimentos específicos referentes a alguns dados**

##### *a) Tratamento dos dados altimétricos visando viabilizar a produção do modelo digital de elevação do terreno*

A cartografia de base, entendida como dados de referência, integrando a representação de entidades naturais e artificiais existentes à superfície da área de estudo, agrupados em altimetria (curvas de nível com espaçamento correspondente a 5 metros e pontos cotados com espaçamento variável) e, planimetria foram disponibilizados em formato CAD (Computer Aid Design), e organizados em função de um cartograma cujos quadrantes apresentam 1Km para as áreas urbanas e 5Km para a restante superfície da ilha.

Relativamente a planimetria, as informações disponíveis foram filtradas, retendo-se os necessários ao enquadramento geográfico e administrativo da área de estudo, nomeadamente o limite administrativo da área de estudo, os aglomerados populacionais, as vias de comunicação, limite dos centros urbanos, edifícios e infra-estruturas a par de outros dados necessários à análise fisiográfica do território, nomeadamente a rede hidrográfica. Estas informações foram confrontadas com outras, nomeadamente da carta militar e dos ortofotomapas (apresentadas mais a frente). Sublinha-se a existência de algumas áreas sem informação, coincidentes com a presença de nuvens nos ortofotomapas que serviram de base a produção da cartografia que nos foi disponibilizada. Por outro lado, os dados planimétricos fornecidos não os limites administrativos no interior da ilha, nomeadamente os limites dos 3 Concelhos, bem como a tiponímia da rede hidrográfica. Daí a necessidade de adicionar as citadas informações complementares, recorrendo à carta militar.

No que se refere à rede viária, a par das citadas falhas, apresentava-se desactualizada face a recente construção de uma importante via de acesso na ilha, a qual foi fornecida pelo Ministério da Infra-estruturas e Transportes e, adicionada à planimetria.

Relativamente a altimetria, a par de constituir uma informação que integra a cartografia de base apresentada em diferentes cartas temáticas, constituiria o suporte à produção do Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDT) da área de estudo. Tendo em conta a estrutura dos dados fornecidos e a necessidade de cobertura integral da área de estudo (785 Km<sup>2</sup>), os procedimentos foram mais complexos. Com efeito, os dados altimétricos fornecidos totalizavam 1,6 GB, sendo que 1,58GB correspondiam às curvas de nível. Revelando-se impossível o processamento dos dados pelos sistemas informáticos disponíveis, tentou-se numa primeira fase, a segmentação da área de estudo para a produção dos correspondentes MDT, a conversão para o formato raster e subsequente junção das imagens, resultou numa imagem fragmentada, revelando falhas de informação em áreas de transição entre alguns estratos. Subsequente, optou-se pela redução da densidade da informação, baseada num compromisso entre a qualidade da informação e o peso do ficheiro.

O aumento do espaçamento entre as curvas de nível de 5 para 10m (resultando num ficheiro com o peso correspondente a 809 MB) e, a subsequente redução do número de vértices, aumentando o espaçamento entre estes através de ferramentas de simplificação, resolveu o problema. Sublinha-se que, neste procedimento tentou-se evitar alterações significativas na estrutura gráfica dos dados, recorrendo a um processo interactivo. Concluindo-se que, o espaçamento correspondente a 1,5m não introduzia alterações perceptíveis na estrutura gráfica das curvas de nível passíveis de introduzir alterações a nível da configuração do relevo e, permitiria o processamento do MDT pretendido.

*b) Reprodução da carta geológica através de digitalização manual:*

Baseando-se na informação gráfica ena legenda da carta, foram produzidos, no âmbito do presente trabalho, através da vectorização manual, dois ficheiros em formato shapefile correspondentes aos estratos litológicos e às fracturas geológicas. Relativamente ao ficheiro polígono, foram adicionados os campos na tabela de atributos necessários a introdução dos dados

constantes da legenda da carta, nomeadamente ao tipo de substrato, sigla correspondente e a idade geológica. Foram ainda adicionadas informações adicionais resultantes da pesquisa efectuada, visando uma caracterização sintética dos diferentes estratos. No capítulo referente aos resultados pode-se observar a sobreposição da informação geológica à carta de relevo sombreado, visando facilitar a análise visual e relacionar os estratos geológicos com a morfologia do terreno. Sublinha-se a apresentação da legenda original em anexo, sendo indicadas na carta as siglas correspondentes. A par desta carta, os dados referentes às fracturas geológicas permitiram a produção da carta de densidade de fracturação geológica.

*c) Reprodução da carta agroecológica e da vegetação, através da digitalização semi-automática*

No processo de vectorização automática da recorreu-se a ferramenta Arc Scan em ambiente ArcGIS para o qual a imagem deve apresentar os dados em formato binário (em que 1 e 0 representam a presença e ausência de informação, respectivamente). Para tal recorreu-se ao programa de tratamento de imagem Adobe Photoshop que permitiu a transformação da informação em duas totalidades (preto e branco), sendo o preto atribuído às linhas correspondentes ao limite dos estratos a rasterizar. Após o citado procedimento, a imagem foi georreferenciada e importada para o Ambiente ArcGIS, especificando no processo de importação, o formato de dados binários. Activando a extensão Arc Scan procedeu-se a vectorização automática das linhas. Contudo, para além das linhas correspondentes às 108 unidades agroecológicas pretendidas, foi vectorizada toda a informação constante, nomeadamente as linhas de grelha, a rede viária, a rede hidrográfica, as anotações, entre outras. Foi então necessário desenvolver uma análise pormenorizada, tendo como referência a imagem original, subtraindo a informação desnecessária. Seguiu-se a adição de campos na tabela de atributos e introdução dos dados correspondentes às unidades agroecológicas, com o auxílio da legenda da carta.

**4.3.4. Produção de cartas temáticas recorrendo a métodos de interpolação espacial**

Tendo em conta que vários dados disponíveis relativos factores biofísicos correspondiam a variáveis discretos, em formato pontos ou linhas, no âmbito

do presente trabalho recorreu-se a métodos de interpolação espacial, visando transformar os citados dados em cartas com informação contínua. Na escolha do método teve-se em conta a tipologia e estrutura dos dados bem como os objectivos específicos. A par de facilitar a análise espacial das variáveis individuais, este procedimento permitiu a produção de informação com variação espacial contínua, necessária ao desenvolvimento do modelo de análise integrada dos dados, auxiliada pelas técnicas de análise estatística multivariada. Adicionalmente, recorre-se a interpolação espacial das variáveis associadas as componentes principais, para produzir a carta de unidades biofísicas. Este tema, pela complexidade e importância será tratado na secção 4.5. A seguir são apresentadas algumas tarefas desenvolvidas no âmbito da produção de alguns dados analisados no capítulo referente aos resultados.

*a) Produção do modelo digital de elevação do terreno*

A geração do modelo digital de elevação do terreno baseia-se num modelo específico de interpolação correspondente a triangulação. Envolve três dimensões, correspondendo a terceira dimensão a cota das curvas de nível e dos pontos cotados. No âmbito do presente trabalho o MDT foi gerado em ambiente ArcGIS. O primeiro passo foi a geração de uma TIN (Triangulated Irregular Network) recorrendo à extensão 3D Analyst através da função “Convert TIN from Features”. Este procedimento baseou no modelo de triangulação mais comum, o de “varrimento radial”. Seguidamente procedeu-se a conversão da TIN resultante para o formato matricial. Os dados produzidos, nomeadamente as cartas hipsométrica, de declives, de exposição e do perfil das vertentes, de relevo sombreado, suportam a caracterização morfológica desenvolvida no capítulo referente aos resultados. Importa referir que , não obstante as curvas de nível utilizadas na geração do MDT apresentarem o espaçamento de 10m, o que permitiria uma resolução espacial correspondente a 10m, adoptou-se o espaçamento de 20m. A par de considerar que este espaçamento não comprometeria a análise morfológica, a resolução é superior a corresponde a outros dados disponíveis que integram a análise, nomeadamente os dados resultantes das imagens de satélite cuja resolução espacial corresponde a 30m.

Sequencialmente procedeu-se a reclassificação dos dados resultantes em função de limites considerados necessários às análises subsequentes. A partir dos dados estatísticos produzidos automaticamente pelo sistema, nomeadamente relacionados com os valores médios, máximos, mínimos e desvios padrão em relação à média, exportação das respectivas tabelas de atributos correspondendo ao nº de píxeis afectos às diferentes classes, permitiu a determinação da superfície territorial correspondente a cada classe, tendo em conta a conhecida área de cada pixel (400m<sup>2</sup>).

Importa sublinhar que, a carta de relevo sombreado, informação que traduz o efeito visual da morfologia da ilha, e apresentada como imagem de fundo nas diferentes cartas produzidas visando facilitar a análise espacial, adoptou-se a fonte iluminação correspondente a 45° acima do horizonte e, o azimute de 225°.

*a) Produção de cartas de densidade de fracturação geológica e de densidade hidrográfica*

A interpolação linear dos dados vectoriais correspondentes a rede hidrográfica e a rede de fracturas geológicas, visando a produção de cartas de densidade hidrográfica e de fracturação, respectivamente, baseou-se na função de interpolação linear simples disponível através da extensão Spatial Analyst. O objectivo foi a obtenção de cartas em formato matricial, apresentando a densidade de linhas por unidade de superfície. A reclassificação permitiu a análise estatística dos dados como complemento da análise espacial.

*b) Produção de cartas recorrendo a métodos geoestatísticos*

Exceptuando a interpolação dos pontos de água subterrânea em que foi adoptado o método IDW (inverso do quadrado da distância), o método de co-kriging foi a solução adoptada para a interpolação dos dados pontuais disponíveis para os parâmetros precipitação e recursos hídricos. As variáveis altitude e exposição foram utilizadas como variáveis auxiliares, por ser considerados factores determinantes da variabilidade espacial da pluviometria e da disponibilidade hídrica na região. Para a definição das variáveis auxiliares recorreu-se à afirmação de Lencastre e Franco (1992) que diz que, numa dada

região a pluviometria cresce com a altitude, sendo o efeito da altitude mais acentuado em cadeias montanhosas. Os citados autores acrescentam que, as precipitações são mais elevadas nas regiões expostas aos ventos (barlavento) e, inferiores nas vertentes protegidas dos ventos. Estas afirmações vão de encontro a constatação prática no território em estudo e, descrita por vários analistas do clima no arquipélago. Assim sendo, optou-se pela utilização dos parâmetros altitude e exposição, retirados das cartas produzidas no âmbito do presente trabalho, com base no modelo digital de terreno da ilha, extraídos através de uma rede de amostragem sistemática relativamente densa e, utilizada para a caracterização biofísica da ilha.

O ajustamento dos variogramas constituiu uma etapa extremamente importante na metodologia geoestatística aplicada pois, permitiu fazer a síntese das características estruturais do fenómeno espacial (grau de dispersão, continuidade, anisotropia, imbricamentos), num modelo único e coerente de variograma. Neste ajustamento o conhecimento da realidade e do fenómeno em estudo foi fundamental. A partir do momento em que se adoptou o modelo para caracterizar os diferentes conjuntos de amostra, no processo subsequente de inferência espacial seguiu-se a recomendação do afastamento sistemático entre o modelo e a realidade, no sentido de validar esta relação. Significa que, em todas as etapas do processo de tratamento do conjunto de dados que representam parte da realidade, houve a necessidade de um constante recuo ao fenómeno físico, com o objectivo de avaliar e validar o modelo como apropriado ao caso de estudo. De entre os parâmetros analisados na validação dos resultados citam-se o MSE (MEAN STANDARTIZED ERROR) e o RMSS (ROOT MEAN SQUARD STANDARDIZED). Para tal suportou-se nas recomendações de Soares (2006), quem refere que o MS deve aproximar-se do valor nulo e, o RMSS deve aproximar-se da unidade.

*c) Produção de cartas de precipitação:*

Visando a análise espacial e temporal das precipitações registadas na ilha, os dados de precipitação diária registadas nos diferentes postos udométricos da ilha entre 1980 e 2009, foram sistematizados e integrados no SIG visando a produção de cartas de precipitação média em diferentes períodos, através da

aplicação do método de interpolação por co-Krigagem. Sendo este procedimento comum à produção de outros dados, é apresentado no ponto 4.4. Importa sublinhar que, como variáveis auxiliares (correlacionadas e mais densamente amostradas) foram utilizadas a altitude e a exposição. De entre as cartas produzidas citam-se: i) a carta de precipitação anual média da ilha durante 30 anos; as oito cartas correspondentes a precipitação a precipitação anual média nos sucessivos quinquénios, entre 1980 e 2009, visando analisar a evolução espacial e temporal das precipitações na região nas últimas três décadas e; as 12 cartas de precipitação média mensal e 36 cartas de precipitação média por década, visando a análise da estrutura espacial e temporal inter-anual das precipitações.

*d) Produção de Cartas de recursos hídricos superficiais e subterrâneos:*

Visando a análise espacial da disponibilidade hídrica na ilha, os dados correspondentes aos caudais dos pontos de água superficial e subterrânea, foram integrados no SIG através das coordenadas correspondentes à localização espacial registadas durante a realização do inventário. Relativamente aos recursos hídricos superficiais, pretendo que os valores calculados para os pontos de amostragem coincidisse com os valores medidos, foi utilizado um método determinístico, o IDW. Em relação aos recursos hídricos subterrâneos, os dados disponíveis correspondem a resultados de prospecção já realizada e não a disponibilidade real. Daí que optou-se pelo método probabilístico, a co-krigagem, usando como variáveis auxiliares, mais densamente amostradas, a exposição e a altitude.

#### **4.4. PRODUÇÃO DE DADOS COM BASE EM TÉCNICAS DE DETECÇÃO REMOTA**

As imagens de satélite Landsat TM e ETM+ referentes a seis momentos diferentes, entre 1999 e 2007 permitiram a produção de um conjunto de dados complementares destacando-se as cartas de ocupação do solo, as cartas de índice de vegetação e de temperatura do solo. Recorreu-se ao Software IDRISI 32 que dispõe de um conjunto de ferramentas específicas para tal.

As principais tarefas desenvolvidas no âmbito da aplicação das técnicas de detecção remota são apresentadas nas alíneas seguintes:

#### **4.4.1. Tratamento de imagens de satélite Landsat TM e ETM+**

Visando a produção de cartas de índice de vegetação, de temperatura do solo, de ocupação do solo e, de outras informações auxiliares, recorreu-se a técnicas de detecção remota em ambiente IDRISI32.

O primeiro passo consistiu na análise das imagens disponíveis e na identificação daquelas cuja qualidade visual não comprometia a sua utilização no presente estudo. Seleccionadas as imagens, as diferentes bandas espectrais foram importadas para o ambiente IDRISI32 e, subsequentemente, desenvolvidos um conjunto de procedimentos visando a extracção de informações úteis para a caracterização biofísica da ilha.

Procedeu-se, inicialmente, a aferição da localização espacial das imagens recebidas através do limite da ilha em formato vectorial, cujo sistema de coordenadas correspondi à UTM WGS84-26N. Seguiu-se o recorte das imagens correspondente a área de estudo, recorrendo a aplicação “Window”, acessível através do menu “Reformat”. Um dos requisitos prévios foi a análise do nº de linhas e colunas correspondente aos limites da área pretendida, tendo-se verificado que as imagens recolhidas em diferentes datas apresentavam limites diferentes. Para o recorte foram identificados o nº da linha e da coluna correspondente ao pixel localizado no canto superior esquerdo (CSE) e no canto interior direito (CID) da área de estudo. Tendo seleccionado a área de estudo passou-se a fase de análise qualitativa dos dados, seguida do pré-processamento e processamento das imagens.

A integração das imagens produzidas em ambiente IDRISI no SIG em ambiente ArcGIG permitiu a análise integrada do conjunto de variáveis biofísicas produzidas.

##### *Pré-processamento das Imagens de Satélite*

O pré-processamento constituiu a etapa preliminar do tratamento digital das imagens. Iniciou-se pela análise da necessidade de se proceder correcções geométricas, radiométricas e atmosféricas. Verificou-se através dos limites da área de que as imagens teriam sido previamente corrigidas geometricamente.

Seguidamente procedeu-se à análise relativa a existência de degradações radiométricas. Algumas imagens evidenciaram padrões anómalos, nomeadamente o desvio de linhas que decorrem da diferença ou desajuste de calibração dos detectores e, a falha de informações em faixas alternadas. As citadas imagens correspondiam ao último Satélite Landsat 7 colocado em órbita, tendo sido eliminadas da análise.

Constatando-se a presença de nuvens em todas as imagens, optou-se pela eliminação daquelas cuja extensão poderia comprometer as análises subsequentes. Seguidamente procedeu-se a correcção radiométrica das imagens retidas. A análise dos histogramas das radiâncias correspondentes as diferentes bandas espectrais das imagens seleccionadas, evidenciou a necessidade de se proceder a correcção do efeito de neblina. A figura seguinte exemplifica um histograma de radiâncias, sendo, neste caso, referente a banda 5 da imagem captada em 01 de Junho de 2003, a qual, entre as imagens seleccionadas evidencia maior presença de nuvens. Analisando os diferentes histogramas correspondentes às imagens, confirmou-se a ocorrência de neblina, tendo-se procedido a correcção pelo método de subtracção do menor valor dos píxeis das respectivas bandas espectrais ou seja, aplicando a técnica de subtracção do objecto mais escuro (Chavez, 1988).

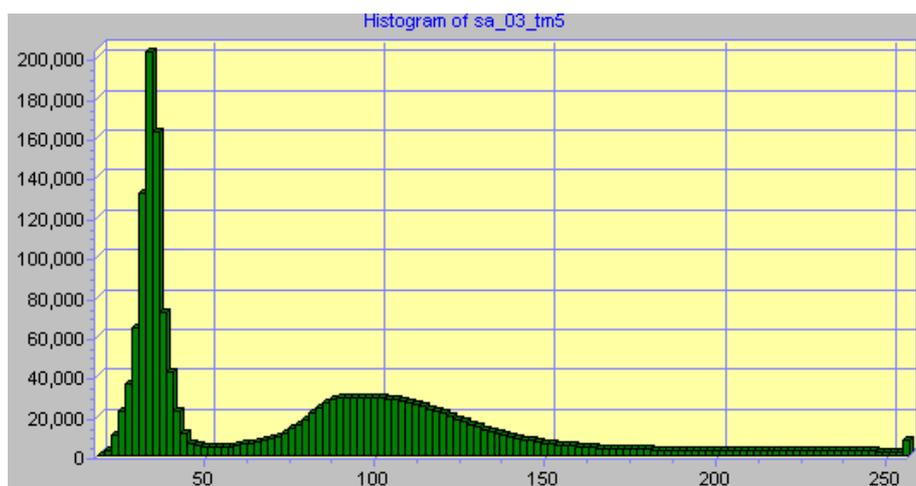


Figura IV-2 - Histograma produzido para a banda 5 da imagem de Satélite Landsat de 2003.

Fonte: Imagens de satélite Landsat TM disponível em <http://glovis.usgs.gov>.

O quadro seguinte apresenta os dados identificados nos diferentes histogramas referentes a reflectância da água nas imagens referentes aos diferentes anos (D99 à D07) e as diferentes bandas espectrais (TM1 à TM7).

Tabela 1 – Dados correspondentes a reflectâncias da água nas imagens referentes a diferentes anos e bandas espectrais e reflectância referenciada (Nota: valores expressos em Números Digitais médios).

	1999	2001	2002	2003	2006	2007	
Banda	D99	D01	D02	D03	D06	D07	REF.
<b>TM1</b>	120.85	106.97	106.84	102.82	62.31	66.36	42
<b>TM2</b>	100.91	72.36	72.95	70.38	20.57	23.75	15
<b>TM3</b>	105.14	66.17	66.53	63.76	16.35	19.95	10
<b>TM4</b>	66.73	27.91	27.58	26.51	10.65	13.60	5
<b>TM5</b>	56.23	38.53	37.23	102.82	10.21	14.17	1
<b>TM7</b>	46.13	34.01	32.52	30.38	6.70	9.31	1

O gráfico apresentado na Figura IV \_3 evidencia a elevada reflectância da água comparativamente ao nível referenciado, em todas as imagens analisadas. Destacam-se os níveis de reflectância correspondentes a banda 5 da imagem de 2003, extremamente elevados.

Trata-se, efectivamente, da imagem retida com maior presença de nuvens. A correcção dos valores de radiância da água nas diferentes imagens tendo em conta os dados de referência, resultou no gráfico apresentado na Figura IV - 4.

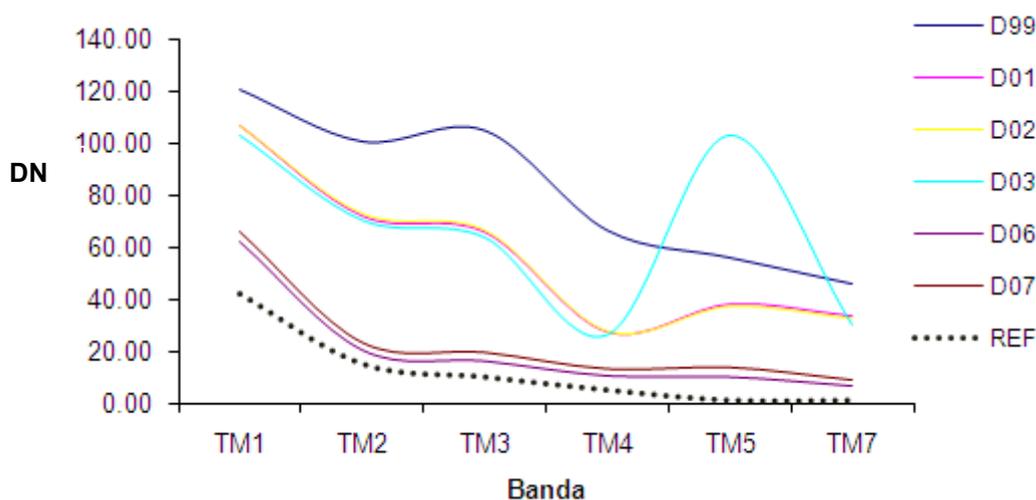


Figura IV-3 - Reflectância da água nas imagens/bandas espectrais / nível de referência (REF).

Fonte: Produzido no âmbito do presente trabalho com base em imagens de satélite Landsat TM disponível em <http://glovis.usgs.gov>.

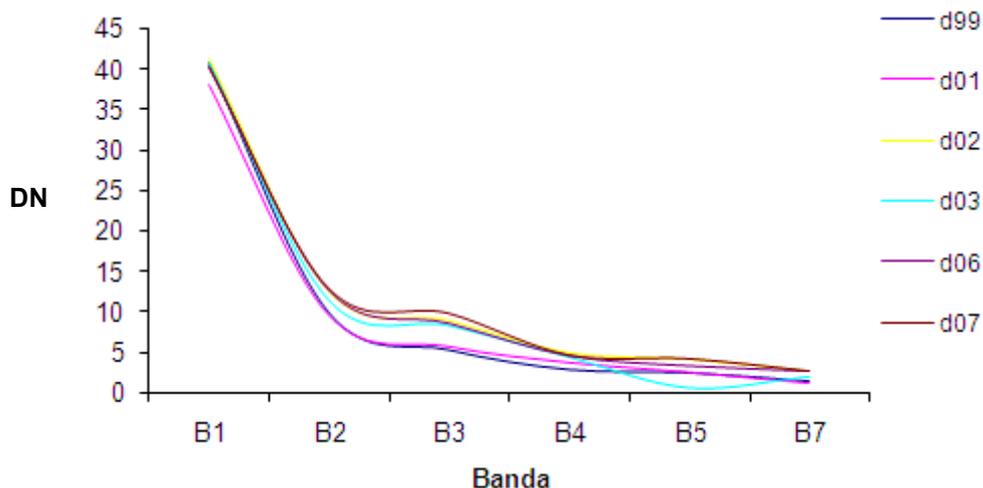


Figura IV-4 - Reflectância da água nas imagens/bandas espectrais após correção radiométrica  
 Fonte: Produzido no âmbito do presente trabalho com base em imagens de satélite Landsat TM disponível em <http://glovis.usgs.gov>.

Após a análise da eventual necessidade de correção de distorções geométricas apresentadas pelas imagens, foi necessário ponderar a metodologia a aplicar à atribuição dos DN<sup>11</sup> resultantes da re-amostragem da matriz de píxeis entretanto realizada. Em geral, a nova célula da matriz de saída não se sobrepõe aos píxeis da matriz original. O valor do novo píxel foi determinado com base no valor do píxel vizinho.

Podendo ser utilizados diferentes esquemas de reamostragem, optou-se pela técnica do vizinho mais próximo. Baseou-se nas recomendações de Gonçalves (1997), quem considera que a técnica do vizinho mais próximo é adequada em situações em que os valores representados são do tipo descontínuo (por exemplo, classes). Foi ainda ponderado o grau de alteração dos valores do DN e conseqüentemente da reflectância da matriz original, atendendo aos objectivos a atingir com o estudo, para o qual se utilizou a imagem de satélite.

A aplicação da técnica de ampliação de contrastes constatou-se através de histogramas que os níveis de cinza das imagens variavam entre 50 a 150, evidenciando-se necessária a ampliação do intervalo e ocupação de toda a

<sup>11</sup> Digital Number, designação dada à informação quantitativa fornecida directamente pelo píxel e, função directa da reflectância

faixa de valores entre 0 e 255. Para tal recorrendo ao modelo mais comum, a transformação linear.

#### **4.4.2. Processamento das Imagens**

Foram desenvolvidas várias tarefas inerentes ao processamento das imagens envolvendo a manipulação e a interpretação de imagens digitais, visando disponibilizar informações passíveis de subsidiar a caracterização biofísica do território. Através de técnicas automatizadas e assistidas de classificação de imagens, procedeu-se: i) ao cálculo e análise das assinaturas espectrais relativas a objectos usados para classificar a área de estudo; ii) ao uso e análise de métodos de classificação de imagens passíveis de utilização na classificação da cobertura do solo em áreas de paisagem fragmentada; iii) ao cálculo dos índices de vegetação, parâmetro que traduz as condições edafo-climáticas determinantes na produção de biomassa, a par de também reflectir a situação de humidade do solo; iv) a produção de cartas de temperatura do solo através das bandas térmicas, um parâmetro também importante para a caracterização biofísica, relativizando, contudo a data e hora em que as imagens foram captadas e, v) a produção de cartas de ocupação do solo relativas a diferentes datas, passíveis de não só, conhecer os grandes usos mas, também, avaliar as dinâmicas de ocupação do solo numa série temporal.

A exportação das cartas produzidas em ambiente IDRISI para o SIG construído em ambiente ArcGIS, permitiu a sua integração no conjunto de dados biofísicos produzidos e, subsequente produção de novas informações e análise integrada.

##### *a) Análise em componentes principais*

A análise em componentes principais (PCA) foi utilizada enquanto técnica de transformação linear baseada na análise factorial. Com esta técnica produziu-se um novo conjunto de imagens designadas componentes principais. Os princípios subjacentes a análise em componentes principais serão apresentados mais a frente. Importa contudo referir que, neste caso a análise se desenvolveu em ambiente IDRISI32 através da introdução das diferentes

bandas espectrais, resultando em imagens que representam determinados aspectos da realidade:

- A primeira componente sendo função do visível e do infra-vermelho próximo, concentra grande parte da informação, representando o índice de brilho. Trata-se de uma imagem que assemelha as fotografias aéreas em tons de cinzento;
- A segunda componente sendo função do infra-vermelho, representa o índice de verdura pois, a vegetação reflecte mais nessa faixa do espectro electromagnético e,
- A terceira componente representa o índice de humidade. Esta componente explica menos que as anteriores.

A produção desta informação no âmbito do trabalho teve como objectivo auxiliar a análise subsequente.

#### *b) Composições a falsa cor*

De entre as informações produzidas destacam-se as composições coloridas RGB (Red, Green, Blue) a falsa cor, como sejam a RGB432 e RGB541. No primeiro caso associou-se a banda 4 à cor vermelha (R), a banda 3 à cor verde (G) e a banda 2 à cor azul (B), produzindo uma composição colorida a falsa cor convencional. Para tal recorreu-se ao Software IDRISI32, através do menu Image Processing/Enhancement/ Composit. O procedimento envolve a indicação das três bandas espectrais. a escolha da opção de transformação, sendo indicado a linear / 24 bits (correspondente às bandas originais) e, a omissão ou não de zeros, tendo escolhido esta última para que todos os píxeis da imagem fossem classificados. A imagem resultante apresentada na Figura V - 21 faculta o reconhecimento dos objectos a superfície do solo, com destaque para a diferenciação dos tipos de vegetação.

Na segunda composição realizada “RGB541” associa-se a banda 5 à cor vermelha (R), a banda 4 à cor verde (G) e a banda 1 à cor azul (B), produzindo uma composição colorida a falsa cor, mas que simula a cor real da vegetação. A imagem resultante apresentada na Figura V - 22, confirma a identificação dos objectos a a superfície nas cores visualizadas pelo olho humano.

*c) Produção de Cartas de Índice de Vegetação (NDVI) e Temperatura do Solo*

Na produção de cartas correspondentes ao índice de vegetação NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) a equação utilizada foi  $NDVI = (IR - R) / (IR + R)$ . A função é aplicada directamente sobre cada par de pixeis, a nível das bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Esta combinação baseia-se no conhecimento de que a vegetação apresenta uma intensa absorção na região do vermelho, devido à clorofila, e uma intensa reflectância na região do Infravermelho próximo devido, fundamentalmente, a estrutura interna celular da folha. O índice de vegetação NDVI resulta numa escala de valores que se situa no intervalo -1 à 1, indicando os valores mais elevados, uma maior presença de vegetação.

*c) Produção de Cartas de Temperatura do Solo*

A produção da cartas de temperatura do solo nas diferentes datas de recolha das imagens, as 11h25mn, foi conseguida através da banda térmica e, recorrendo ao menu Image processing/Transformation/Thermal do software IDRISI32.

*d) Classificação das imagens de satélite*

A classificação das imagens baseou-se na diferente reflectividade dos objectos a superfície do solo. Foram desenvolvidas operações genéricas dos modelos matriciais em ambiente IDRISI32. Os procedimentos tiveram como objectivo obter imagens derivadas das iniciais que melhor se adequam à identificação das principais classes de ocupação do solo. Baseada no método de classificação assistida, o processo passou pela definição das classes de ocupação pretendidas, nomeadamente agricultura irrigada, florestas, acácias e matos, vegetação herbácea, solo nu, rochas pozolânicas, áreas urbanas e superfícies com água. Foram ainda integradas as classes orla, transição entre a superfície terrestre e o mar e, as nuvens presentes. Definidas as classes seguiu-se o levantamento de amostras correspondentes às diferentes classes no terreno (áreas de treino) e, a produção das respectivas assinaturas espectrais. Para tal foram calculados os valores de DN médio, baseados nos

valores médios de radiância ( $\text{Rad (W/m}^2\text{.sr)}$ ) produzidos em ambiente IDRISI32. O anexo XI apresenta os valores médios de DN, os respectivos desvios padrão e as assinaturas espectrais correspondentes às classes de ocupação do solo, nas diferentes datas, baseadas nos citados DN. O passo seguinte constituiu na classificação das diferentes imagens, processo durante o qual os pixéis previamente identificados, foram atribuídos à classe de treino com maior similaridade. Havendo várias alternativas de classificação, em função dos dados e objectivos, foram testados os métodos de “distância mínima” e de “máxima verosimilhança”. Comparando os resultados obtidos (imagem classificada) com a realidade, com auxílio dos ortofotomapas e conhecimento do terreno pela analista, reteve-se o método de máxima verosimilhança, o qual produziu melhores resultados.

#### **4.5. DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE INTEGRAÇÃO DE DADOS**

Constituindo o desenvolvimento de um modelo de caracterização biofísica da área de estudo, através da integração de um conjunto de variáveis que integram uma base de dados previamente concebida para o efeito, o enfoque do presente trabalho, constitui a apresentação do modelo de integração e selecção dos factores e, reclassificação da carta resultante. Daí serem apenas apresentadas as metodologias e técnicas utilizadas nesta fase do processo.

O modelo de integração das variáveis baseou-se em procedimentos sistematizados tendo como objectivo, não só a caracterização biofísica da área de estudo mas, também, a disponibilização de um modelo reproduzível, passível de aplicação noutras regiões com características similares à ilha de Santo Antão, designadamente outras ilhas do Arquipélago de Cabo Verde. Face a multiplicidade de variáveis espaciais passíveis de influenciar as características biofísicas e, eventuais relações de correlação entre si, com efeitos mútuos antagónicos ou sinérgicos, optou-se por associar as “Tecnologias de Informação Geográfica” à “Análise Estatística Multivariada”.

##### **4.5.1. Selecção de Variáveis**

Tendo como suporte a base de dados geográficos concebida na fase precedente, foram identificadas as variáveis biofísicas com estrutura matricial e

com variação numérica contínua. Nesta base, variáveis que poderiam ser considerados importantes mas com classificação qualitativa, como os solos, os estratos geológicos e as espécies vegetais, não foram seleccionadas. Após a selecção, resultaram 29 variáveis como a seguir se apresenta:

- Morfométricos, integrando cartas de altitude, exposição, declive, curvatura, densidade da rede hidrográfica e, comprimento das encostas;
- Geológico, adoptando a densidade de fracturação obtida por interpolação linear das fracturas extraídas da carta geológica como medida que reflecte a estrutura do substrato litológico subjacente;
- Climáticos, integrando as cartas de precipitação anual média no período 1980 – 2008 e de precipitação média por quinquénio no referido período (obtida pela aplicação de métodos de interpolação geoestatísticos), de temperatura do solo (extraídas de seis imagens de satélite (Landsat TM e ETM+ registadas entre 1999 e 2007), da temperatura das águas superficiais, resultante da interpolação de dados do inventário de recursos hídricos;
- Recursos hídricos, integrando as cartas de caudal diário dos pontos de águas superficiais e subterrâneos (obtidas pela aplicação de métodos de interpolação geoestatísticos) e,
- Vegetação, integrando seis cartas de índice de vegetação normalizado (NDVI), uma para cada data, obtidas a partir das referidas imagens de satélite.

#### **4.5.2. Definição da amostragem e extracção de dados**

Tendo como objectivo a produção de um modelo de classificação biofísica, automatizável e reprodutível para outras zonas do território, decidiu-se aplicar uma base de amostragem sistemática em formato ponto, com espaçamento correspondente a 1000 metros, totalizando 921<sup>12</sup> pontos sobre a área de estudo. Recorrendo a ferramentas disponíveis em ambiente ArcGIS, foram extraídos das 29 cartas os valores correspondentes aos pontos de

---

<sup>12</sup> O número (921 pontos) resultou de várias etapas de cálculo. Inicialmente, considerou-se 240 amostras, produto das 8 classes biofísicas e 30 amostras por classe, o que correspondia a um afastamento de 2000m entre as amostras. Após aplicação desta grelha, verificou-se que algumas zonas do território não eram devidamente amostradas. Assim, optou-se por adensar a malha de amostragem e cobrir todas as zonas..

amostragem, resultando numa shapefile cuja tabela de atributos integra 29 campos adicionais às fixas e, com 921 registos ou repetições das variáveis. A exportação da tabela de atributos, visando a análise em componentes principais recorrendo o software estatístico.

#### **4.5.3. Análise em Componentes Principais**

A análise em componentes principais baseou-se nos citados dados exportados da tabela de atributos e, recorrendo ao software estatístico “JMP 4”. O primeiro passo foi definir a tabela de correlação ente as 29 variáveis originais. A “Análise em Componentes Principais” permitiu transformar o conjunto de 29 variáveis correlacionadas entre si, num outro conjunto de variáveis não correlacionadas (ortogonais), as chamadas componentes principais (CP), resultantes de combinações lineares do conjunto inicial e, calculadas por ordem decrescente de importância ou seja, do nível de contribuição que cada CP dá para a explicação da variância total dos dados originais. Adoptou-se como limite de significância 75% da variância associada aos dados originais concentrada nas primeiras 3 ou 4 CP ou eixos. O processo desenvolve-se de forma interactiva, analisando em cada etapa, através da relação variável/eixo, a representatividade das variáveis e eliminando sucessivamente as com menor expressão. Na secção 5.3 serão apresentados os resultados obtidos nas sucessivas etapas. A fase seguinte desenvolve-se em ambiente ArcGIS, através da interpolação espacial recorrendo à rede de amostragem (921 repetições) e ao método de co-Kriging (já descrito). Para tal os valores correspondentes a primeira CP (CP1) foram interpolados, adoptando como variáveis auxiliares, as variáveis biofísicas associadas as três componentes principais seguintes (CP2, CP3 e CP4).

#### **4.5.4. Análise em Clusters**

A “Análise em Clusters” permitiu organizar o conjunto de dados, em grupos relativamente homogéneos ou clusters, não sendo necessário definir critérios de classificação dos dados, para além do número de unidades pretendido. Recorrendo a caracterização biofísica das ilhas do Arquipélago com base empírica, descrita por alguns autores, nomeadamente Sabino (sem data), bem como, o número de unidades da paisagem definido na citada “Carta

Agroecológica e da Vegetação da ilha de Santo Antão”, foram considerados Seis e Oito “clusters” na análise. Nesta base, procedeu-se a intercepção dos pontos de amostragem com o mapa resultante do processo de interpolação das variáveis associadas às 4 CP.

## **V. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS**

Neste capítulo pretende-se apresentar os principais resultados do estudo desenvolvido visando a caracterização biofísica da ilha de Santo Antão e a definição de um modelo reprodutível de caracterização biofísica de territórios similares. Note-se que, no capítulo 2 referente ao enquadramento da área de estudo, integrando uma secção relativa à caracterização da ilha, recorrendo á dados existentes, ainda que, tratados ou convertidos no âmbito do presente estudo. No presente capítulo a citada caracterização é complementada com dados resultante 4.3.4 do desenvolvimento de metodologias e técnicas de geoprocessamento.

### **5.1. PRODUÇÃO E ANÁLISE DE DADOS RECORRENDO A TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL**

Neste ponto são apresentados os dados produzidos recorrendo a técnicas de interpolação especial determinísticos e probabilísticos, visando a análise especial de variáveis cujos dados disponíveis são discretos, nomeadamente a altimetria, a rede hidrográfica, a rede de fracturação geológica, a precipitação e os recursos hídricos.

#### **5.1.7. Análise Morfológica baseada na Produção do Modelo de Elevação do Terreno (MDT)**

Seguindo a metodologia anteriormente apresentada, recorrendo a interpolação por triangulação, produziu-se o Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDT) que constituiu informação de base para a produção de variáveis morfométricas necessárias a caracterização morfológica da ilha, seguidamente apresentada e que resultam da conversão da TIN para o formato raster, adaptando a resolução espacial correspondente a 20m. A figura seguinte apresenta em pormenor a área que integra a bacia hidrográfica do Paúl, evidencia os diferentes níveis altimétricos.

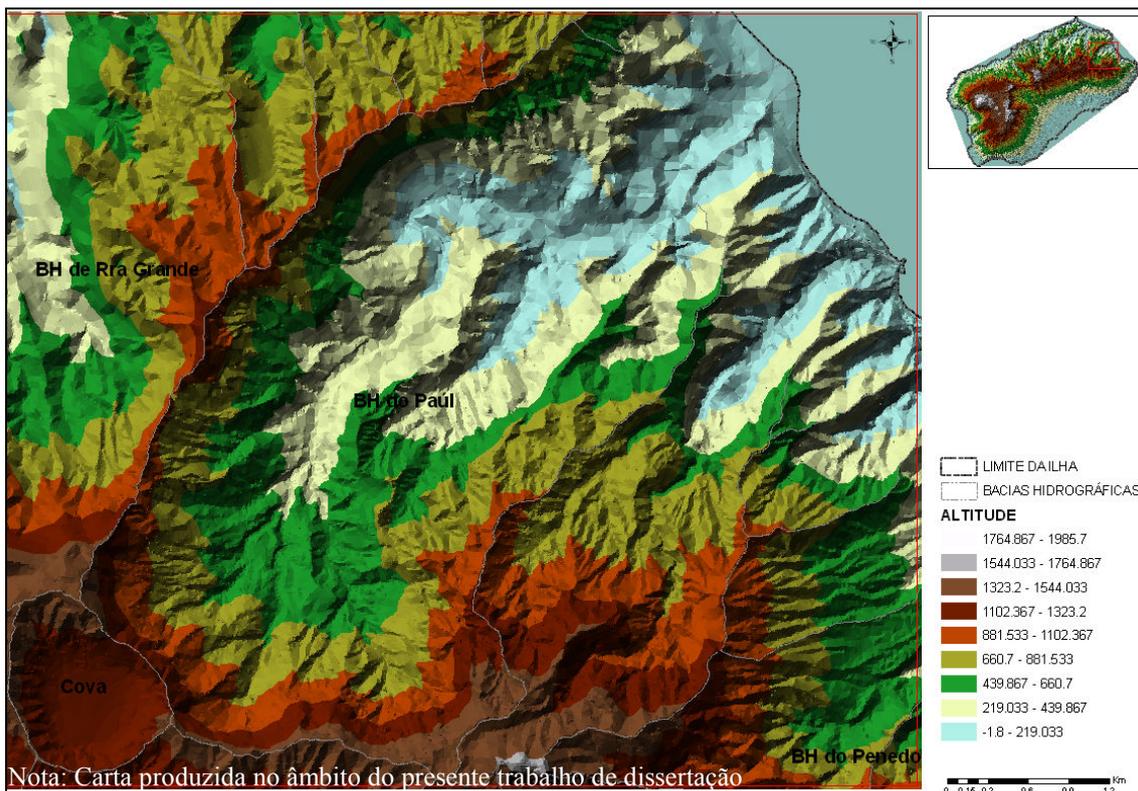


Figura V-1 – Modelo digital de elevação de terreno da ilha, focalizando a região do Paul  
 Fonte de dados altimétricos de base: DGOT.

*a) Análise da carta hipsométrica:*

A carta apresentada na Figura V-3 e o gráfico apresentado na Figura V-2, resultante dos dados subjacentes à citada carta permitem a análise das formas do relevo no território, os níveis de altitude e a extensão territorial das diferentes classes consideradas.

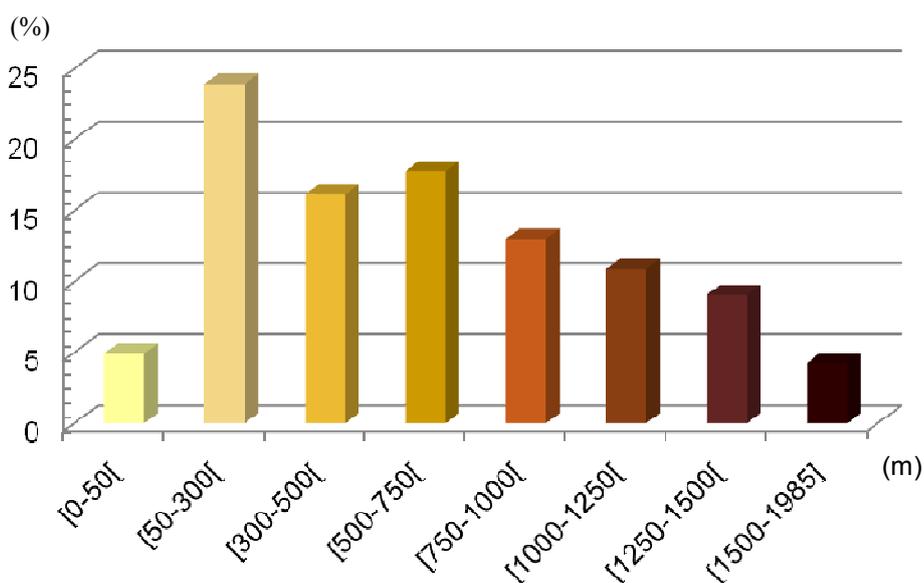
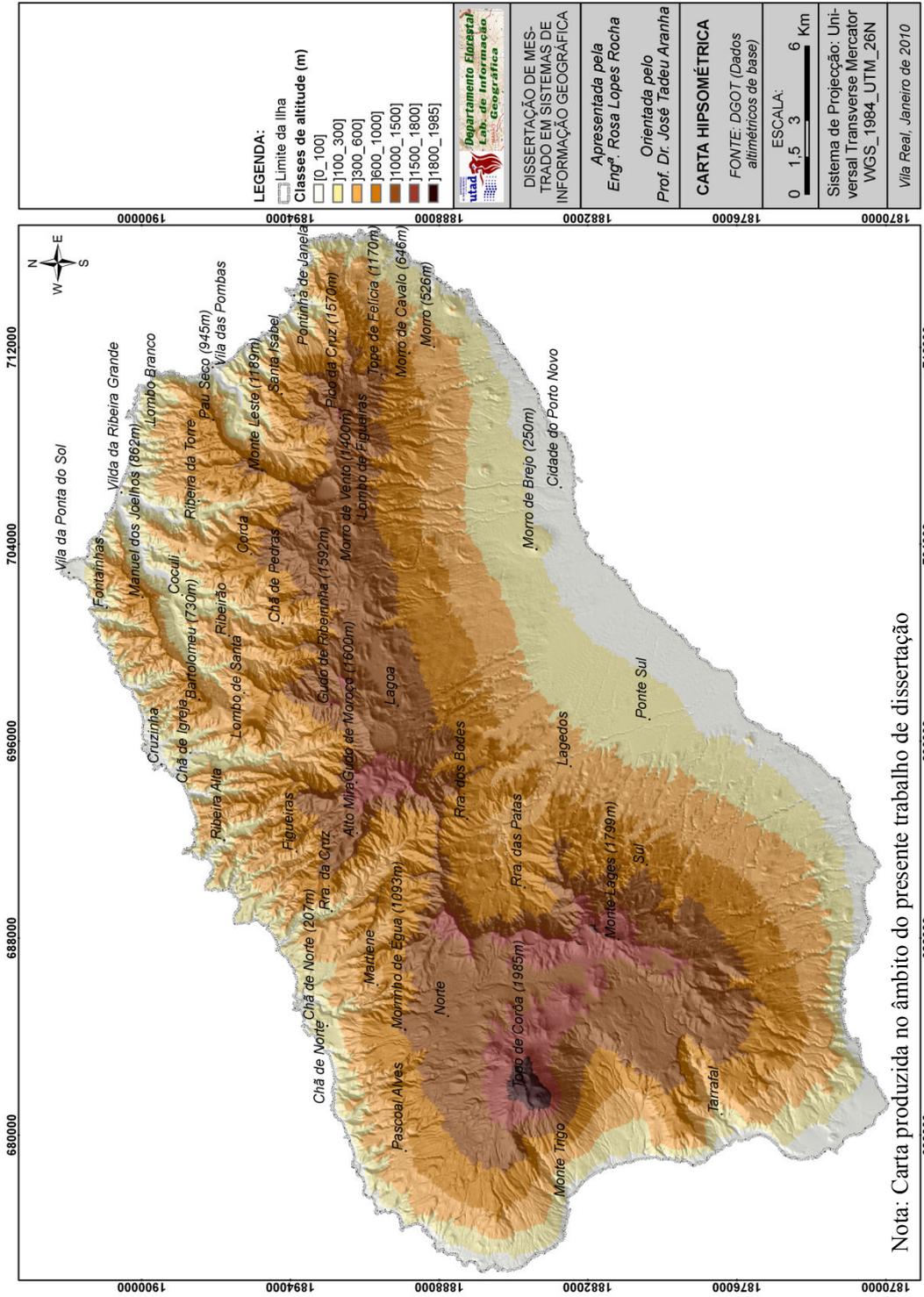


Figura V-2 –Representatividade (%) das classes de altitude na Ilha.  
 Fonte: Carta hipsométrica apresentada na Figura V\_4.



Os citados dados evidenciam a variabilidade dos níveis de altitude na ilha, cuja altitude média e máxima correspondem a 641,8m e 1985m, respectivamente. O desvio padrão em relação a média correspondente a 454,3m traduz a variabilidade das altitudes na região. Na análise da representatividade territorial das diferentes classes, constata-se que, 55,0% do território apresenta altitudes superiores a 500m, sendo que 4,3% ultrapassam os 1500m. Complementarmente, a análise espacial revela que, apesar da estrutura morfológica da ilha ser dominada pela extensa cordilheira central, o ponto correspondente à altitude máxima localiza-se na região oriental da ilha, integrando o complexo eruptivo de Tope de Corôa. Na região central o ponto mais elevado corresponde a Pico da Cruz, com 1567m de altitude.

*b) Análise dos declives*

A análise espacial da carta de declives apresentada na Figura V – 6 e, os dados extraídos representados pelo gráfico da Figura V – 5, permitem constatar que a ilha apresenta declives geralmente acentuados, sendo o valor médio correspondente a 51,34% e o máximo de 652% (81,28° de inclinação). O desvio padrão em relação a média correspondente a 44,56% indicia a acentuada irregularidade topográfica evidenciada pela carta hipsométrica.

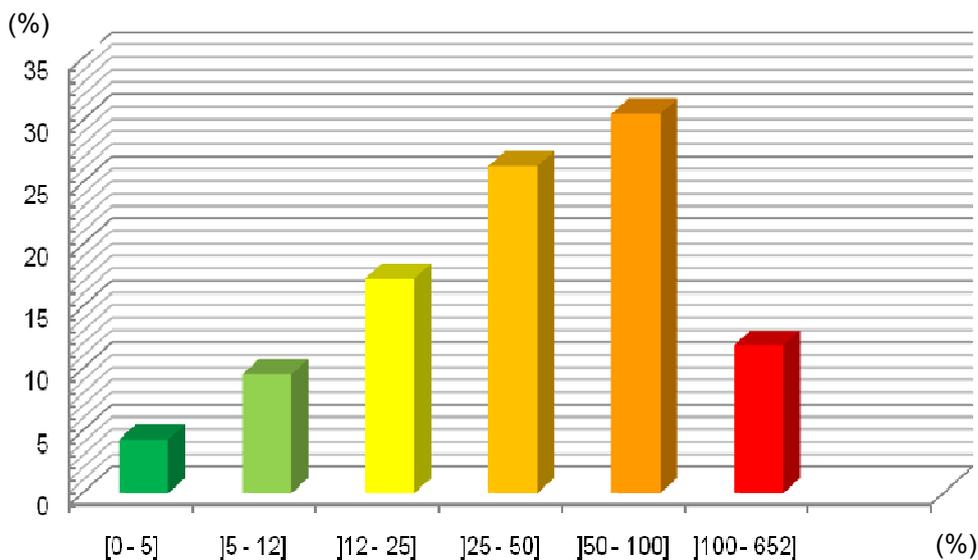


Figura V-4 –Representatividade (%) das classes de declive no território;  
 Fonte: Carta de declives apresentada na Figura V\_5.

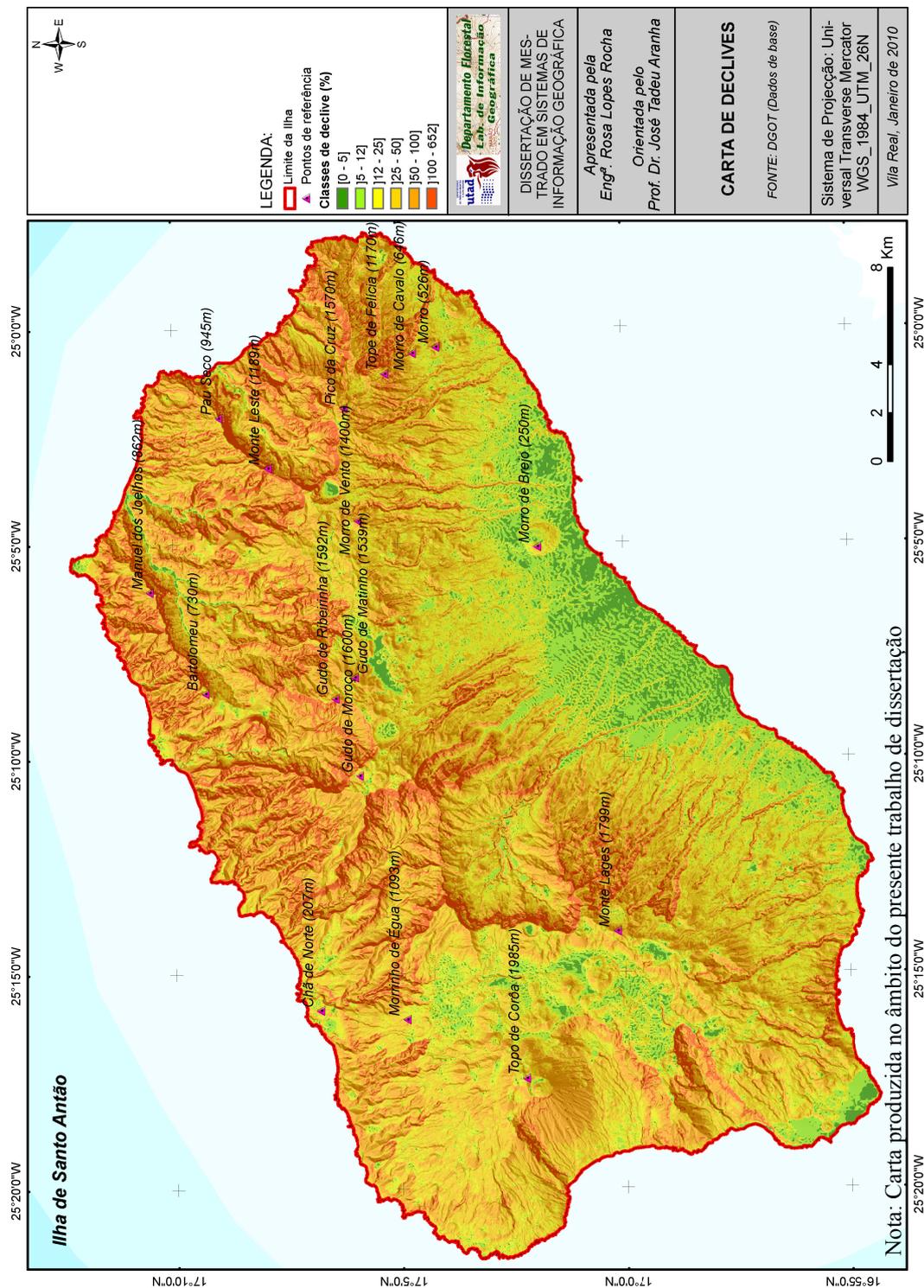


Figura V-5 – Carta de Declives da Ilha de Santo Antão.  
Fonte de dados altimétricos de base: DGOT

Do ponto de vista de extensão territorial, os dados revelam que as áreas com declives superiores a 30% ultrapassam 57% do território sendo que, em 12% os declives são superiores a 100%. Os declives suaves, inferiores a 12% representam apenas, 13,9% do do território, sendo que, apenas 4,3% apresenta declives inferiores a 5%. Estas áreas correspondem, fundamentalmente, a planícies litorâneas na região sul da ilha, as áreas planálticas e, aos leitos de alguns vales.

Sublinha-se que, não obstante as zonas com declives suaves (inferiores a 12%) apresentam boas condições para a instalação de infra-estruturas, algumas destas áreas situam-se a montante de bacias hidrográficas importantes pelo que a sua impermeabilização poderá inviabilizar a sua função de recarga dos aquíferos.

*c) Análise da morfologia do terreno*

Um outro elemento que caracteriza as vertentes é o perfil ou curvatura. A carta apresentada na figura seguinte revela, em termos espaciais e quantitativos, um certo equilíbrio entre as áreas correspondentes ao perfil côncavo (48,5%) e as com perfil convexo (48,8%). Apenas 2,6% do território apresenta um perfil plano. A par deste factor interferir no fenómeno erosivo, desempenha uma importante função na recarga dos aquíferos.

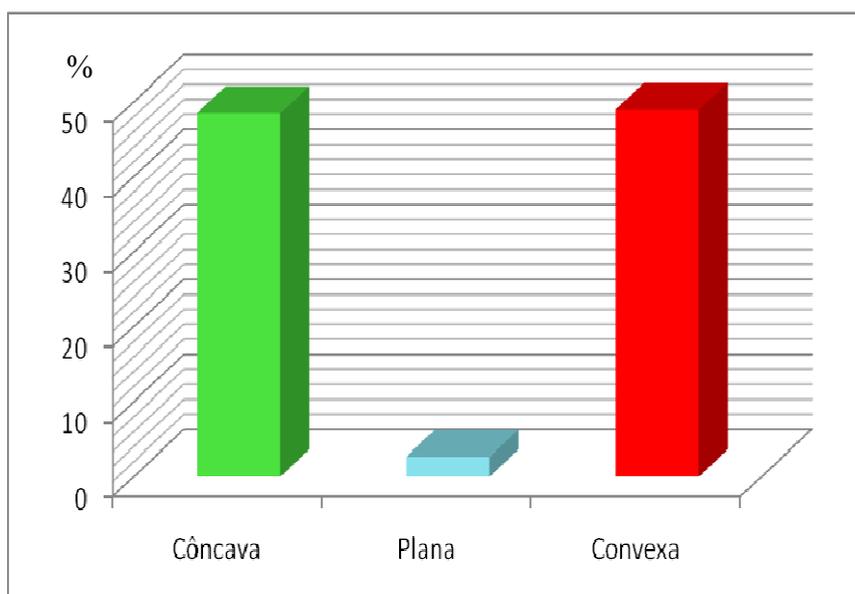


Figura V-6 –Representatividade (%) das Classes de morfologia do território;

Fonte: Carta de curvaturas apresentada na Figura V\_7

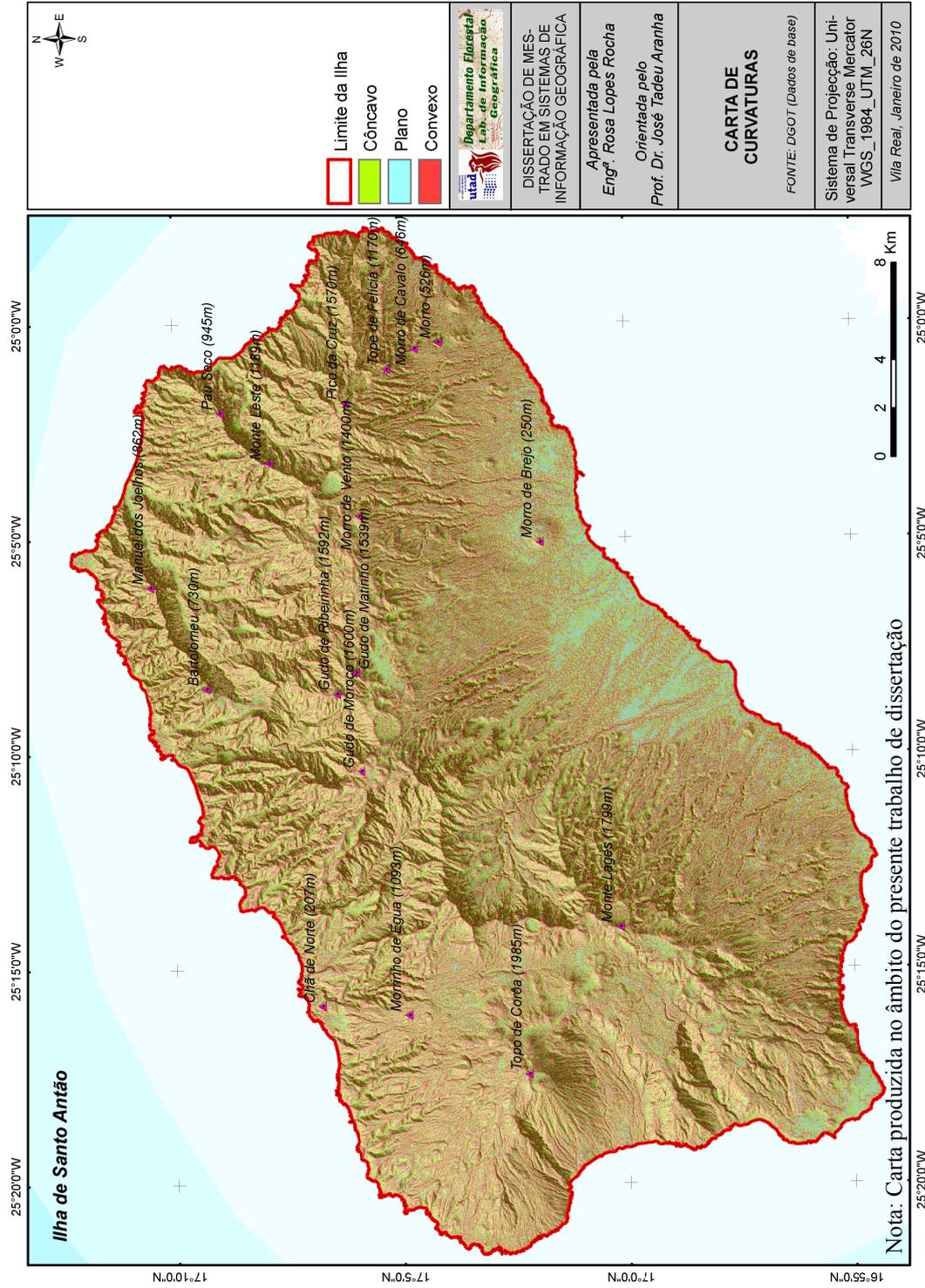
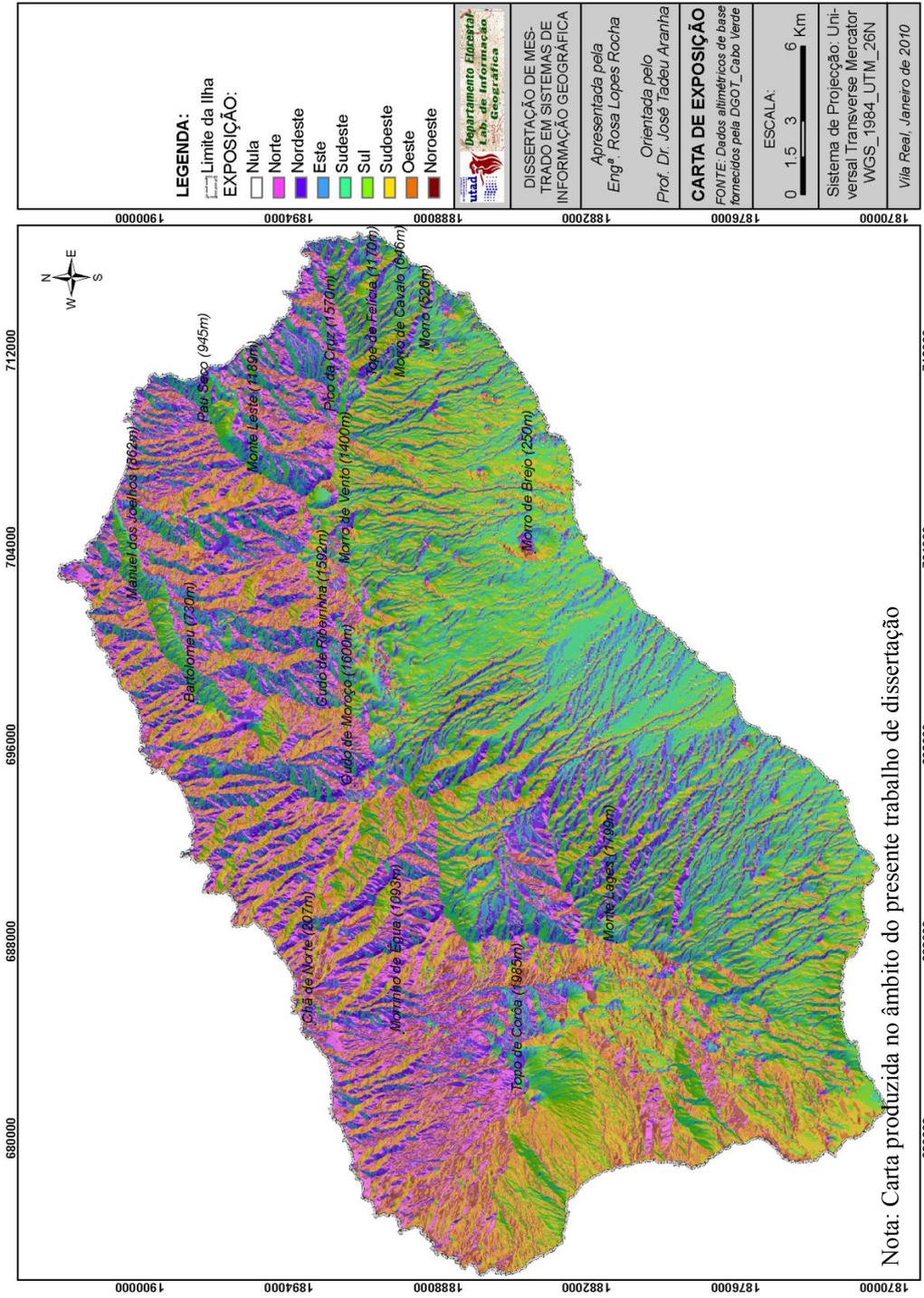


Figura V-7 – Carta de morfologia do território.  
Fonte de dados altimétricos de base: DGOT

Observa-se que as áreas com perfil côncavo e as áreas plana correspondem, essencialmente, aos cones vulcânicos, algumas secções de leitos de alguns vales, alguns sectores de encostas e, algumas planícies litorâneas, nomeadamente na região sul. Correspondem a áreas onde a acumulação da água de escoamento superficial facultava a infiltração. Conjugando este factor com a estrutura geológica permeável, nomeadamente a ocorrência de fracturas geológicas, estas áreas também desempenham um papel importante na recarga dos aquíferos e, subseqüentemente, a manutenção das nascentes da ilha. Por outro lado, constituem zonas de deposição de sedimentos transportados dos sectores a montante, apresentando boa aptidão para a actividade agrícola. Em contrapartida, as áreas com perfil convexo relacionam-se essencialmente com as linhas de cumeada e com alguns sectores de encostas, geralmente com declives acentuados. Daí serem propícias ao escoamento superficial e, subseqüentemente, ao processo erosivo.

#### *d) A Exposição das vertentes*

Relativamente a exposição das vertentes, a análise à carta apresentada na Figura V-8 confirma a elevada irregularidade topográfica, a par de constituir uma informação importante na análise do impacto dos factores climáticos nalgumas características biofísicas. Como se poderá constatar no ponto referente à análise de aspectos climáticos, a exposição das vertentes relativamente aos ventos dominantes e a altitude constituem factores determinantes no clima da ilha. Em termos quantitativos, como se poderá constatar no gráfico seguinte, a classe com exposição nula corresponde a uma pequena área (0,9% do território). As classes expostas a Norte e Nordeste correspondente a exposição das vertentes aos ventos alíseos, situação que, conjugada com a altitude, favorece o clima. Esta área corresponde a 30,8% do território. Complementarmente, 78,7% do território apresentam exposição que favorece a aridez, sendo esta mais acentuada nas áreas expostas directamente aos ventos secos e quentes (Harmatão) e que correspondem a 43,7% do território. Através da análise espacial da referida carta e das cartas de temperatura, precipitação e índice de vegetação, pode-se confirmar a predominância das vertentes com exposição Norte nas regiões mais húmidas e, das exposições entre os quadrantes Este e Sul, nas regiões mais áridas.



Nota: Carta produzida no âmbito do presente trabalho de dissertação

Figura V-8. – Carta de Exposição da Ilha de Santo Antão.  
 Fonte de dados altimétricos de base: DGOT

*e) Análise da estrutura hidrográfica*

A delimitação das bacias hidrográficas da ilha decorre da produção do MDT pelo que integra este ponto. A delimitação segue as linhas de separação topográfica, sendo certo que, o escoamento entre bacias, devido a não coincidência das linhas de separação, deve ser um factor importante a considerar em análises hidro-geológicas mais aprofundadas. Analisando os dados referentes as características topográficas, constata-se que, as altitudes das principais bacias hidrográficas variam desde o nível do mar, correspondente a foz das principais bacias hidrográficas, a altitudes de cerca de 1680 metros nos pontos mais alto das linhas de cumeada.

A carta apresentada na figura seguinte representa a delimitação de 355 bacias hidrográficas das quais 129 foram identificadas no âmbito do presente trabalho, em função da toponímia da rede hidrográfica extrída da carta militar na escala 1:25.000. Observa-se que, as principais unidades hidrográficas estruturam-se a partir da linha de fecho principal, localizando-se nas regiões periféricas, um elevado número de pequenas bacias hidrográficas. Do ponto de vista da extensão territorial, o gráfico seguinte apresenta as 18 bacias mais representativas da ilha, as quais correspondem a 51,86% do território.

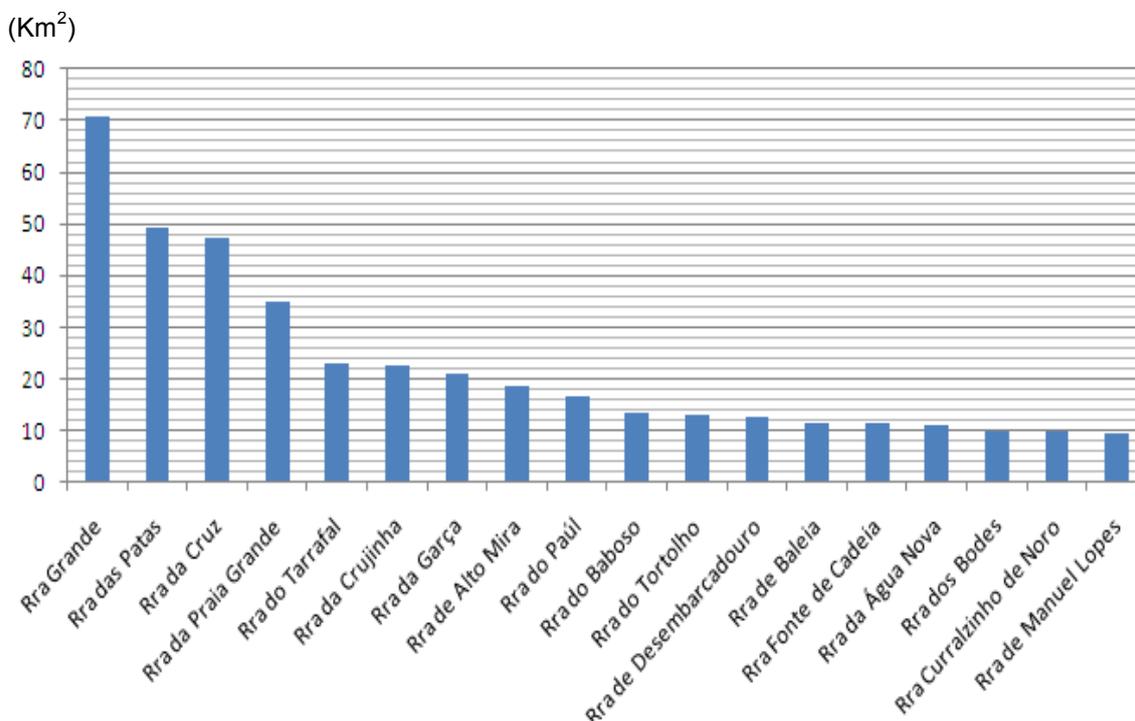


Figura V-9.– Superfície (Km<sup>2</sup>) das Bacias Hidrográficas mais extensas da ilha.  
 Fonte: Carta de Bacias Hidrográficas apresentada na Figura V\_10

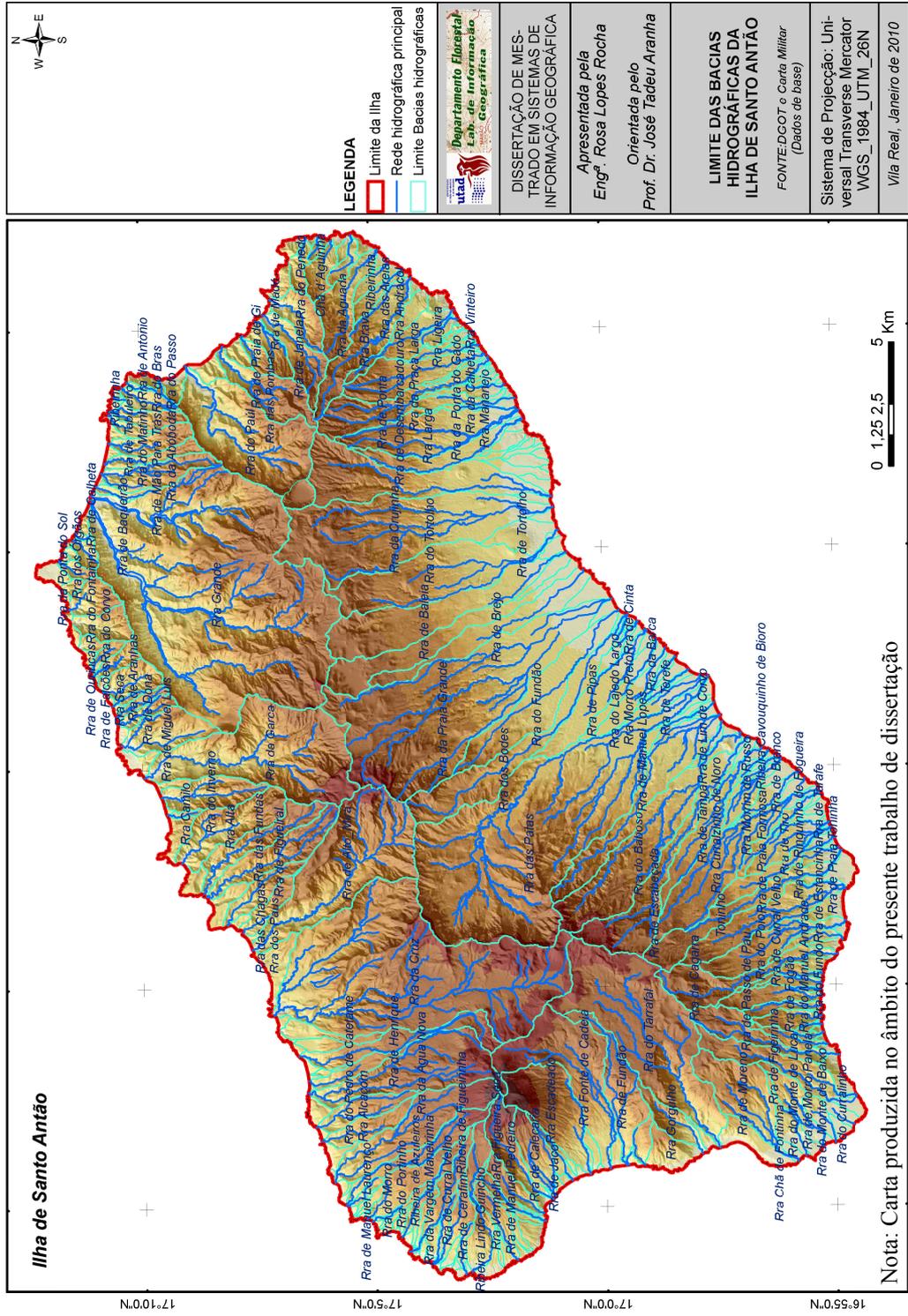


Figura V-10. – Carta de identificação das principais Bacias Hidrográficas da Ilha de Santo Antão  
Fonte de dados de base: DGOT e Carta Militar na Escala 1:25.000

Observa-se que a unidade hidrográfica mais extensa da ilha corresponde a bacia hidrográfica da Ribeira Grande, com uma área de 70,7Km<sup>2</sup>, correspondente a 9% do território. Seguem-se as bacias da Ribeira das Patas com 49,16 Km<sup>2</sup> e da Ribeira da Cruz com 47,43 Km<sup>2</sup>.

Como se poderá constatar no ponto seguinte referente a análise hidrológica, o nível de importância do ponto de vista da disponibilidade de recursos hídricos e, subsequente valorização agrícola, a sua importância é reduzida. A bacia hidrográfica do Paúl, não obstante a menor extensão, apresenta uma importância relativa maior. Nota-se ainda uma unidade circular a montante da bacia do Paúl, denominada “Cova” e, que corresponde a cratera de um dos dois principais complexos eruptivos da ilha. Evidencia constituir a principal zona de recarga dos aquíferos da ilha, com destaque para as bacias hidrográficas do Paúl e da Ribeira Grande, correspondendo nesta última, a sub-bacia hidrográfica da Ribeira da Torre.

Pela observação da Figura V-11 pode-se verificar que a unidade hidrográfica denominada “Cova”, constitui uma bacia hidrográfica endorréica<sup>13</sup> localizada a montante das bacias hidrográficas do Paúl e Ribeira Grande, região mais pluviogénica da ilha. Face às características estruturais que determina um sistema de drenagem interna, as precipitações que caem na bacia saem do sistema apenas por infiltração, evaporação e evapo-transpiração. Conjugando estes dados com a análise da rede de fracturas geológica pode-se inferir que esta unidade hidrográfica funciona como agente impulsor e regulador das principais nascentes da ilha, localizadas em cotas inferiores, nas bacias hidrográficas do Paúl e da Ribeira Grande. Por outro lado e, sem prejuízo de uma análise mais aprofundada, a nascente do Tarrafal, localizada na região árida da ilha e cujo caudal é o segundo maior da ilha, apesar da distância relativamente a unidade hidrográfica de cova deverá depender da estrutura interna que facilita a circulação da água entre a unidade de recarga e a referida nascente. Pela importância regional das unidades hidrográficas da situadas na região norte da ilha, destacando-se as bacias hidrográficas da Ribeira Grande

---

<sup>13</sup> Bacias hidrográficas em que as águas caem numa depressão fechada

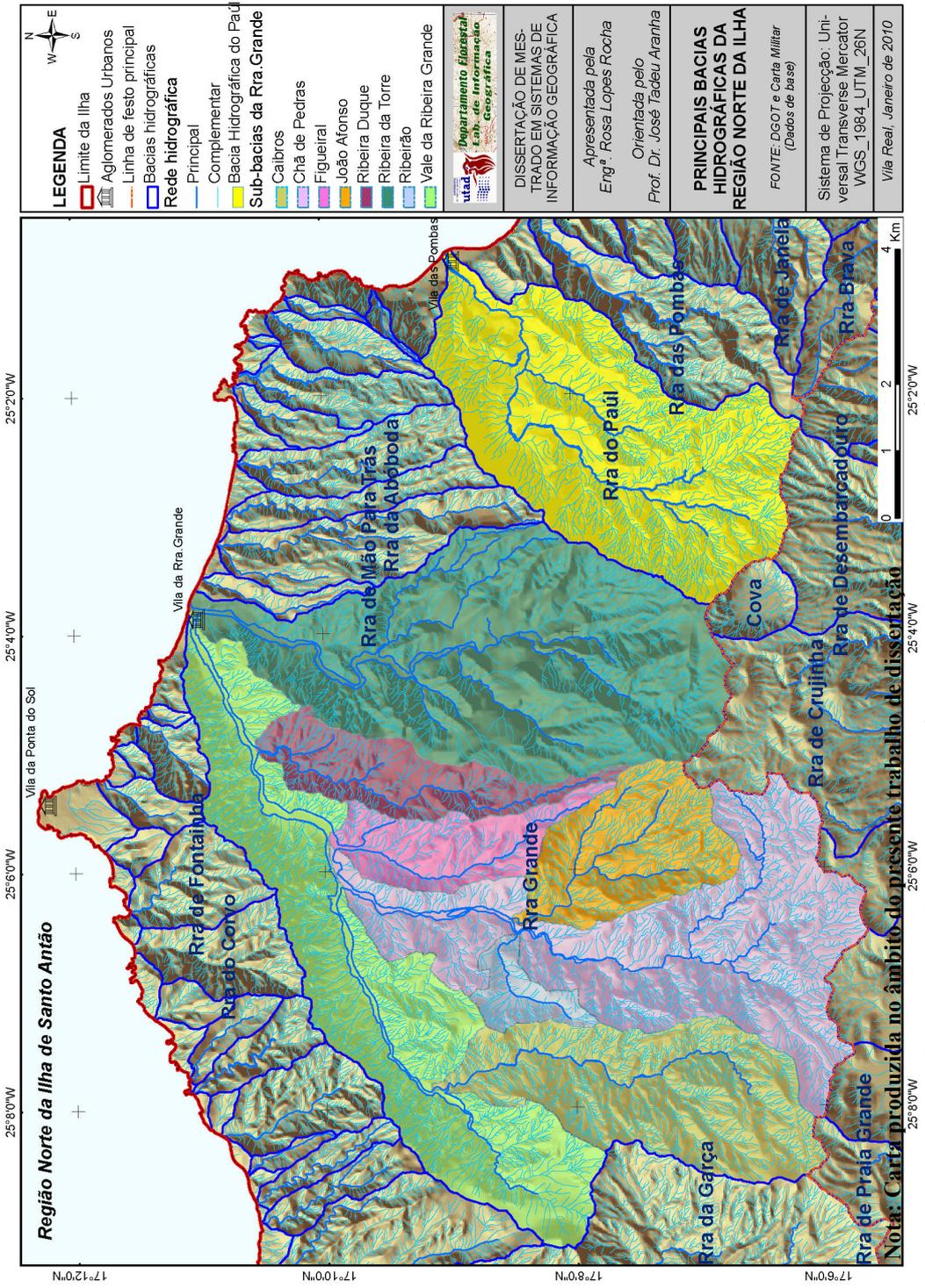


Figura V-11 – Estrutura hidrográfica da região norte da ilha de Santo Antão;  
Fonte de dados de base: DGOT e Carta Militar na Escala 1:25.000

e do Paúl Paúl, são apresentadas de forma mais pormenorizada na Figura V - 11. Observa-se que as unidades estruturam-se a partir da região central da ilha, na principal linha de cumeada da ilha. A bacia hidrográfica da Ribeira Grande integra a sub-bacia da Ribeira da Torre, cujo leito principal converge com o leito do Vale da Ribeira Grande próximo da foz, no litoral norte da ilha. Ao longo da margem esquerda do leito do Vale da Ribeira Grande desaguam importantes sub-bacias hidrográficas, destacando-se Caibros, Chã de Pedras, João Afonso, Figueiral e Ribeira Duque. Importa ainda sublinhar que nas áreas contíguas a foz das duas bacias hidrográficas da ilha localizam-se dois dos três principais aglomerados urbanos da região norte da ilha, a Vila da Ribeira Grande e a Vila das Pombas. Tratam-se de locais expostos a elevados níveis de risco relacionados com o regime pluvial torrencial e a orografia acidentada das correspondentes bacias hidrográficas, designadamente cheias inundações. A ocorrência de episódios dramático relacionados com estes fenómenos ao longo da história de ocupação da ilha atestam este facto.

#### **5.1.8. Análise fisiográfica**

Seguindo a metodologia apresentada no ponto 4.3.4. recorrendo a interpolação linear simples foram produzidas as cartas de densidade hidrográfica e de densidade de fracturação geológica. Correspondendo os dados de base, nomeadamente a rede hidrográfica e a rede de fracturação geológica a informações vectoriais lineares, a interpolação permitiu a obtenção de dados contínuos que traduzem a densidade de linhas por unidade de superfície ( $\text{Km}/\text{Km}^2$ ).

##### **a) A densidade hidrográfica**

Pela análise visual constata-se na carta apresentada na figura III – 6 que a estrutura hidrográfica da ilha é globalmente densa. A carta de densidade produzida corresponde a densidade de drenagem da ilha apresentada na Figura V - 12 revela que a ilha apresenta uma densidade de drenagem variável entre 0,5 e 25,8  $\text{Km}/\text{Km}^2$ . predominando a classe entre 10 e 15  $\text{Km}/\text{Km}^2$ , a qual abrange 54% do território. Seguem-se as classes entre 15 e 20  $\text{Km}/\text{Km}^2$  (33,8%) e, entre 5 e 10  $\text{Km}/\text{Km}^2$  (9,4%). As classes extremas representam

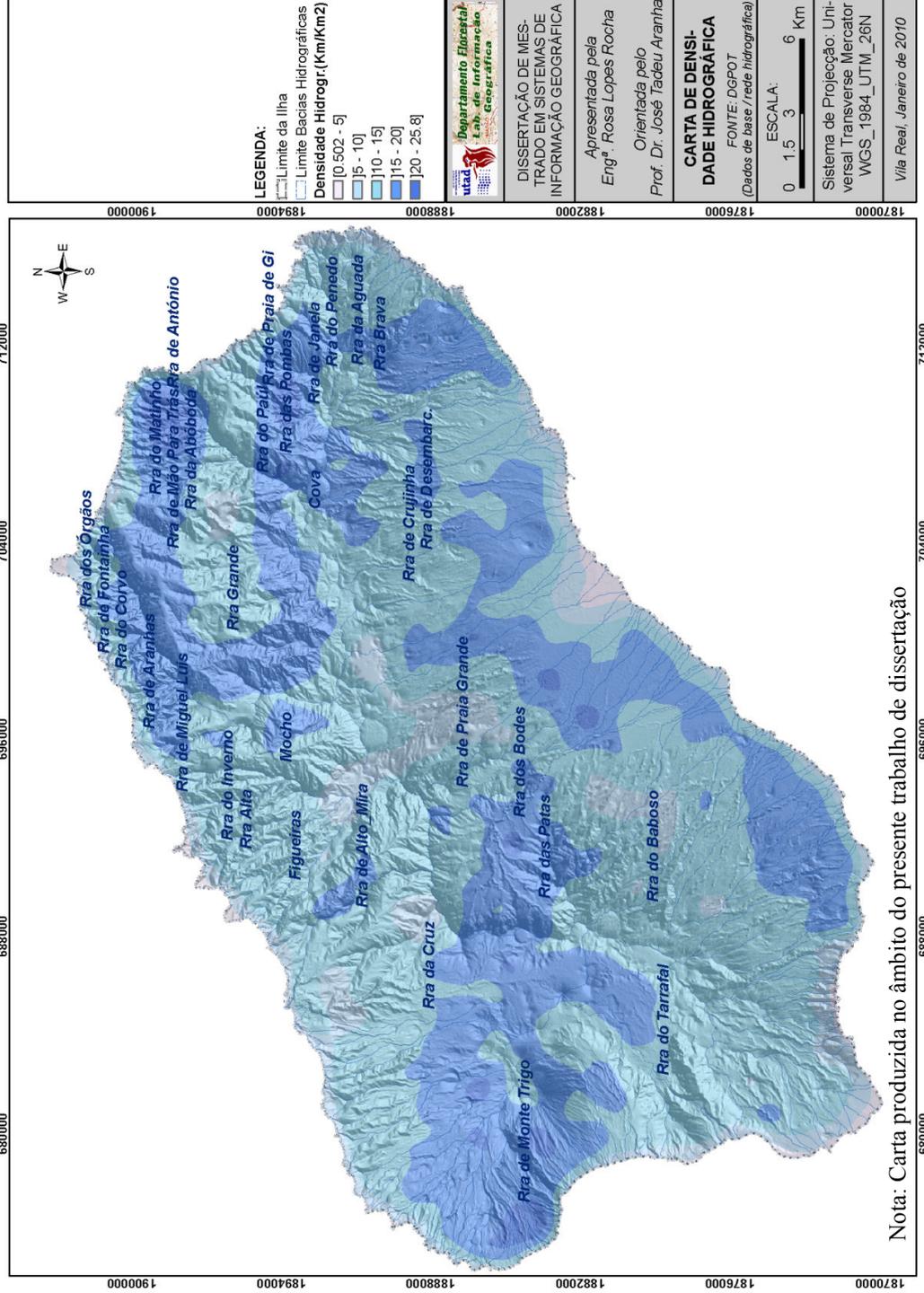
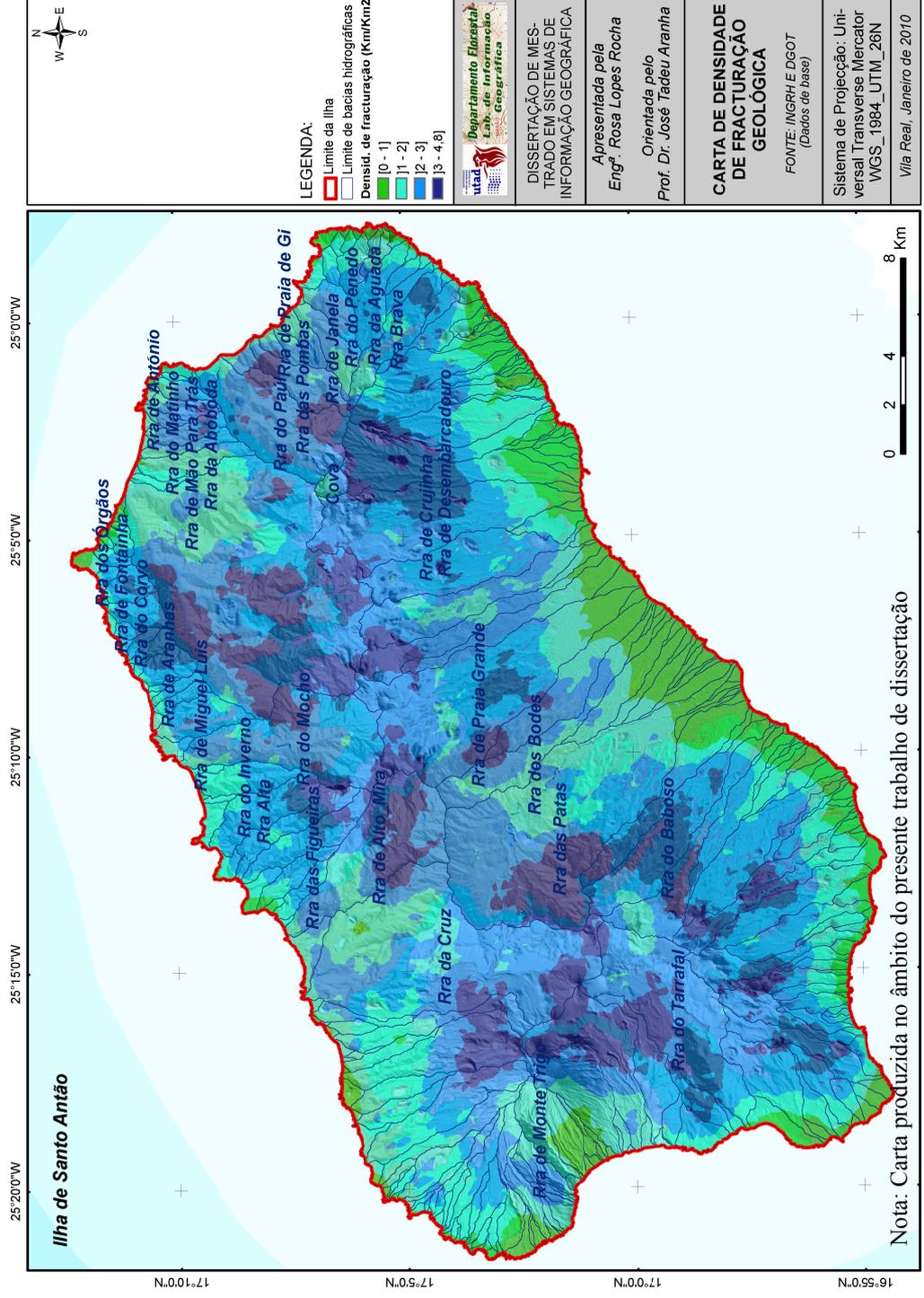


Figura V-12 –Carta de densidade hidrográfica (Km/Km2);  
 Fonte de dados de base: DGOT

apenas 0,9% e 1,9% do território, respectivamente. A análise espacial da citada carta revela que as áreas com maior densidade de drenagem localizam-se na região norte da ilha, mais especificamente nas bacias hidrográficas do Paúl e da Ribeira Grande. Destaca-se ainda a elevada densidade em algumas áreas da bacia hidrográfica de Ribeira das Patas e, na região litorânea do porto Novo. Nesta última, não obstante o relevo menos acidentado, as rochas com menor dureza predominantes facilitam a abertura de sulcos que contribuem para os resultados obtidos. Suportando-se na análise desenvolvida por Lencastre e Franco (1992) que consideram que as bacias hidrográficas cuja densidade ultrapassa os 3,5 Km/Km<sup>2</sup> são bem drenadas, os dados revelam que a ilha de Santo Antão apresenta uma situação excepcional. Os citados autores acrescentam ainda que a densidade de drenagem constitui um índice da tendência para a ocorrência de cheias em bacias hidrográficas. Em igualdade dos restantes factores, as bacias hidrográficas com maior densidade de drenagem tenderão assim, a estarem mais sujeitas a cheias do que as bacias com menor densidades de drenagem.

*a) A densidade de fracturação geológica*

A fracturação geológica constitui uma informação importante para a análise hidro-geológica pois, através das fracturas a água pode infiltrar e contribuir para a recarga dos aquíferos. Contudo, os dados disponíveis apenas indicam a localização e orientação longitudinal e comprimento. A profundidade e a inclinação vertical das fracturas facultariam uma base de análise hidrogeológica mais consistente. Daí que a informação produzida tem um carácter apenas indicativo. Os dados subjacentes à carta apresentada na Figura V-13 revelam que 65,2% do território apresenta uma densidade de fracturação entre 2 e 4,8 Km/Km<sup>2</sup>. As áreas com densidade de fracturação superior a 4 Km/Km<sup>2</sup> correspondem a apenas 0,8% do território. A análise espacial indica que estas áreas localizam-se na região norte da ilha. Contudo outras regiões da ilha apresentam níveis elevados de fracturação, como se poderá constatar. Pode-se ainda constatar no mapa que as áreas com menor densidade de fracturação situam-se na região sul litorânea.



Nota: Carta produzida no âmbito do presente trabalho de dissertação

Figura V-13 – Carta de densidade de fracturação geológica (Km/Km<sup>2</sup>).

Fonte de dados de base: Carta geológica da ilha de Santo Antão disponibilizadas pelo INGRH e limites baseados em dados da DGOT.

### 5.1.9. Análise espacial e temporal das precipitações

Neste ponto apresenta-se a análise espacial dos dados relativos a precipitação baseada em cartas de precipitação obtidas através da aplicação de métodos de co-Kringing, tendo em conta a variabilidade da estrutura morfológica da ilha e, a irregular distribuição dos pontos de amostragem, recorre-se a variáveis regionalizadas, mais densamente amostradas e, correlacionadas com as precipitações, nomeadamente a altitude e a exposição. Aplicando o referido método produziu-se a carta de precipitação média da ilha nos últimos 30 anos, as cartas de precipitação em sucessivos períodos quinquenais visando a análise da tendência evolutiva das precipitações na região, as cartas de precipitação mensal e de precipitação por década, visando nos dois últimos casos, a análise espacial das precipitações ao longo do ano.

#### a) Carta de precipitação média da ilha nos últimos 30 anos

A carta apresentada na Figura V – 15 representa a precipitação média anual obtida através da interpolação dos dados de precipitação média registados nos diferentes postos udométricos da ilha durante 30 anos (1980-2009). Os dados subjacentes permitiram a elaboração do seguinte gráfico.

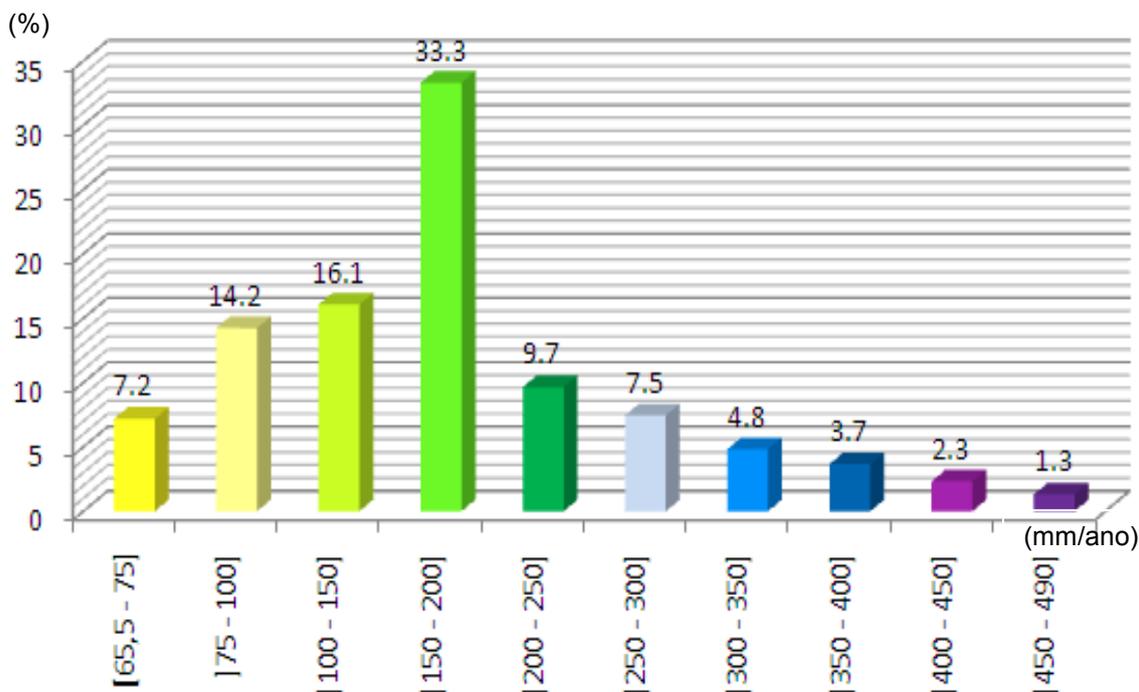


Figura V-14 –Representatividade (%) das classes de precipitação (mm) no território.

Fonte: Dados extraídos da carta apresentada na Figura V-15

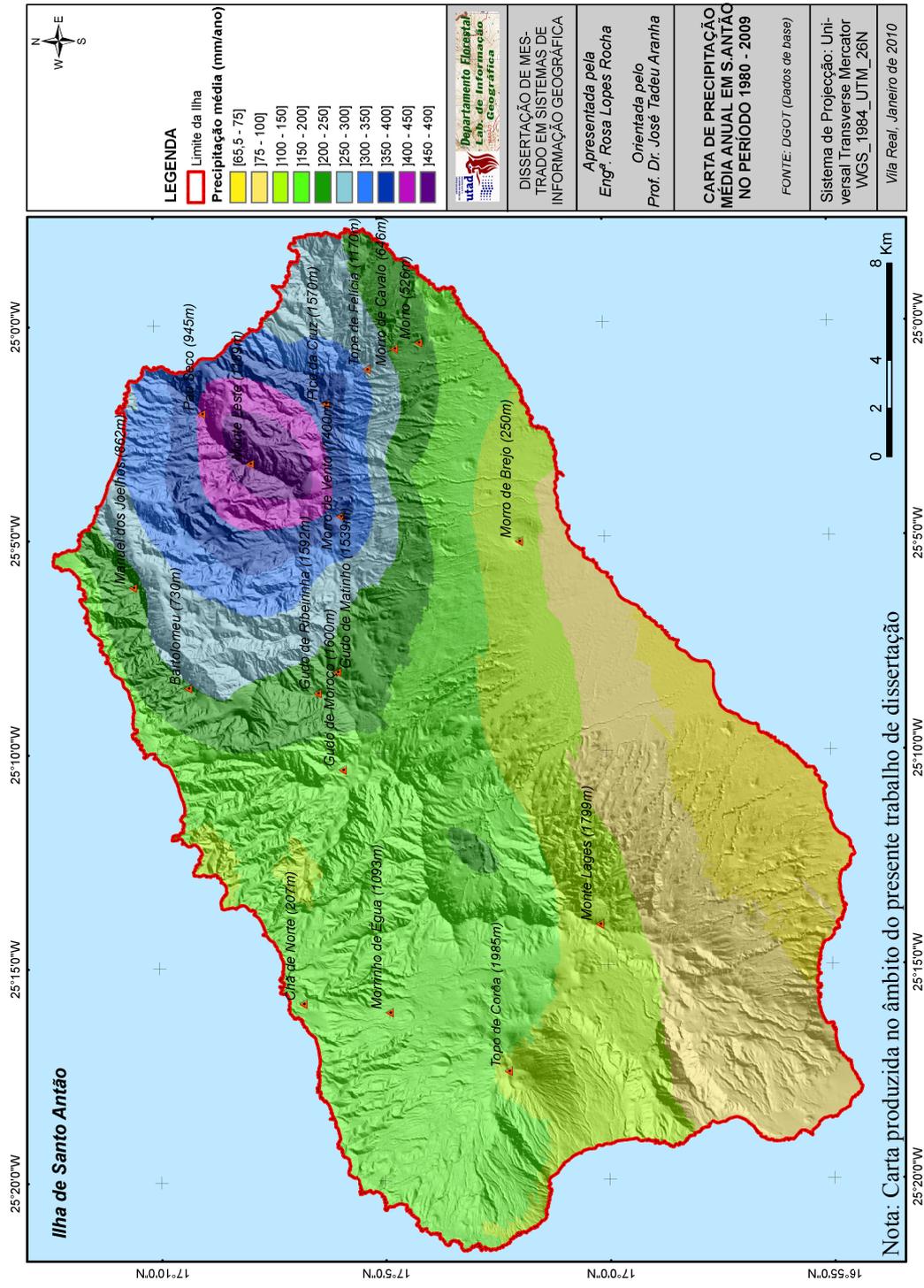


Figura V-15 – Carta de precipitação anual da ilha de Santo Antão, obtida por co-Krigagem (série de 30 anos)

Fonte: Dados de precipitação fornecidos pelo INMG e DMADRM

A carta resultante indica que, baseando-se na aplicação do método de interpolação probabilístico, a precipitação média da ilha corresponde a 180,05 mm/ano, variando entre 65,5 e 490 mm/ano, valores significativamente inferiores aos resultantes da análise aritmética dos dados originais e apresentada no ponto 5.1.4. Em termos espaciais, a classe de precipitação mais representativa corresponde a 150-200mm e abrange 33,3% do território. Uma área correspondente a 70,8% da ilha apresenta precipitações médias inferiores a 200mm, sendo que 21,4% apresenta níveis inferiores a 100mm. Adicionalmente, a análise espacial revela que as áreas menos pluviogénicas correspondem à região SW da ilha, aumentando os níveis de precipitação no sentido SW/NE. O valor máximo (490mm) localiza-se na região centro-oriental, a montante das bacias hidrográficas do Paúl e Ribeira da Torre.

*b) Análise da variação plurianual das precipitações*

Os dados quantitativos das precipitações registadas na ilha nas últimas três décadas foram analisados no ponto 5.1.4. Nesse âmbito foram analisadas os dados relativos a evolução temporal inter-anual e plurianual tendo-se, neste último caso, apresentada a linha de tendência negativa das precipitações médias anuais calculadas para os sucessivos quinquénios no período em análise (1980 e 2009). O gráfico da figura seguinte resulta do processo de interpolação das médias anuais por quinquénio, seguindo a metodologia adoptada para a carta de precipitação média apresentada na alínea anterior, sendo as Sete cartas correspondentes aos sucessivos quinquénios apresentadas no anexo XII.

Os dados obtidos apresentam uma relativa variação estrutural das classes de precipitação consideradas e uma relativa flutuação da superfície correspondente a cada classe e dos limites inferiores e superiores. Como se pode observar no gráfico que, apesar do período 1995/99 apresentar níveis superiores de precipitação máxima, com 1,4% do território com precipitações entre 500-550mm, apresenta 3,6% do território com precipitação média inferior a 50mm/ano. O período 1990/94 apresenta-se como o mais crítico pois, a classe de precipitação mais elevada corresponde a 350-400 mm e, com baixa representatividade territorial (1,5%). Por outro lado, nesse período, 13,1% território corresponde a um nível pluviométrico inferior a 50mm/ano. No

estremo oposto situa 1980/84 pois, apesar da classe máxima corresponder a 400-450mm/ano, a classe mais baixa corresponde a 100-150, a par de uma distribuição mais equitativa nos níveis intermédios.

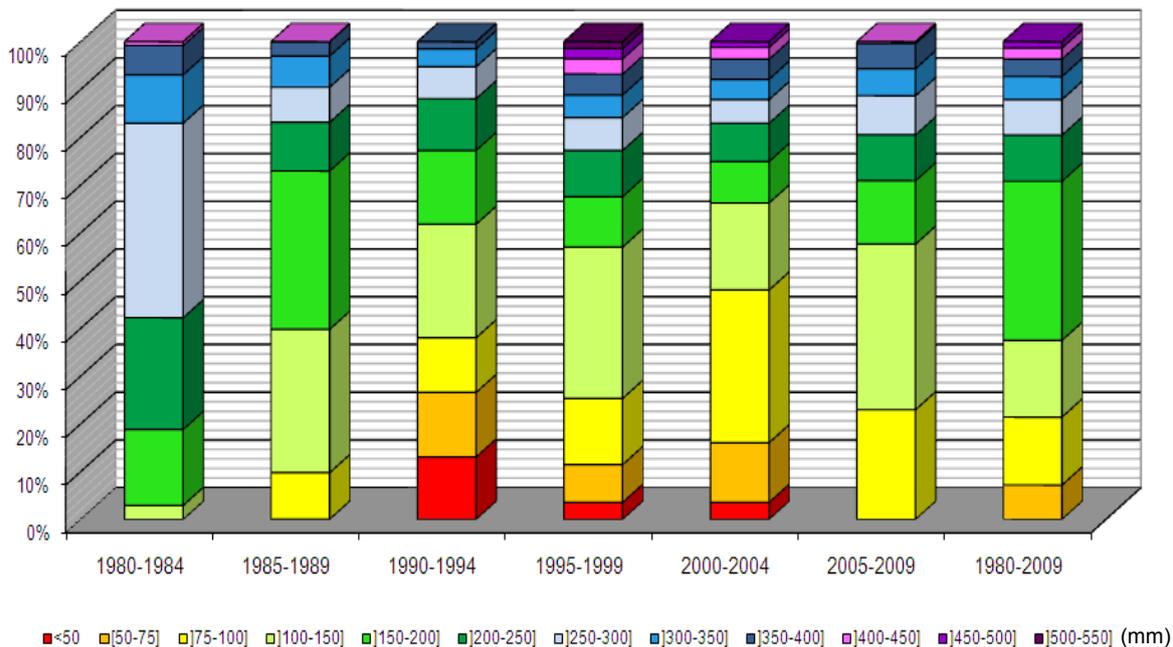


Figura V-16 – Representatividade territorial das diferentes classes de precipitação média anual (mm/ano) nos sucessivos quinquênios, entre 1980 e 2009.

Fonte: Dados extraídos das cartas de precipitação média por quinquênio, apresentadas no anexo XII

### c) *Análise da estrutura inter-anual das precipitações*

Visando conhecer a evolução dos níveis de precipitação no território ao longo do ano, foram produzidas as doze cartas relativas aos valores médios mensais no período 1980/2009. O gráfico resultante dos dados subjacentes às citadas cartas confirmam que o período pluvial decorre entre os meses de Agosto e Outubro, sendo Setembro o mês mais pluvioso. Com efeito, em Setembro 62,2% da superfície da ilha apresenta a níveis de precipitação mensal entre 60 e 150mm. A precipitação mínima corresponde a classe entre 20 e 30mm e estende-se por uma área equivalente a 10,3% da ilha.

De acordo com o mesmo gráfico o mês mais crítico corresponde a Maio, durante o qual, em média, 41,1% e 58,9% do território apresenta precipitação nula e, inferior a 5mm, respectivamente.

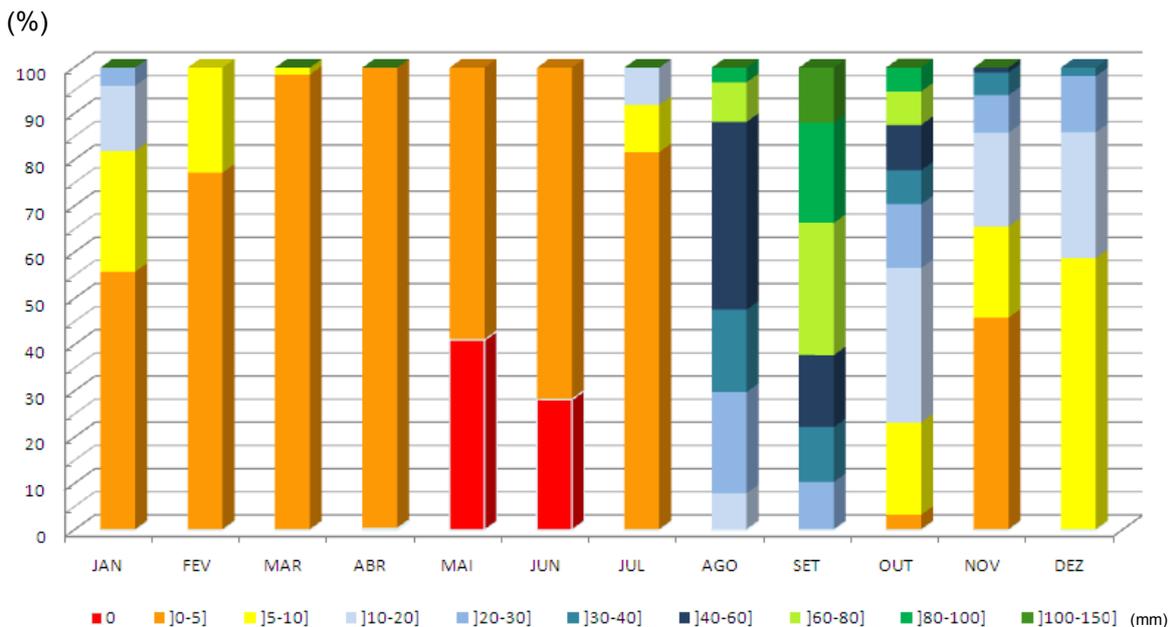


Figura V-17 – Evolução da estrutura espacial da precipitação mensal média (1980-2009) na ilha de Santo Antão.

Fonte: Dados extraídos de 12 cartas de precipitação mensal média (30 anos) obtidas por co-Krigagem

Visando uma análise mais pormenorizada, os dados de precipitação diária registados em datas irregulares, foram agrupados por décadas e, na sequência, produzidas 36 cartas. O gráfico apresentado na Figura V - 18 confirma a distribuição espacial e temporal das precipitações no território. Observa-se que a primeira década de Setembro corresponde a valores mais elevados de precipitação média nos últimos 30 anos, registando-se também nesse período, os valores máximos e mínimos mais elevados. No extremo oposto situa a terceira década de Junho, durante a qual, no período em análise (1980/2009) não foi registado qualquer nível de precipitação nos postos udométricos da ilha. A análise espacial evidencia aspectos climáticos regionais, determinados pela estrutura do relevo da ilha. Durante a época seca (Dezembro/Julho), grande parte do território apresenta níveis pouco significantes de precipitação sendo geralmente nulos na região litorânea meridional. A área mais pluviogénica correspondem ao sector centro-oriental da ilha, com altitude entre 1000 e 1500m e, expostas à Nordeste.

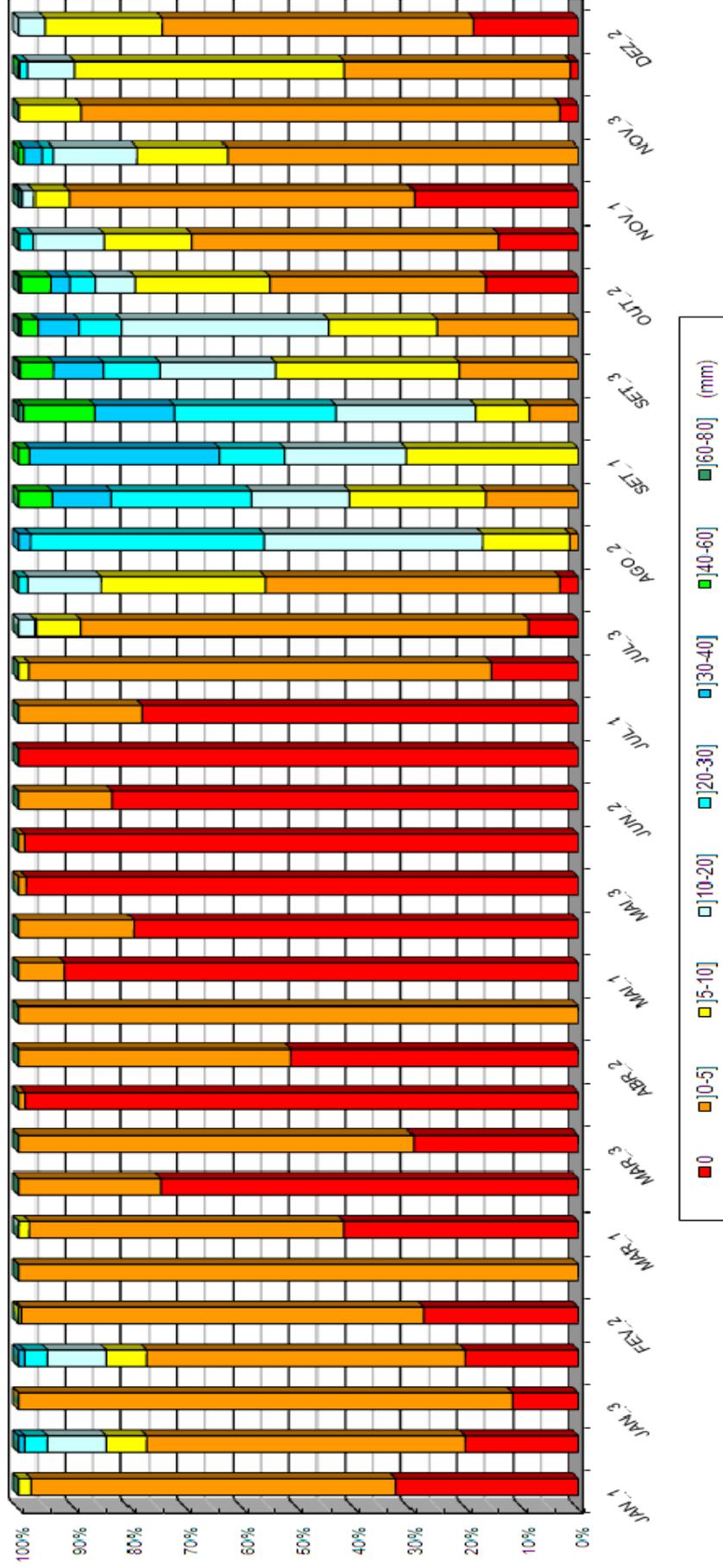


Figura V-18 – Evolução da estrutura espacial das classes de precipitação média anual, entre 1980 e 2008 na ilha de Santo Antão

Fonte: Dados extraídos de 36 cartas de precipitação média (30 anos) por décadas, obtidas por co-Krigagem

### 5.1.10. Análise espacial dos recursos hídricos

Recorrendo a diferentes métodos de interpolação espacial, nomeadamente determinísticos e probabilísticos, foram transformados os dados pontuais resultantes do inventário dos recursos hídricos e em superfícies de valores. Relativamente aos recursos hídricos superficiais, face a complexidade dos factores condicionantes da disponibilidade, optou-se por ajustar a superfície ao à uma função de interpolação probabilística, sendo utilizados como variáveis auxiliares, a altitude e a exposição. Observa-se na carta da Figura III – 2 que, o valor máximo estimado corresponde a 1492,25 m<sup>3</sup>/dia, localizando-se na bacia hidrográfica do Paúl, relacionando-se com a nascente com o maior caudal da ilha, correspondente a 1.704 m<sup>3</sup>/dia. As áreas correspondentes aos maiores caudais localizam-se na citada bacia hidrográfica, seguindo-se o sector médio de algumas sub-bacias da bacia hidrográfica da Ribeira Grande, destacando-se as localizadas na região oriental, nomeadamente a Ribeira da Torre e a Ribeira Duque. Apesar de se destacarem algumas manchas normalmente relacionadas com as vertentes expostas a Nordeste, verifica-se uma tendencial redução a medida que se distancia no sentido Este/Oeste e Norte/Sul. Na região sul da ilha destaca-se, naturalmente, a concentração na bacia hidrográfica do Tarrafal e algumas manchas localizadas na bacia hidrográfica de Ribeira das Patas.

Relativamente aos recursos hídricos subterrâneos, os valores de disponibilidade correspondem a resultados do processo de prospecção em curso, observa-se permanecendo uma área significativa do território desconhecida. Optou-se, neste caso pela aplicação do método IDW (*Inverse Distance Weight*) o qual baseia na combinação de todos os valores, ponderada de forma inversamente proporcional à distância, obtendo-se os valores para os pontos de água coincidentes com os valores originais. Observa-se que, o valor máximo do caudal diário estimado corresponde a 136,9 m<sup>3</sup>/dia, apesar dos dados da amostragem correspondente ao caudal dos furos e poços medidos atingirem 360 m<sup>3</sup>/dia.

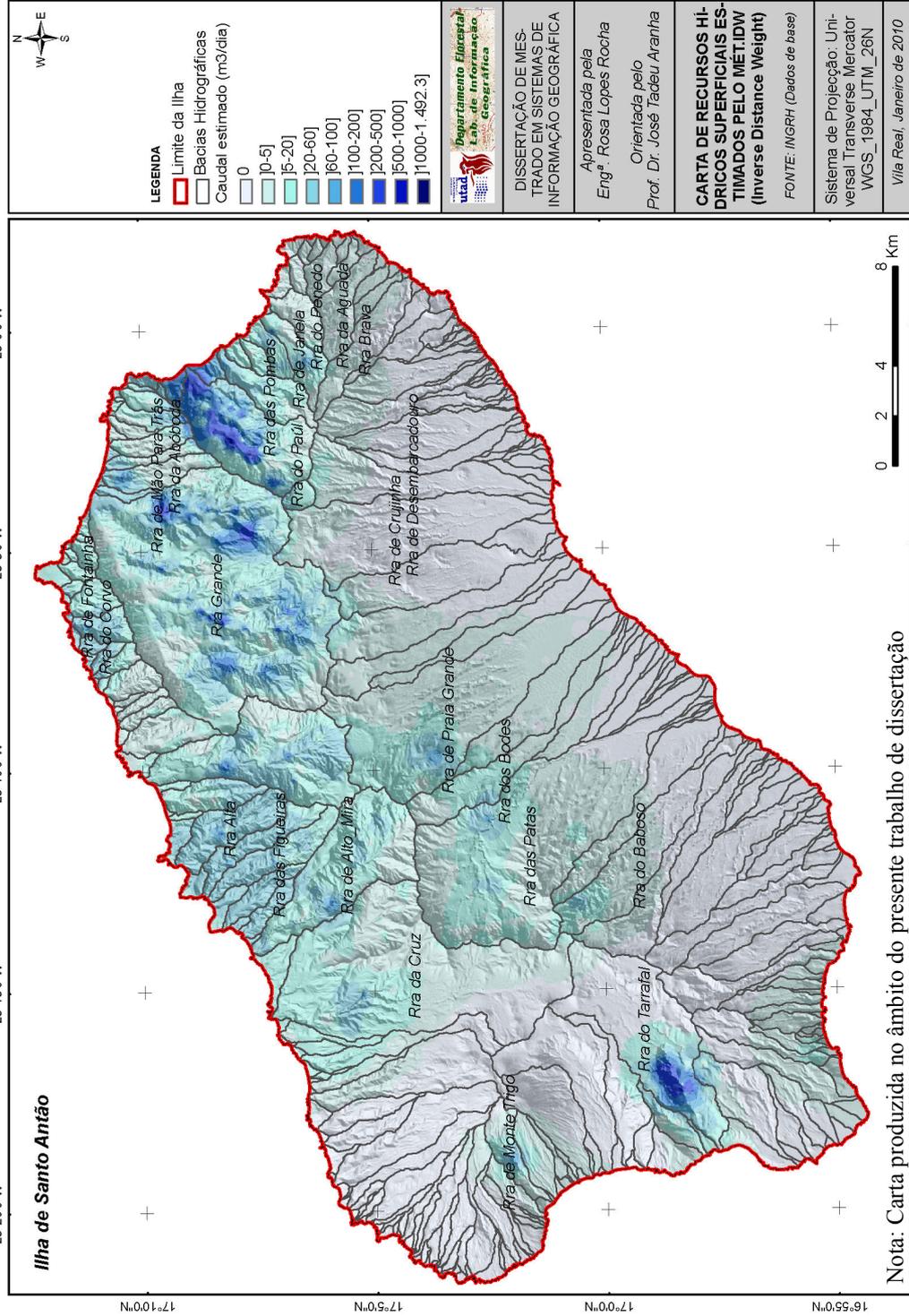


Figura V-19 - Carta de recursos hídricos superficiais:  
Fonte de dados de base: INGRH (Inventário dos recursos hídricos)

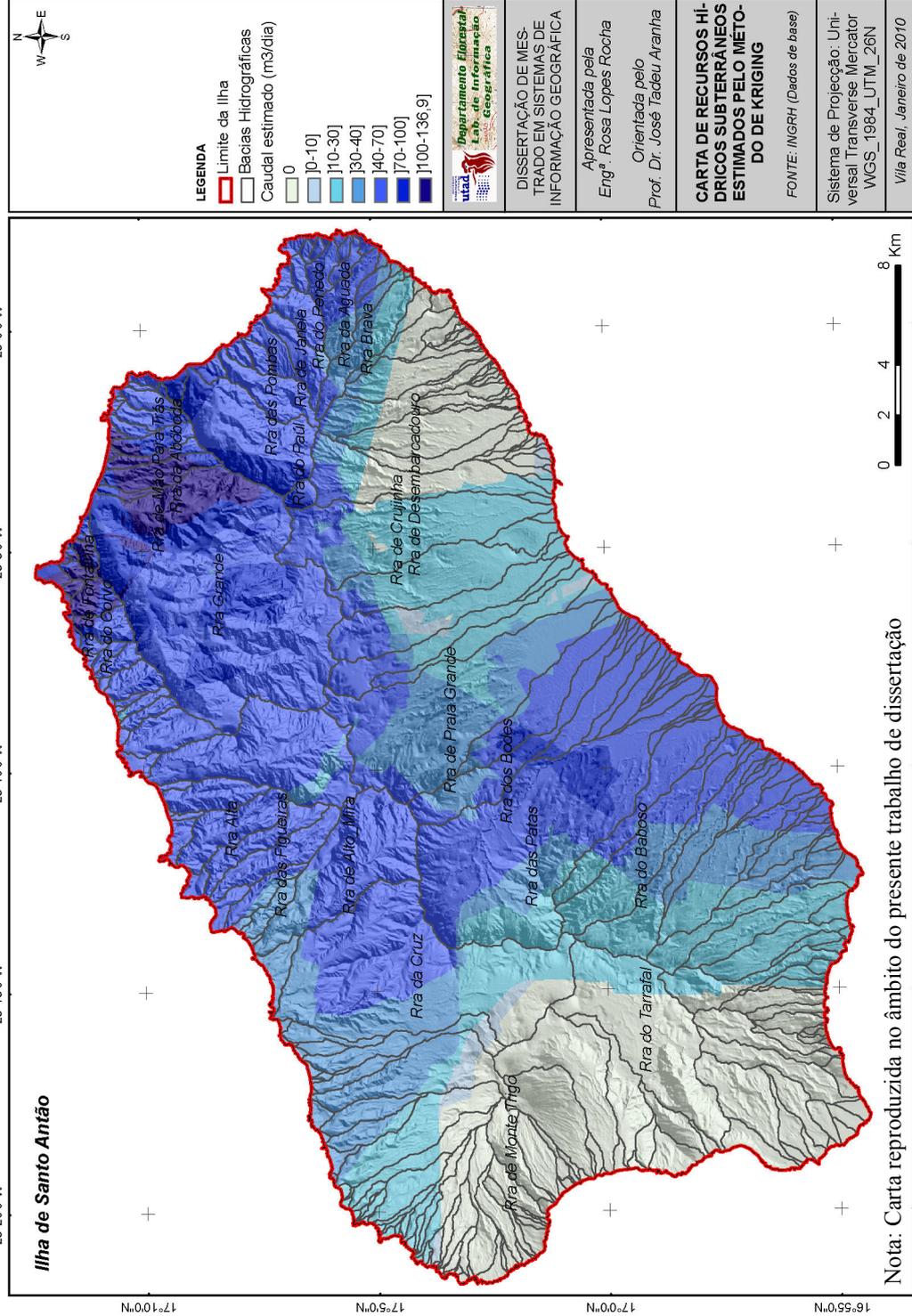


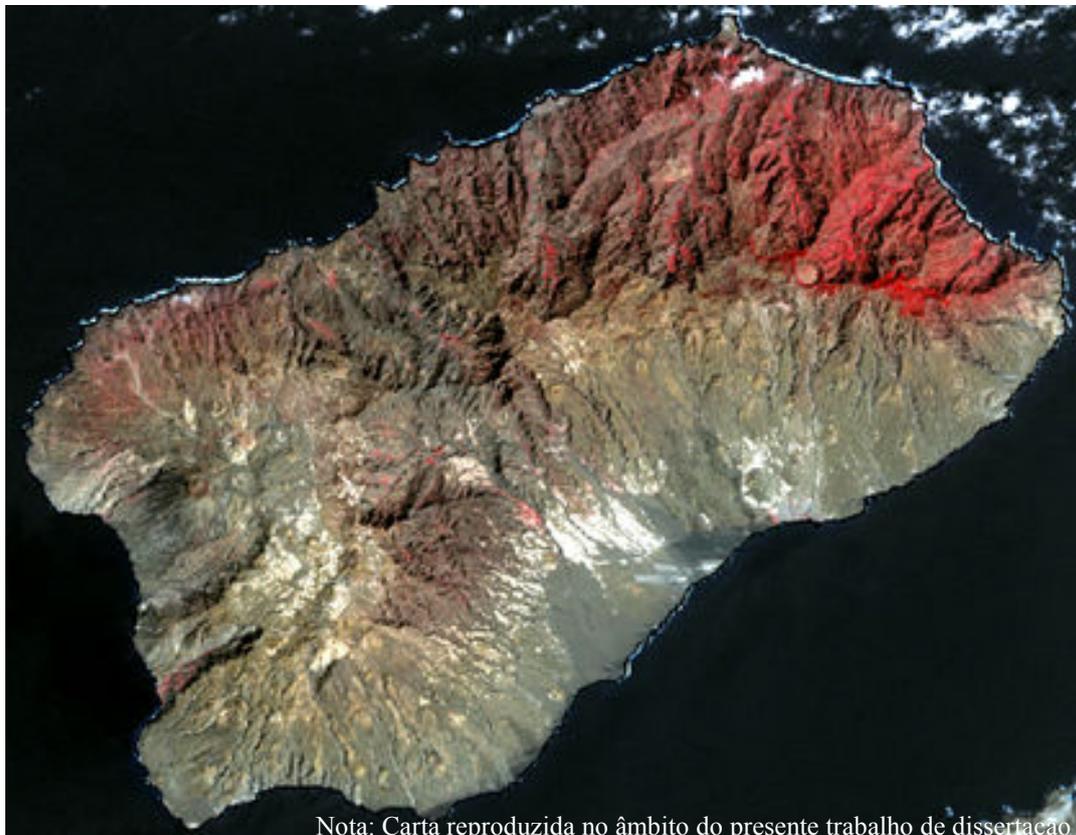
Figura V-20 - Carta de recursos hídricos subterrâneos; Fonte de dados de base: INGRH (Inventário dos recursos hídricos)

## 5.2. PRODUÇÃO E ANÁLISE DE DADOS RECORRENDO A TÉCNICAS DE DETECÇÃO REMOTA

No âmbito do presente trabalho recorre-se a técnicas de detecção remota para produzir um conjunto de dados relacionados com a superfície da ilha em seis momentos diferentes. As metodologias e procedimentos adoptados foram apresentados no capítulo anterior, sendo aqui referidos alguns aspectos complementares e, em apoio à interpretação das imagens resultantes.

### 5.2.1. Imagens resultantes de composições RGB de Imagens de Satélite

A imagem seguinte resulta da composição colorida RGB (Red, Green, Blue), designada composição colorida a falsa (RGB432). Observa-se que, a coloração facilita o reconhecimento dos objectos à superfície do solo. A água (mar circundante) apresenta-se em tonalidades entre o azul e o preto, as nuvens altas bem como a linha da costa com pela cor branca e, a vegetação em tonalidades de rosa a vermelho acastanhado.



Nota: Carta reproduzida no âmbito do presente trabalho de dissertação

Figura V-21 - Composição colorida RGB432

Fonte: Imagens de satélite Landsat TM 2007, acedida em <http://glovis.usgs.gov>.

Na outra composição realizada, a RGB541, a imagem resultante, apresentada na figura seguinte, permite visualizar a vegetação, a água e os solos em cores reais ou seja, como o olho humano os visualiza.



Nota: Carta reproduzida no âmbito do presente trabalho de dissertação

Figura V-22 - Composição colorida RGB541 (simulação de cores reais)  
Fonte: Imagens de satélite Landsat TM 2007, acedida em <http://glovis.usgs.gov>.

### 5.2.2. Análise da Ocupação do Solo

No âmbito do presente trabalho foram produzidas 6 cartas de ocupação do solo resultantes de processo de classificação de imagens de Satélite Landsat TM e ETM+ datadas de 1999, 2001, 2002, 2003, 2006 e 2007. Recorreu-se a técnicas de detecção Remota desenvolvidas em ambiente IDRISI32, sendo a metodologia de classificação descrita no capítulo anterior. Sublinha-se que foi adoptado o método de classificação assistida, para a qual foram definidas as classes de ocupação, delimitadas parcelas correspondentes a cada classe e, produzidas as respectivas assinaturas espectrais (apresentadas no anexo XI). Na classificação das diferentes imagens aplicou-se o método de máxima verosimilhança, após ter-se testado e descartado o método de mínima distância, cujos resultados se distanciavam da realidade. Este processo foi

auxiliado pelas ortofotomapas datadas de 2004 e pela experiência de campo da analista.

As cartas produzidas confrontadas com outros dados, nomeadamente a cartografia dos edifícios e das infra-estruturas disponibilizadas pela DGOT revelaram que, muitas áreas correspondentes ao solo nu, teriam sido classificadas como urbanas. Face a morosidade do processo de reclassificação manual das citadas áreas, optou-se pela conclusão do processo apenas para a carta mais recente, referente a 2007, reservando as demais para eventuais trabalhos futuros, a aplicação de técnicas automatizadas no processo.

Em relação a 2007, recorreu-se aos ortofotomapas e a cartografia de base existentes para reclassificar as áreas classificadas como urbanas e correspondentes a solo nu. A carta resultante é apresentada na Figura V-24, sendo de destacar os seguintes aspectos:

- A classe correspondente a vegetação rasteira integra as culturas pluviais e as pastagens, cujo término do ciclo vegetativo cede lugar ao solo nu;
- A classe correspondente a “matos e acácias” abrange a vegetação arbustiva espontânea que desenvolve nas encostas com microclimas favoráveis e, as áreas arborizadas nas zonas áridas e semi-áridas, recorrendo a espécies arbustivas resistentes à seca, habitualmente designadas “acácias”. Apesar de tratarem-se de espécies plurianuais, a densidade da folhagem depende da época pluvial, aproximando-se de valores nulos na época seca;
- As áreas classificadas como florestas diferenciam-se das anteriores por tratarem-se de perímetros florestais de altitude, predominando espécies com folhagem densa e permanente;
- As classe “agrícola” correspondem as culturas irrigadas, localizadas em função da disponibilidade de água. Não foi possível diferenciar as áreas correspondentes à cultura da cana sacarina das demais, informação importante para o sector;
- As correspondentes as culturas pluviais integram a classe “vegetação rasteira”, conjuntamente com as zonas de pastagem e outras áreas com vegetação rasteira espontânea.

Os dados extraídos da carta de ocupação do solo e apresentados no gráfico da Figura v-23, indica que, em termos de representatividade territorial, as classes de ocupação mais representativas são os “matos e acácias”, o “solo nu” e a “vegetação rasteira”, representando 38,7% (303,7 Km<sup>2</sup>), 30,5% (239,4 Km<sup>2</sup>) e 21,7% (170,1 Km<sup>2</sup>) do território, respectivamente. As classes “agricultura irrigada” e “florestas” ocupam 4,8% do território (37,4 Km<sup>2</sup>) e 2,2% do território (16,9 Km<sup>2</sup>), respectivamente. O solo urbanizado (aglomerados e vias de acesso) representa apenas 0,5% do território e as áreas correspondentes a “Pozolanas”, 1,7%. Esta última classe corresponde, efectivamente, a solo nu mas, tendo em conta a relativa importância deste substrato rochoso para a economia local e, a facilidade de diferenciação dos demais elementos no processo de classificação da imagem, optou-se pela sua diferenciação.

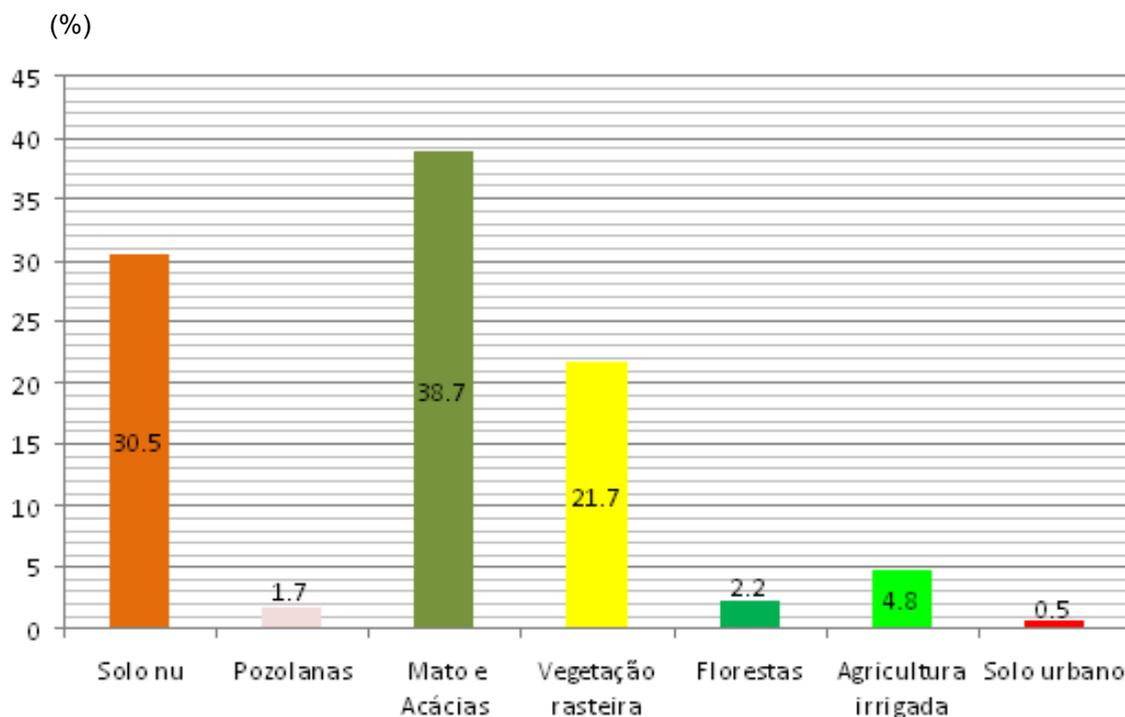


Figura V-23 - Representatividade (%) das classes de ocupação do solo da ilha de Santo Antão.

Fonte: Dados extraídos da carta apresentada na figura V\_24.

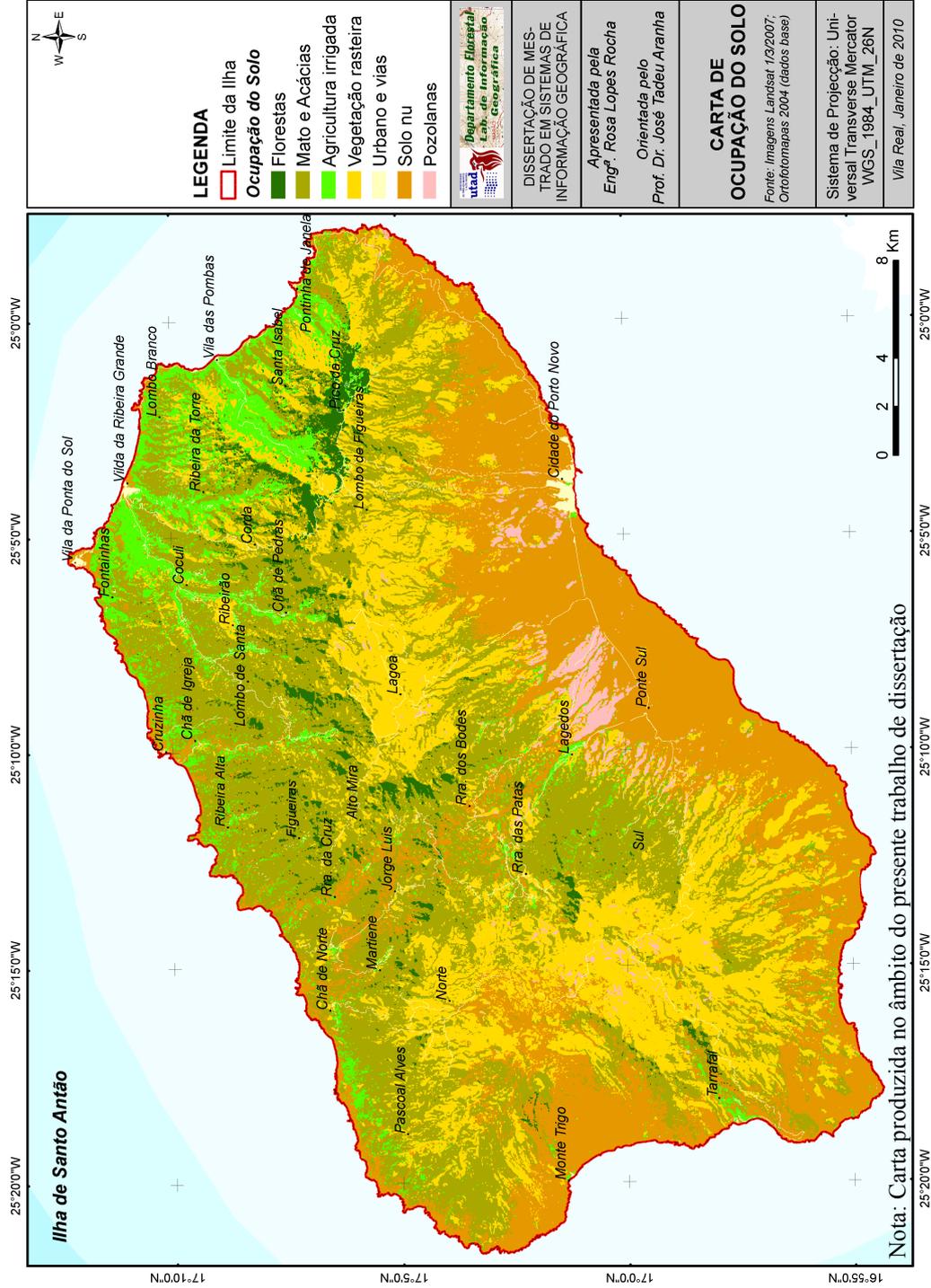


Figura V-24 - Carta de ocupação do solo na ilha de Santo Antão resultante da aplicação de técnicas de detecção remota. Fonte: Imagens de satélite Landsat TM 2007, acessada em <http://glovis.usgs.gov> e auxiliada por ortofotomapas de 2004 (DGOT).

Relativamente a estrutura espacial das classes de ocupação, tentou-se ainda analisar a representatividade das classes a nível das principais bacias hidrográficas da ilha. O gráfico apresentado na Figura V-25 resulta da intercepção da referida carta de ocupação do solo com os limites das principais bacias hidrográficas da ilha. Como se pode constatar, a bacia hidrográfica de Ribeira Grande apresenta uma maior extensão de área agrícola (9,2Km<sup>2</sup>), seguida da bacia hidrográfica do Paúl (6,2 Km<sup>2</sup>).

Contudo, em termos relativos, face a dimensão das duas citadas unidades hidrográficas, a bacia hidrográfica do Paúl apresenta uma maior proporção de área classificada como agrícola. Este dado está em concordância com a análise desenvolvida relativamente a disponibilidade de recursos hídricos nas citadas unidades. Relativamente a classe floresta, a análise é similar tendo em conta os níveis de precipitação registados. Destaca-se ainda, na bacia hidrográfica do Paúl a ausência de solo nu<sup>14</sup>, na bacia de Ribeira Grande uma área pouco expressiva correspondente a citada classe (0,9Km<sup>2</sup>). Em contrapartida, nesta última observa-se uma extensa área correspondendo a acácias e matos (45,2 Km<sup>2</sup>).

Importa ainda acrescentar que, entre as bacias hidrográficas analisadas, Ribeira das Patas, Ribeira da Cruz e Ribeira de Praia Grande, apresentam, em termos absolutos, a maior superfície correspondente a solo nu mas, em termos relativos, a pequena bacia hidrográfica de Monte Trigo, apresenta uma maior proporção do território classificada como solo nu.

---

<sup>14</sup> Sublinha-se que esta análise é relativa a data da recolha da imagem (1 de Março de 2007)

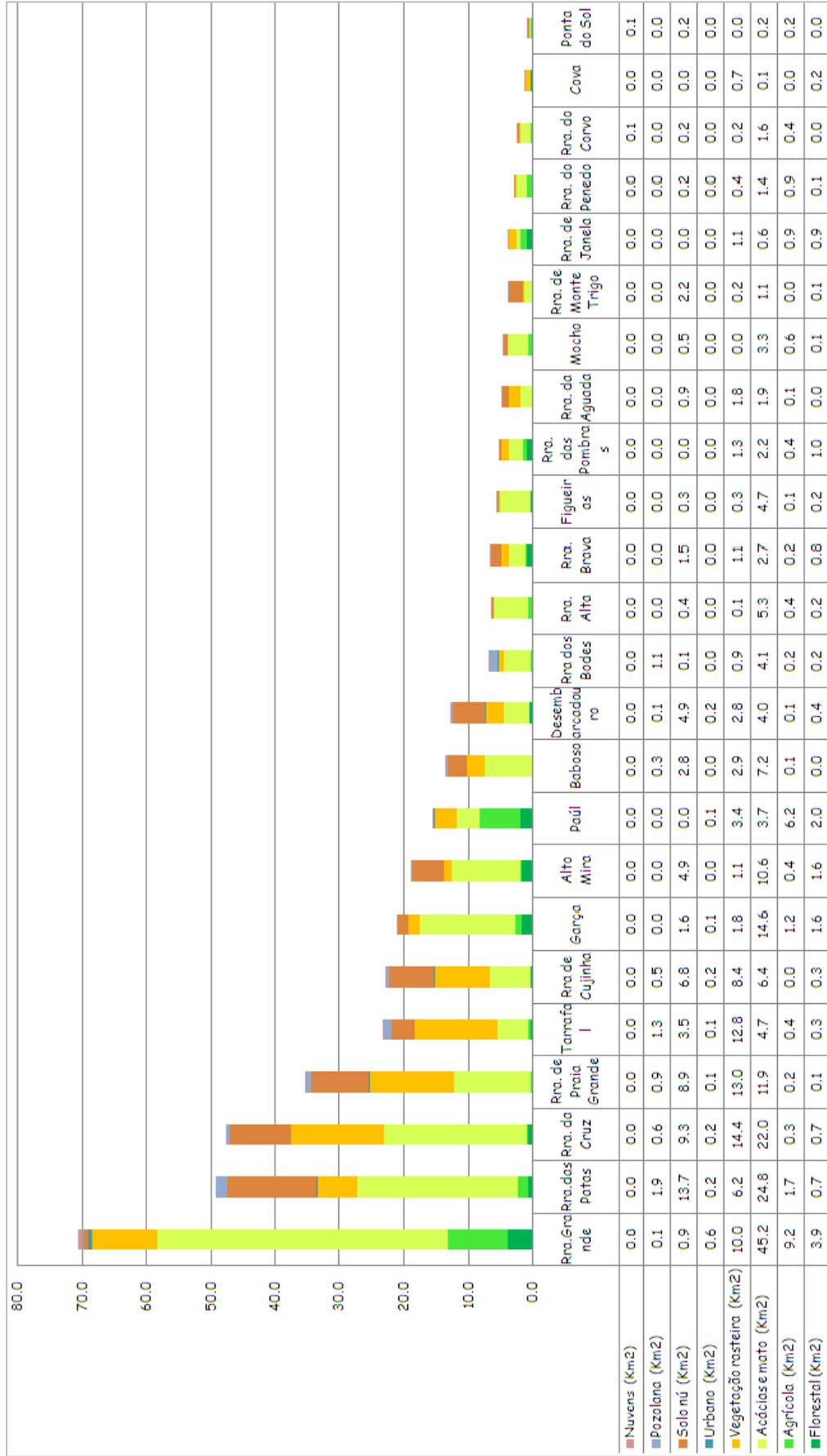


Figura V-25 - Área (Km2) ocupada pelas classes de ocupação do solo nas principais bacias hidrográficas.

Fonte: Gráfico resultante da intercepção da carta de ocupação do solo apresentada na Figura V-24 com os limites das principais bacias hidrográficas.

### 5.2.3. Análise dos Índice de Vegetação

A estrutura espacial e temporal das precipitações, caracterizadas pela elevada aleatoriedade, excessiva variabilidade inter-anual e a concentração da época pluvial num curto período, entre Agosto e Outubro, os índices de vegetação caracterizam-se por uma extrema variabilidade. No âmbito do presente trabalho procura-se medir os níveis de cobertura vegetal do solo através do índice de vegetação NDVI (Normalised Difference Vegetation Index), recorrendo a imagens de satélite Lansat TM e ETM+ disponíveis e registadas em seis diferentes momentos (1999, 2001, 2002, 2003, 2006 e 2007).

O gráfico seguinte, cujos dados foram extraídos das cartas de índice de vegetação normalizado (NDVI) representa a representatividade territorial (%) das diferentes classes de NDVI na ilha, em seis datas diferentes. A título exemplificativo, apresenta-se na Figura V-26 a carta relativa a 01 de Março de 2007. Constata-se que, globalmente, os dados revelam a prevalência dos baixos índices de cobertura vegetal no território, a par da variabilidade espacial e temporal. A análise conjugada, dos referidos dados, com o gráfico das precipitações mensais registadas nos períodos antecedentes à captura das diferentes imagens, evidencia a correlação entre os dois factores.

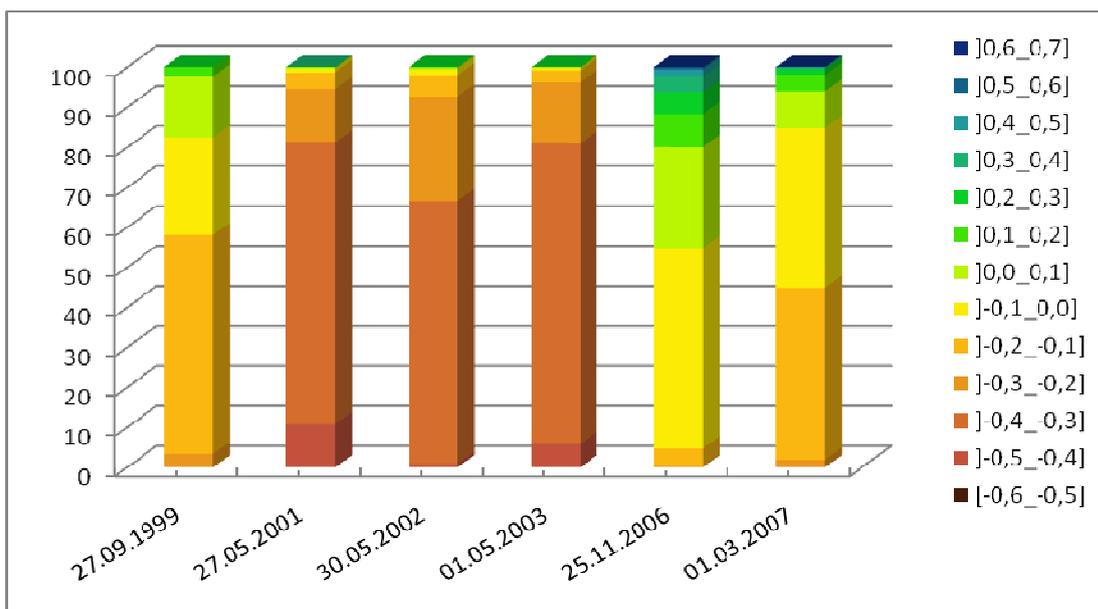


Figura V-27 - Representatividade (%) das classes de índice de vegetação (NDVI) no território.

Fonte: Dados extraídos das cartas de NDVI apresentadas na Figura V-28 e no anexo IX.

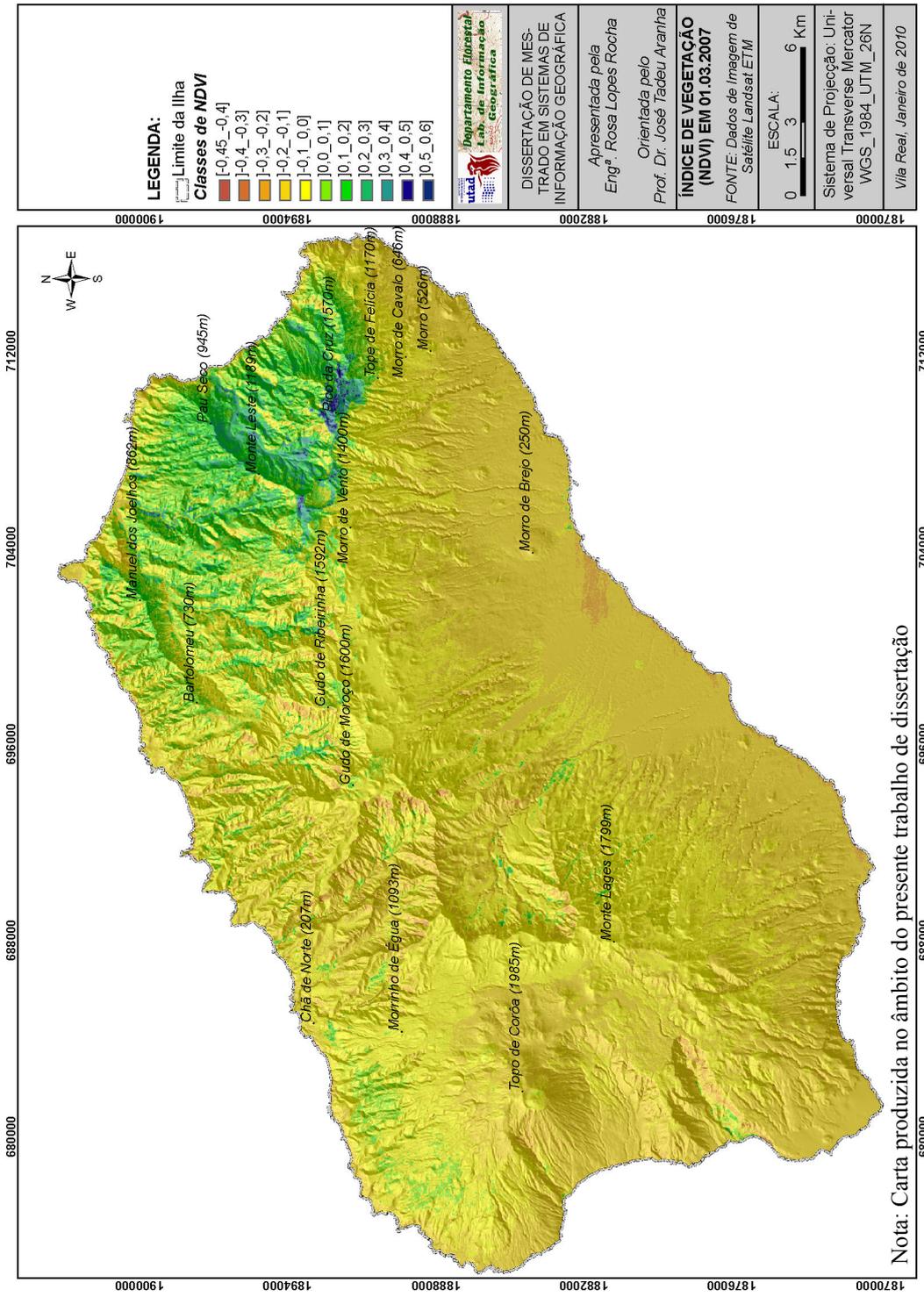


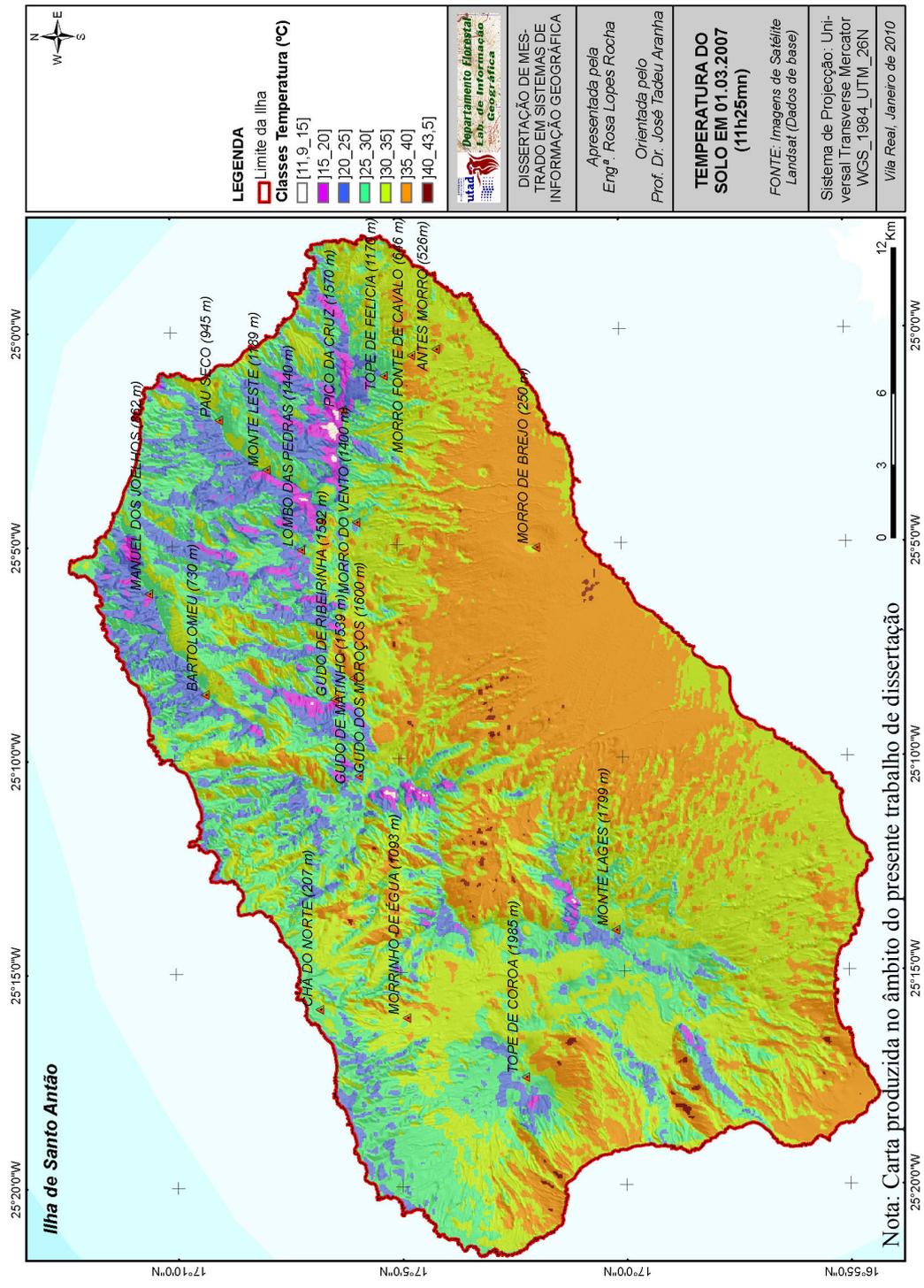
Figura V-28 - Carta de índice de vegetação (NDVI) na ilha de Santo Antão; Fonte de dados de base: Imagens de Satélite Landsat de em 01 de Março de 2007 acedida em <http://glovis.usgs.gov>.

Pode-se ainda verificar que, os dados referentes a 2001, 2002 e 2003 apresentam os índices mais baixos e correspondem a imagens registadas no mês de Maio, ou seja, após o término do ciclo vegetativo das culturas pluviais e da vegetação herbácea. Observa-se que, em Maio de 2001, os índices de vegetação apresentam como valores extremos “-0,55” e “+0,38” e, em 25 de Novembro de 2006, correspondem a -0,45 a +0,68. Adicionalmente constata-se que, no primeiro caso, apenas 0,35% do território apresentava índices de vegetação positivos, valor que traduz, não só ausência de vegetação mas, também, a ausência de humidade no solo. Complementarmente, 25,28% da ilha apresentava um índice de entre 0 e 0,1.

A representatividade das demais classes de índice superior a zero, reduz-se progressivamente. A 01 de Março do ano seguinte, o índice médio de vegetação reduz-se substancialmente. Realça-se que, nesse momento, a superfície da ilha com NDVI inferior a zero aumenta para 84,86%. Observa-se ainda que, a imagem referente a 27 de Setembro 1999, apresenta índices de vegetação relativamente elevados, comparativamente às relativas aos anos 2001, 2002 e 2003, correspondentes ao mês de Maio.

#### **5.2.4. Cartas de temperatura do solo**

Os dados correspondentes a banda 6 das diferentes imagens de satélite permitiram a produção de cartas de temperatura do solo em seis datas diferentes, entre 1999 e 2007. As cartas resultantes evidenciam a variação dos gradientes de temperatura na região. A título exemplificativo é apresentada a carta de temperatura do solo referente a 01 de Março de 2007, sendo as demais apresentadas no anexo X. Observa-se que temperatura entre 14,8 e 45,8 °C, estando as temperaturas mais elevadas localizam-se nas encostas do Porto Novo, na região de Lagoa e no Planalto Norte. Deve-se realçar que os valores mais elevados comparativamente à temperatura do ar referentes as estações climatológicas justifica-se pelo facto de, neste caso, tratar-se da temperatura do solo e correspondentes ao horário de registo sistemático das imagens pelo Satélite (as 11h25mn).



Nota: Carta produzida no âmbito do presente trabalho de dissertação

VI. Fonte de dados de base: Imagens de Satélite Landsat de em 01 de Março de 2007 acedida em <http://glovis.usgs.gov>.

### 5.3. ANÁLISE INTEGRADA DAS VARIÁVEIS BIOFÍSICAS COM DISTRIBUIÇÃO CONTÍNUA

#### 5.3.1. Análise e Componentes Principais

Como foi descrito no ponto 4.5.3., a análise em componentes principais desenvolvida teve como objectivo viabilizar a análise integrada de 29 variáveis biofísicas correlacionadas entre si e subsequente caracterização da ilha de Santo Antão em unidades biofísicas. Neste ponto, são apresentados os resultados obtidos nas diferentes etapas. Face a importância deste ponto para os objectivos do trabalho, tenta-se apresentar os resultados com algum detalhe. Da extracção dos valores correspondentes as 29 variáveis através de uma rede de pontos de amostragem sistemática com 1000 metros de espaçamento, permitiu obter uma tabela com os campos correspondentes às variáveis e 921 repetições. A figura seguinte apresenta a rede de amostragem, evidenciando os atributos correspondentes ao ponto no 5.

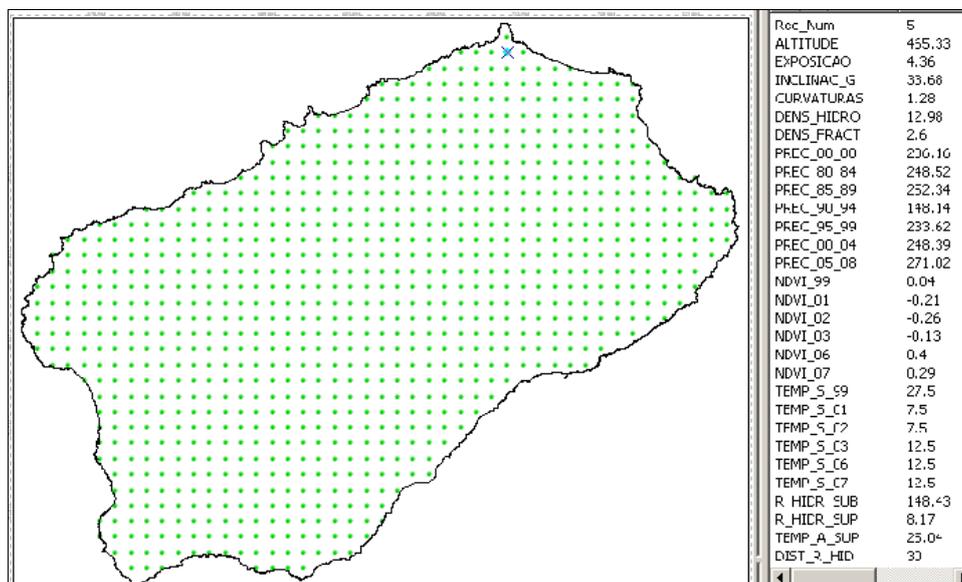


Figura V-30-Rede de amostragem sistemática exemplificando os atributos relativos ao ponto 5.

A exportação dos dados referentes a tabela de atributos e a produção da tabela de correlação entre as diferentes variáveis antecederam a análise em componentes principais, desenvolvido num processo interactivo. A primeira análise mostrou que, considerando as 29 variáveis, seriam necessários seis

eixos para explicar o mínimo de 75% da variância dos dados originais, como se poderá observar no quadro seguinte.

Tabela 2 Resultados da Análise de Componente Principais

	Valores próprios	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
<b>1</b>	<b>12,3186</b>	<b>42,48</b>	<b>42,48</b>
<b>2</b>	<b>3,7735</b>	<b>13,01</b>	<b>55,49</b>
<b>3</b>	<b>2,1554</b>	<b>7,43</b>	<b>62,92</b>
<b>4</b>	<b>1,8333</b>	<b>6,32</b>	<b>69,24</b>
<b>5</b>	<b>1,3299</b>	<b>4,59</b>	<b>73,83</b>
<b>6</b>	<b>1,1940</b>	<b>4,12</b>	<b>77,95</b>
(...)	(...)	(...)	(...)
27	0,0066	0,02	99,98
28	0,0033	0,01	99,99
29	0,0024	0,01	100,00
Total	29,0002		

Evidenciou-se necessária a análise das variáveis. Através da análise da matriz de correlação variável original / CP ou eixo, foram identificadas e retidas as variáveis com maior nível de correlação com os primeiros 4 CP. Consultando uma tabela de correlações de Pearson, foi possível verificar que, para o número de observações (921), o valor significativo de correlação (R) seria de 0,30 ou seja os valores de R superiores 0,3 seriam significativos. Nesta base procedeu-se a análise ao quadro seguinte e identificadas as variáveis a subtrair nesta fase:

Tabela 3: Correlação entre cada variável e cada eixo (selecção do maior valor)

<b>VARIÁVEIS</b>	CP1	CP2	CP3	CP4	A eliminar
Altitude	0.1435	<b>0.5902</b>	0.3913	0.4654	
Exposição	0.0648	-0.2439	0.0730	0.1809	x
Inclinação	<b>0.4566</b>	-0.2533	-0.0425	0.3814	
Curvatura	-0.0223	-0.0649	0.0253	0.1677	X
Densidade hidrográfica	-0.0496	0.3915	<b>-0.8450</b>	0.2418	
Densidade de fracturação	0.3034	<b>0.4923</b>	0.2753	0.2840	
Precipitação média 1980-2009	<b>0.9505</b>	0.1196	-0.0072	-0.1906	x
Precipitação média 1980-1984	<b>0.8484</b>	0.1739	0.0548	-0.1605	x
Precipitação média 1985-1989	<b>0.9358</b>	0.0673	-0.0332	-0.1396	x
Precipitação média 1990-1994	<b>0.9251</b>	0.0840	0.0139	-0.0906	x
Precipitação média 1995-1999	<b>0.9204</b>	0.1497	0.0011	-0.2858	x
Precipitação média 1999-2004	<b>0.9188</b>	0.1079	-0.0217	-0.2954	x

<b>VARIÁVEIS</b>	CP1	CP2	CP3	CP4	A eliminar
Precipitação média 2005-2009	0.9124	0.0754	-0.0502	-0.2999	
NDVI-1999	0.8405	0.2461	0.0503	0.1381	x
NDVI-2001	0.8593	0.1784	-0.0078	0.1551	x
NDVI-2002	0.8373	0.1700	0.0103	0.2214	x
NDVI-2003	0.8287	0.2174	0.0241	0.1674	x
NDVI-2006	0.8136	0.1690	-0.0019	0.0785	
NDVI-2007	0.7837	0.1355	-0.0248	0.1159	
Temperatura do solo-1999	-0.5134	0.5161	-0.0949	-0.3338	x
Temperatura do solo-2001	-0.4477	0.7608	0.1739	-0.0978	x
Temperatura do solo-2002	-0.3924	0.7947	0.2340	0.1040	x
Temperatura do solo-2003	-0.5302	0.6955	0.2847	0.0399	x
Temperatura do solo-2006	-0.6723	0.4444	-0.0120	-0.2350	
Temperatura do solo-2007	-0.6637	0.3622	-0.1232	-0.3394	
Rec. Hídricos subterrâneos	-0.0115	0.3849	-0.8460	0.2553	
Rec. Hídricos superficiais	0.0068	0.1156	0.1099	0.3519	x
Temperaturas da água sup.	-0.4587	-0.2535	0.0127	0.5383	x
Distância à rede hidrográfica	0.0213	-0.2749	0.5245	-0.0150	

Por outro lado, verificando-se que, as variáveis correspondentes a repetições do mesmo factor biofísico mas, para diferentes fases temporais (caso das precipitações) ou momentos (temperatura do solo e índice de vegetação obtidos a partir de seis imagens de satélite registadas entre 1999 e 2007), apresentavam um nível de correlação entre si próximo da unidade. O quadro seguinte relativo aos valores de correlação entre os dados e precipitação periódica, é elucidativo.

Tabela 4 Correlação entre os dados referentes à precipitação em diferentes períodos

Período	Prec. 1980-2008	Prec. 1980-1984	Prec. 1985-1989	Prec. 1990-1994	Prec. 1995-1999	Prec. 2000-2004	Prec. 2005-2008
Prec. 1980-2008	1,0000	0.9056	0.9657	0.9571	0.9713	0.9650	0.9565
Prec. 1980-1984	0.9056	1,0000	0.8523	0.9027	0.8766	0.8464	0.8188
Prec. 1985-1989	0.9657	0.8523	1,0000	0.9460	0.9264	0.9195	0.9187
Prec. 1990-1994	0.9571	0.9027	0.9460	1,0000	0.9149	0.8768	0.8579
Prec. 1995-1999	0.9713	0.8766	0.9264	0.9149	1,0000	0.9870	0.9658
Prec. 2000-2004	0.9650	0.8464	0.9195	0.8768	0.9807	1,0000	0.9882
Prec. 2005-2008	0.9565	0.8188	0.9187	0.8579	0.9658	0.9882	1,0000

Daí que uma variável dos citados subconjuntos representaria as restantes. O critério utilizado foi a data mais próximo de outras variáveis retidas. Nesta análise foram retidas 11 variáveis, reduzindo-se para quatro eixos necessários à explicação de, aproximadamente, 75% da variância dos dados originais.

Tabela 5: Valores resultantes da análise de CP, considerando as 11 variáveis e cada eixo (selecção do maior valor)

CP	Valores próprios	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
<b>1</b>	<b>3.6935</b>	<b>33.58</b>	<b>33.58</b>
<b>2</b>	<b>2.3054</b>	<b>20.96</b>	<b>54.54</b>
<b>3</b>	<b>1.4204</b>	<b>12.91</b>	<b>67.45</b>
<b>4</b>	<b>1.0990</b>	<b>9.99</b>	<b>77.44</b>
(...)	(...)	(...)	(...)
10	0.153	1.39	99.97
11	0.0038	0.03	100.00
	11.0000		

Tabela 6: Correlação entre as 11 variáveis e cada eixo (selecção do maior valor)

VARIÁVEIS	CP1	CP2	CP3	CP4
Altitude	0.263	0.174	<b>0.816</b>	-0.140
Inclinação	<b>0.566</b>	0.030	-0.023	<b>-0.578</b>
Densidade hidrográfica	-0.123	<b>0.946</b>	-0.117	-0.170
Densidade de fracturação	0.385	0.188	<b>0.746</b>	0.060
Precipitação 2005-2009	<b>0.791</b>	0.083	-0.200	0.365
NDVI -2006	<b>0.820</b>	0.174	-0.016	0.373
NDVI-2007	<b>0.794</b>	0.177	-0.060	0.355
Temperatura do solo -2006	<b>-0.763</b>	0.155	0.305	0.320
Temperatura do solo 2007	<b>-0.783</b>	0.149	0.097	0.399
Recursos hídricos subterrâneos	-0.085	<b>0.947</b>	-0.126	-0.172
Distância à rede hidrográfica	0.091	<b>-0.577</b>	0.144	-0.150

Nesta fase, foram subtraídas três variáveis, as com menor nível de correlação, restando-se, na fase final, as oito variáveis cujos resultados indicaram que as três primeiras Componentes Principais resultantes explicavam 74,54% da variância dos dados originais. Apesar deste valor se aproximar do nível mínimo pré-definido (75%), o subsequente processo de interpolação, resultou numa carta cuja análise contextual evidenciou alguma distorção da realidade

perceptível na ilha. Nesta base, decidiu-se reter o quarto eixo ou Componente Principal, acumulando 84,06% da variância dos dados originais explicada, como se observa no quadro seguinte.

Tabela 7: Valores resultantes da análise de CP relativos a 8 variáveis

CP	Valores próprios	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
1	2.33	29.17	29.17
2	2.23	27.90	57.07
3	1.40	17.47	74.54
4	0.76	9.52	84.06
5	0.59	7.43	91.49
6	0.45	5.60	97.09
7	0.23	2.87	99.95
8	0.00	0.05	100.00
	8.00		

Tabela 8: Correlação entre as 8 variáveis e cada eixo

Variáveis	CP1	CP2	CP3	CP4
Altitude	0.1608	0.3356	0.7994	-0.0501
Densidade hidrográfica	-0.6583	0.7022	-0.0989	0.2389
Densidade de fracturação	0.3160	0.4449	0.6752	-0.0409
Precipitação 2005-2009	0.6566	0.5215	-0.3312	0.0252
NDVI-2006	0.6369	0.6122	-0.1462	0.0681
Temperatura do solo 2007	-0.6207	-0.2624	0.3593	0.0704
Recursos hídricos subterrâneos	-0.6288	0.7237	-0.1127	0.2434
Distância à rede hidrográfica	0.3966	-0.4347	0.1406	0.7944

Desta forma, obteve-se um resultado com significado estatístico (3 eixos e 75% de explicação e 4 eixos 84%) e com significado biofísico.

Dos resultados da análise s 8 variáveis considerados determinantes para variação das características biofísicas diferenciadas na ilha, sendo que:

- As variáveis índice de vegetação, precipitação, temperatura e recursos hídricos subterrâneos apresentam-se representadas no primeiro eixo (CP1);
- A variável densidade hidrográfica é representada pelo segundo eixo (CP2);
- As variáveis altitude e densidade de fracturação, aparecem representadas pelo terceiro eixo (CP3) e,
- O quarto eixo (CP4) representa a variável distância à rede hidrográfica.

Destaca-se nesta análise, a eliminação das variáveis exposição e disponibilidade de água superficial que, numa análise empírica, seriam consideradas importantes.

No que se refere a exposição, vários autores que têm analisado as condições ambientais do Arquipélago, nomeadamente Sabino (sem data) consideram que, a diversidade bioclimática das ilhas cuja orografia é marcadamente acidentada, é determinada pela interacção entre as diferentes massas de ar (apresentadas na figura 7) e o relevo. Realçam contudo, o efeito da redução da temperatura face ao aumento de altitude. Neste estudo, é de inferir que, a eliminação da variável exposição, não significa que este fenómeno perceptível é contrariado pois, tratando de um relevo extremamente movimentado e, com uma variação brusca da exposição das vertentes, a exposição aos ventos dominantes pode ser interpretada como a exposição dominante, correspondente a “face” da encosta.

Relativamente aos recursos hídricos superficiais que, conjuntamente com os recursos subterrâneos actualmente explorados, determinam a actividade agrícola irrigada e, traduzida pelo índice de vegetação, poderá estar relacionada com um padrão de distribuição “anómalo” dos caudais, face as demais variáveis. Observa-se que, globalmente, o caudal dos pontos de água superficial são superiores na unidade “Vertente Nordeste”, onde as condições bioclimáticas são, efectivamente, as mais favoráveis mas, verificam-se, também, elevados caudais na bacia hidrográfica do Tarrafal, localizada numa região caracterizada pela aridez extrema. Esta situação poderá estar na origem da eliminação desta variável da análise automática, sendo contudo retida a variável “recursos hídricos subterrâneos” que, pese embora representar a água explorada actualmente e não a água subterrânea disponível, apresenta uma distribuição mais compatível com a variabilidade bioclimática perceptível.

Relativamente a estes aspectos, realça-se, a necessidade de estudos mais aprofundados para uma conclusão com suporte científico.

### **5.3.2. Interpolação das Variáveis Associadas às Componentes Principais resultantes**

Na fase seguinte recorreu-se a métodos de interpolação espacial para proceder a interpolação dos dados correspondentes as 4 CP. Os métodos de interpolação espacial permitiram transformar o conjunto de valores pontuais, assumidos como pontos de amostra de grandezas de variação contínua, numa superfície de valores da grandeza em análise. A co-krigagem tratando-se de um procedimento geoestatístico segundo o qual diversas variáveis regionalizadas podem ser estimadas em conjunto, com base na correlação espacial entre si, foi utilizada para proceder a interpolação dos dados associados às 4 CP. O modelo foi ajustado num processo interactivo de caracterização do conjunto amostral, baseado na inferência espacial e análise do variograma. Assim, usou-se a 1.<sup>a</sup> Componente principal como variável dominante e as variáveis associadas às outras 3 componentes (Altitude, Densidade de fracturação e Distância à rede hidrográfica) como variáveis acessórias, no processo de co-Kriging.

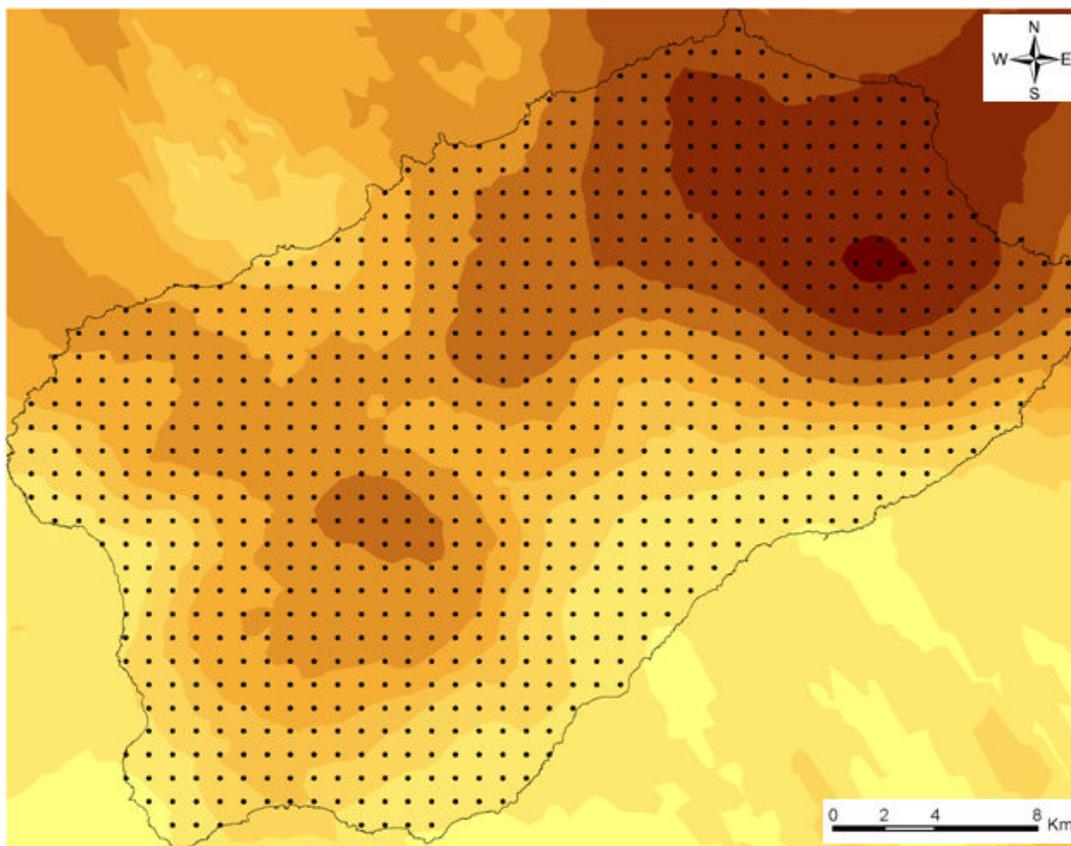


Figura V-31 – Imagem resultante da interpolação por co-krigagem dos dados resultantes da análise de componentes principais, representados pela rede de amostragem sistemática.

Nota: Carta produzida no âmbito do presente trabalho de dissertação.  
A validação baseou-se na análise dos valores correspondentes aos parâmetros de avaliação considerados por Soares (2006) ou seja, o coeficiente de

determinação (R2), traduzindo a correlação entre os valores observados e os valores estimados, deve-se aproximar da unidade e, o erro médio normalizado, deve tender para zero. Nesta base, ajustou-se o modelo, tendo obtido os resultados apresentados na figura 4, conseguido com o modelo esférico e, sem definição de anisotropia na distribuição espacial dos dados. Pode-se observar na figura seguinte que, o coeficiente de determinação obtido corresponde a 0,852 e, o erro médio normalizado, correspondente a -0,017. Sendo os valores obtidos, altamente significativos, o modelo de interpolação espacial retido foi validado.

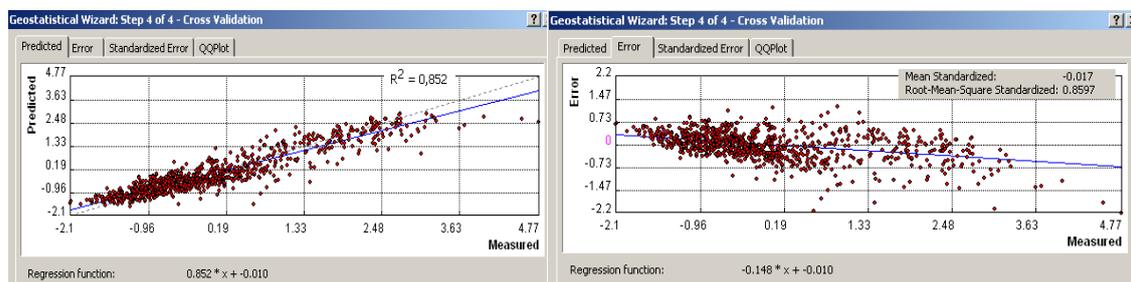


Figura V-32 – Resultados da Validação do modelo de interpolação  
 Fonte: Dados produzidos no âmbito do presente trabalho de

### 5.3.3. Análise em Clusters

Após a criação do mapa contínuo referente às características biofísicas da ilha (Figura V-30), houve necessidade de classificar o resultado em 8 classes ou unidades biofísicas, cuja organização espacial encontra-se apresentada no gráfico da Figura V - 33.

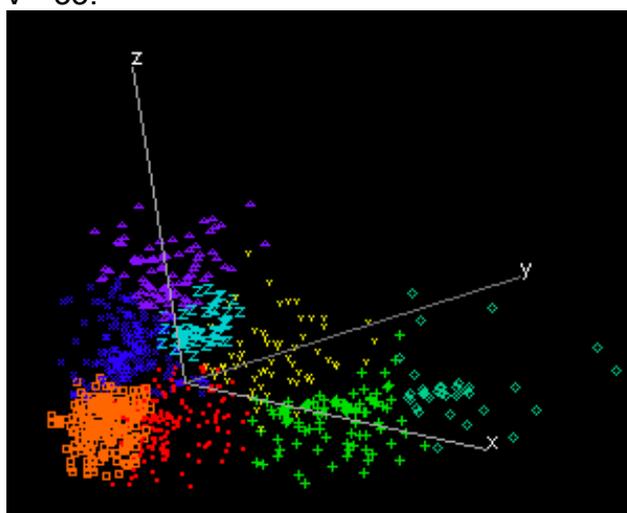


Figura V-33 – Distribuição espacial dos valores correspondentes aos 8 clusters resultantes.  
 Fonte: Dados produzidos no âmbito do presente trabalho de dissertação

Sequencialmente, os agrupamentos correspondentes aos oito “clusters” foram submetidos ao teste “t de Student” para validação, sendo os resultados altamente significativos como se poderá constatar nos dados seguintes.

	c1	c2		c2	c3
Média	-1.425115607	-0.848294828	Média	-0.848294828	-0.196403299
Variância	0.018960009	0.045476406	Variância	0.045476406	0.046073541
Observações	65	288	Observações	288	317
Hipótese de diferença de média	0		Hipótese de diferença de média	0	
gl	143		gl	598	
Stat t	<b>-27.20378727</b>		Stat t	<b>-37.43496023</b>	
P(T<=t) uni-caudal	1.06902E-58		P(T<=t) uni-caudal	3.5928E-159	
t crítico uni-caudal	1.65558049		t crítico uni-caudal	1.647406407	
P(T<=t) bi-caudal	2.13804E-58		P(T<=t) bi-caudal	7.1855E-159	
t crítico bi-caudal	1.976691237		t crítico bi-caudal	1.963940122	

	c3	c4		c4	c5
Média	-0.196403299	0.578869658	Média	0.578869658	1.387227376
Variância	0.046073541	0.047038879	Variância	0.047038879	0.05521984
Observações	317	89	Observações	89	64
Hipótese de diferença de média	0		Hipótese de diferença de média	0	
gl	140		gl	129	
Stat t	<b>-29.86529817</b>		Stat t	<b>-21.67142472</b>	
P(T<=t) uni-caudal	6.78452E-63		P(T<=t) uni-caudal	3.99867E-45	
t crítico uni-caudal	1.655810138		t crítico uni-caudal	1.656751465	
P(T<=t) bi-caudal	1.3569E-62		P(T<=t) bi-caudal	7.99733E-45	
t crítico bi-caudal	1.977055035		t crítico bi-caudal	1.978523869	

	c5	c6		c6	c7
Média	1.387227376	2.089887015	Média	2.089887015	2.708755165
Variância	0.05521984	0.048879849	Variância	0.048879849	0.032408898
Observações	64	65	Observações	65	27
Hipótese de diferença de média	0		Hipótese de diferença de média	0	
gl	126		gl	59	
Stat t	<b>-17.48576368</b>		Stat t	<b>-14.00624845</b>	
P(T<=t) uni-caudal	8.45264E-36		P(T<=t) uni-caudal	1.01633E-20	
t crítico uni-caudal	1.657035682		t crítico uni-caudal	1.671091923	
P(T<=t) bi-caudal	1.69053E-35		P(T<=t) bi-caudal	2.03266E-20	
t crítico bi-caudal	1.978969522		t crítico bi-caudal	2.000997483	

	c7	c8		c8
Média	2.708755166	3.601190376	Média	3.601190376
Variância	0.032408898	0.118816631	Variância	0.118816631
Observações	27	5	Observações	5
Hipótese de diferença de média	0		Hipótese de diferença de média	0
gl	4		gl	4
Stat t	<b>-5.648363064</b>		Stat t	<b>-5.648363064</b>
P(T<=t) uni-caudal	0.002419487		P(T<=t) uni-caudal	0.002419487
t crítico uni-caudal	2.131846486		t crítico uni-caudal	2.131846486
P(T<=t) bi-caudal	0.004838973		P(T<=t) bi-caudal	0.004838973
t crítico bi-caudal	2.776450856		t crítico bi-caudal	2.776450856

Figura V-34 – Aplicação do teste “t de Student” aos 8 clusters resultantes

Fonte: Dados produzidos no âmbito do presente trabalho de dissertação

No entanto, verificou-se que o 7.º e o 8.º cluster correspondiam a 27 e 5 amostras, respectivamente, representando áreas relativamente pequenas e, cujo resultado estatístico não tinha significado biofísico. Nesta base, optou-se por reduzir o resultado para 6 clusters, por integração dos clusters 6, 7 e 8. A identificação dos valores extremos dos clusters permitiu reclassificar a imagem, resultando na carta apresentada na Figura V – 35. Subsequentes análises contextuais recorrendo a informações adicionais, nomeadamente desenvolvido por Sabino (sem data), as 6 classes foram classificadas em unidades biofísicas apresentadas na Figura V-36.

#### **5.3.4. Confrontação das unidades biofísicas resultantes com as carta agroecológica e da vegetação**

Neste ponto, pretende-se contextualizar os resultados obtidos através da metodologia automatizada desenvolvida neste trabalho, os dados da carta agroecológica da ilha foram analisados e confrontados com outros dados resultantes de análises perceptivas da realidade, por outros autores. Destaca-se a análise desenvolvida por Sabino (sem data) traduzida no esquema apresentado na Figura III – 10, resultante da análise da distribuição climática numa ilha com estrutura orográfica semelhante à área de estudo e, exposta aos factores climáticos regionais que afectam a região geográfica em que o arquipélago se insere. Adicionalmente, as “unidades biofísicas” são interceptadas com as unidades da paisagem definidas por Diniz e Matos (1999) na carta agroecológica, com base na interpretação perceptiva de um conjunto de características do meio e, subsequentemente, analisados os dados estatísticos obtidos. Resultou que:

- A unidade biofísica “1”, constitui a unidade mais representativa, abrangendo 39,4% do território. Localizando-se essencialmente na região sul da ilha, 37,8% desta unidade biofísica sobrepõe-se à unidade da paisagem “vertente sul”, 31,6% às “aplanações litorâneas meridionais” e 21,1% à “vertente oeste”, unidades cujo clima é caracterizado como “muito árido” à “árido”. Os valores remanescentes corresponde a duas manchas situadas na região norte e noroeste da ilha, representando 5,7% da “unidade 1” sobreposta à

unidade da paisagem “vertente norte” e, 2,5% à “vertente noroeste”., sendo o clima caracterizado como árido à sub-árido;

- A “unidade biofísica 2” abrangendo a região centro ocidental (que absorve o complexo eruptivo de “Topo de Corôa” onde se localiza o ponto alto da ilha), estende-se numa longa faixa percorrendo as encostas da vertente sul da ilha, a par de prolongar, na região central, para a vertente noroeste, totalizando 37,7% do território. Distribui-se pelas unidades da paisagem “vertente sul” (32%), “planalto oeste” (23%), “vertente norte” (20,8%) e “vertente noroeste” (10,2%), sendo o clima destas unidades caracterizado por árido, árido de altitude e, árido à semi-árido, respectivamente. Adicionalmente, 8,5% desta unidade sobrepõe-se à unidade da paisagem “planalto leste”, cujo clima é caracterizado por árido à húmido. Espacialmente, esta área corresponde a região de Lagoa, com clima marcadamente árido;
- A “unidade biofísica 3” abrange 7,6% do território, constituindo essencialmente a uma faixa que se prolonga da região central da ilha para as vertentes norte e sul. Nota-se ainda uma pequena área situada na bacia de Ribeira das Patas que integra a região sul da ilha e que corresponde a localidade de Catano cujo microclima é visivelmente húmido, não obstante a aridez circundante. Sobrepondo a “unidade biofísica 3” com as “unidades da paisagem”, resulta que 31,8% se sobrepõe à unidade “vertente nordeste”, 28,0% à “vertente norte” e, 19% ao “planalto leste”. O clima destas unidades, de acordo com a carta agroecológica, é bastante diversa, integrando o árido, o semi-árido, o sub-húmido e o húmido mas, a sobreposição com a unidade biofísica 3 corresponde a áreas com níveis de aridez acentuados. Verifica-se ainda que, 20% desta unidade, sobrepõe-se à “vertente sul”, cujo clima é caracterizado como árido na referida carta agroecológica;
- A “unidade biofísica 4” representa 7,7% do território, uma faixa com estrutura circular entre a região norte e nordeste da ilha. 80,1% se sobrepõe à unidade da paisagem “vertente nordeste” (cujo clima é caracterizado como sub-árido, sub-húmido e húmido), 10% se sobrepõe ao “planalto Leste”,

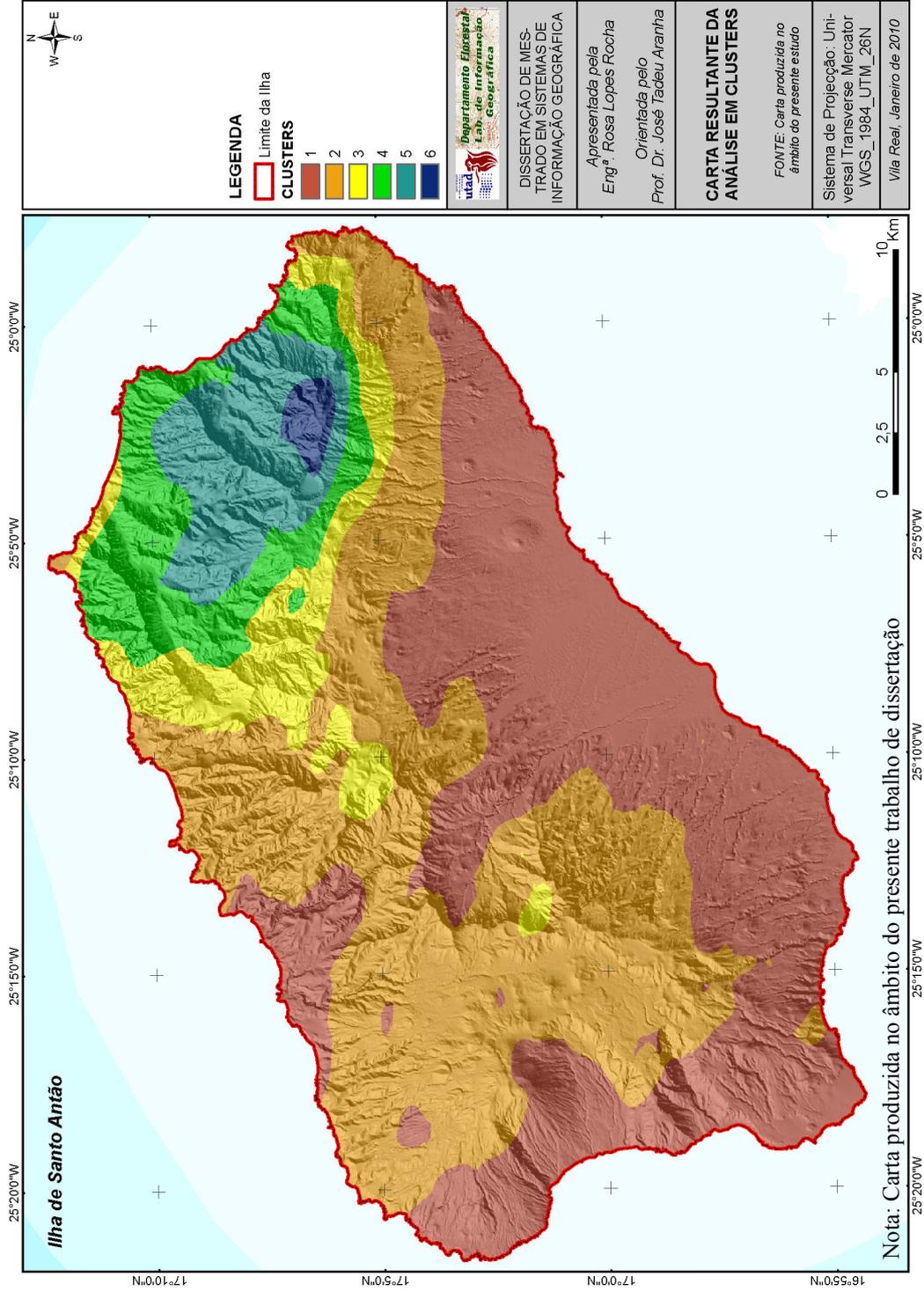


Figura V-35 –Reclassificação da carta apresentada na Figura V-32, adoptando como limite das classes os resultados da análise em clusters

4,3% à “vertente norte” (cujo clima varia entre o sub-árido e o sub-húmido) e, 5,6% à “vertente sul” (cujo clima é caracterizado como árido);

- A “unidade biofísica 5” abrange 6,7% do território, corresponde a região centro-oriental da ilha e abrange parte significativa da bacia hidrográfica da Ribeira Grande e do Paúl, prolongando-se em altitude, até a região de Cova. 88,8% e 10,6% desta superfície integram as unidades da paisagem “vertente nordeste” “planalto leste”, respectivamente. Nota-se ainda que 0,6% desta unidade biofísica corresponde a unidade da paisagem “vertente sul” (com clima árido);
- A unida “6” abrange, apenas, 8% do território, corresponde a localidade de Pico da Cruz, cujos níveis de humidade são os mais elevados da ilha. Sobreposta às unidades da paisagem, resulta que, 65,3% se sobrepõe à “vertente nordeste” e 34,7% ao “planalto leste”.

Desta análise, pode-se inferir que a complexidade dos factores terá dificultado a interpretação dos autores da carta agroecológica. Exemplifica-se com a unidade “Planalto Leste”, a qual abrange a região superior da cordilheira central da ilha com altitudes superiores a 1000 metros e, cujo clima é caracterizado na referida carta agroecológica como variável entre árido e húmido. A realidade perceptível é de que a humidade aumenta no sentido Oeste-Este, correspondente a delimitação obtida no presente estudo. Por outro lado, a unidade “Vertente Nordeste”, correspondente a região da ilha exposta aos ventos alísios, entre o litoral e os 1000 metros de altitude, observa-se um aumento gradual da humidade e da vegetação, no sentido base-topo, sendo este gradiente reflectido na citada delimitação automática. Com efeito, o índice de vegetação constitui um indicador extremamente importante pois, conjuga vários factores. Não obstante a relativa variabilidade do índice de vegetação na ilha, função da época pluvial, a carta resultante da metodologia desenvolvida demonstra-se relativamente concordante com este indicador. Nesta base, as 6 unidades resultantes do processo de delimitação pelo método desenvolvido no presente trabalho, apesar de não dispensar análises mais aprofundadas com dados complementares, foram reclassificadas entre os níveis muito árido, correspondendo classe 1 e, o nível muito húmido, correspondente a classe 6, como indica a carta apresentada na figura V - 36.





## 6. CONCLUSÕES

Neste capítulo procurou-se explorar a sùmula dos principais resultados obtidos, em particular o alcance dos objectivos fixados inicialmente, apresentar as limitações do presente trabalho e apresentar as principais conclusões e recomendações para pesquisas futuras.

### 6.3. ALCANCE DOS OBJECTIVOS FIXADOS

Os objectivos fixados para o presente trabalho foram efectivamente alcançados, não obstante os constrangimentos enfrentados. Com efeito, conseguiu-se:

1. Desenvolver um SIG integrando uma base de dados geográficos relativamente abrangente da área de estudo, através da compilação de dados actualmente dispersos, a compatibilização de formatos e espaços geográficos através de processos de conversão de dados e georreferenciação ou reprojecção de sistemas de coordenadas, produção de novos dados e, análises dos dados individuais e integrado;
2. Desenvolver um modelo de caracterização biofísica da ilha de Santo Antão passível de ser reproduzido visando a caracterização biofísica de outras ilhas do arquipélago com as necessárias adequações e
3. Produzir uma base de dados que servirá de suporte à estudos mais aprofundados sobre o território bem como, suportar o processo de planeamento e ordenamento do território, visando uma gestão integrada e sustentável dos recursos naturais disponíveis.

### 6.4. PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS

Entre os principais resultados obtidos destacam-se os seguintes:

- A **caracterização do relevo da ilha**: Os dados revelaram que a região apresenta uma altitude média da correspondente a 641,8 sendo altitude máxima de 1985m. Constatou-se ainda que 55,0% do território apresenta altitudes superiores a 500 metros, sendo que 4,3% ultrapassam os 1500m. O desvio padrão em relação a média correspondente a 454,3m traduz a orografia

movimentada. Por outro lado, o declive médio corresponde a 51,34%, atingindo o valor máximo de 652% (81,28°). O desvio padrão em relação a média correspondente a 44,56%, confirmando a acentuada irregularidade topográfica evidenciada pelos dados hipsométricos. Relativamente morfologia a carta de perfil das vertentes indica um certo equilíbrio entre os perfis côncavos e convexos, correspondendo a 48,5 e 48,8% do território, respectivamente. Apenas 2,6% da superfície é plana. Apesar das zonas com declives inferiores a 12% geralmente apresentarem boas condições para a instalação de infra-estruturas, a análise espacial indica que, algumas dessas zonas situam-se a montante de algumas bacias hidrográficas importantes. Apresentando o perfil plano à côncavo, localizando-se em áreas com níveis pluviométricos mais elevados, a impermeabilização dessas áreas poderá comprometer a sua função de recarga dos aquíferos.

**Caracterização da estrutura fisiográfica:** A par da análise fisiográfica auxiliada pela carta de festos e talvegues, foram produzidas as cartas de densidade hidrográfica ou de drenagem e a carta de densidade de fracturação geológica. Relativamente às falhas ou fracturas geológicas, a análise da sua localização, orientação e estrutura constitui um importante auxílio a estudos hidrogeológicos pois, podem constituir zonas de potencial infiltração e circulação interna da água. Relativamente a densidade hidrográfica, revela a densa hidrografia da ilha, revelando que a ilha apresenta uma densidade de drenagem variável entre 0,5 e 25,8 Km/Km<sup>2</sup>. Suportando-se na análise desenvolvida por Lencastre e Franco (1992) que consideram que as bacias hidrográficas cuja densidade ultrapassa os 3,5 Km/Km<sup>2</sup> são bem drenadas, a ilha de Santo Antão apresenta uma situação excepcional. Constituindo a densidade de drenagem um índice da tendência para a ocorrência de cheias em bacias hidrográficas, as bacias hidrográficas do Paúl e da Ribeira grande, onde se concentram os valores mais elevados de densidade de drenagem, se concentram os declives mais acentuados e, ocorrem os níveis pluviométricos mais elevados, geralmente com perfil torrencial, são os mais susceptíveis a ocorrência de cheias e inundações. Importa sublinhar que nas áreas contíguas a foz das duas citadas bacias hidrográficas localizam-se dois dos três principais aglomerados urbanos da região norte da ilha, a Vila da Ribeira Grande e a Vila

das Pombas. Face a situação exposta, estão sujeitos a elevados níveis de risco de cheias inundações, confirmada por ocorrência de episódios dramáticos relacionados com este fenómeno ao longo da história.

- ***A análise da estrutura espacial e temporal das precipitações:***

Com este trabalho a ilha passa a dispor de uma carta de precipitação anual média correspondente a série temporal mínima recomendada (30 anos). Obtida pela aplicação de um método de interpolação probabilística (a co-krigagem), recorrendo à altitude e exposição como variáveis auxiliares, a precipitação média resultante corresponde a 180,05mm/ano, variando entre 65,5 e 490 mm/ano. Em termos de representatividade territorial, a carta produzida indica que a classe de precipitação mais representativa corresponde a 150-200mm, abrangendo 33,3% do território. Por outro lado, indica que 70,8% do território apresenta precipitações médias inferiores a 200mm sendo que, 21,4% apresenta níveis inferiores a 100mm. Adicionalmente, a análise estatística e espacial, confirma a estrutura inter-anual das precipitações e elevada irregularidade plurianual. Destaca-se a análise da estrutura espacial das precipitações médias anuais nos sucessivos quinquénios que integram a série temporal analisada (30 anos) e, a linha de tendência dos valores quantitativos descrita pela equação  $Y = -11,174X + 217,03$ . Este resultado indicia um decréscimo médio dos níveis de precipitação na região em 11,174mm de precipitação por quinquénio.

***A análise de recursos naturais estruturantes para o desenvolvimento da ilha:***

De entre os recursos naturais determinantes para a ilha destacam-se os solos e a água. Ainda que a carta de solos reproduzida em função da carta agroecológica suporta-se numa base empírica e seja relativamente incompleta, indica que a pedologia da ilha é dominada por Cambissolos os quais absorvem 42,5% do território, seguindo-se os Leptosolos que se estendem por 22,7% do território os quais constituem solos incipientes e desprovidos de matéria orgânica. A carta de ocupação do solo produzida, indica que as classes de ocupação do solo mais representativas são "matos e acácias", "solo nu" e "vegetação rasteira", representando 38,7% (303,7

Km<sup>2</sup>), 30,5% (239,4 Km<sup>2</sup>) e 21,7% (170,1 Km<sup>2</sup>) do território, respectivamente. As classes “agricultura irrigada” e “florestas” ocupam apenas 4,8% (37,4 Km<sup>2</sup>) e 2,2% (16,9 Km<sup>2</sup>) do território, respectivamente. Complementarmente, o solo urbanizado representa apenas 0,5% do território e as áreas correspondentes a “pozolanas”, 1,7%.

Relativamente à disponibilidade hídrica, a digitalização do inventário dos recursos hídricos da ilha e subsequente produção de cartas de recursos hídricas superficiais e, dos recursos hídricos subterrâneos explorados até 2008, constituem dois importantes resultados do presente trabalho. Adicionalmente, a análise por bacia hidrográfica<sup>15</sup> revelou que 72% dos pontos de água superficiais e 84% do caudal total diário na ilha se concentram nas bacias hidrográficas da região, as quais representam 21,8% do território. Relativamente aos factores condicionantes da disponibilidade hídrica, sem prejuízo de uma análise mais aprofundada que o tema merece, uma breve análise realça a localização de 78.1% dos pontos de água superficial na ilha, equivalente a 77% do caudal diário (21.684 m<sup>3</sup>/dia) associada ao substrato geológico essencialmente constituído por basanitos intercalados com diques e piroclastos, cuja idade geológica corresponde a mais antiga da ilha (Plioceno – 7,5 à 2 ma).

### ***Análise de índices de vegetação:***

A informação produzida correspondente a diferentes datas, entre 1999 e 2007, em função das imagens de satélite disponíveis. Constatou-se que, no contexto geral a ilha apresenta um baixo índice de vegetação mas, extremamente variável em função da época pluvial. Exemplificando, em Maio de 2001, os índices de vegetação apresentam como valores extremos “-0,55” e “+0,38” e, em Novembro de 2006, correspondiam a -0,45 a +0,68. Adicionalmente constata-se que, no primeiro caso, apenas 0,35% do território apresentava índices de vegetação positivos, valor que traduz, não só ausência de vegetação mas, também, a ausência de humidade no solo.

---

<sup>15</sup> Sublinha-se que o limite das bacias hidrográficas utilizados resultam dos modelo digital do terreno produzido no âmbito do presente trabalho e apresentado no capítulo correspondentes aos resultados.

Complementarmente, 25,28% da ilha apresentava um índice de entre 0 e 0,1.

- **Análise integrada das variáveis biofísicas:**

Através do processo de análise em componentes principais (ACP), concluiu-se que, as 4 primeiras CP resultantes explicavam 84 % da variância dos dados originais, retendo as variáveis: índice de vegetação, precipitação, altitude, temperatura, densidade hidrográfica, densidade de fracturação geológica, recursos hídricos subterrâneos, distância à rede hidrográfica e declives. A posterior aplicação da geoestatística e a análise em clusters, resultou em 6 classes. Análises de contexto desenvolvidas com base resultou na reclassificação das seis classes em 6 unidades biofísicas, variando entre o nível muito árido, correspondentes a classe 1 e, o nível muito húmido, correspondente a classe 6.

## **6.5. PRINCIPAIS CONSTRANGIMENTOS AO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

De entre os principais constrangimentos citam-se:

- A dispersão dos dados, a diversidade de formatos e a qualidade, destacando-se, neste caso, a diferente precisão das informações que serviram de suporte ao trabalho;
- A estrutura dos dados altimétricos disponíveis em formato vectorial, condicionando um peso excessivo da informação necessária a cobertura integral da área de estudo (1,58 Gigabits para 785 Km<sup>2</sup>), condicionando o aumento do espaçamento inicial de 5 para 10m e, o desenvolvimento de processos de generalização pelo aumento de espaçamento dos vértices ou seja, a redução da precisão inicial;
- A disponibilidade de dados com níveis de precisão significativamente diferentes, nomeadamente as cartas digitalizadas cuja escala impressa corresponde a 1/50.000 (a carta agroecológica e da vegetação e, a carta geológica) ou a 1/25.000 (carta militar);

- A indisponibilidade de dados relativos a algumas variáveis biofísicas eventualmente importantes para o modelo de caracterização biofísica desenvolvido;
- A indisponibilidade da memória explicativa da carta geológica condicionando o recurso a outras fontes para a interpretação dos dados cartográficos;
- A inacessibilidade à imagens de satélite com intervalos regulares de registo para permitir a análise evolutiva da ocupação do solo nas últimas décadas e,
- A impossibilidade de concluir o processo de classificação das cartas de ocupação do solo correspondentes às diferentes imagens de satélite realizadas em 1999, 2001, 2002, 2003 e 2006.

#### **6.6. SÍNTESE DAS PRINCIPAIS CONCLUSÕES**

Do trabalho desenvolvido e resultados alcançados, pode-se confirmar que a cartografia digital e as tecnologias de informação geográfica proporcionam, efectivamente, um avanço tecnológico importante na colecção, armazenamento e processamento de dados espaciais. Várias ferramentas disponíveis permitiram modelar uma multiplicidade de factores, localizar e quantificar fenómenos bem como, definir os níveis de contribuição de diferentes factores, no resultado final.

De entre as potencialidades dos SIG realça-se o facto de permitirem relacionar e integrar informações provenientes de diferentes fontes, gerar novas informações e representar os resultados sob a forma de mapas, de acordo com as necessidades. Por outro lado, a sistematização de processos, faculta análises flexíveis, abrindo a possibilidade de alteração dos temas e critérios estabelecidos, bem como, integrar novos dados de modo a melhorar o modelo construído ou criar novos modelos. Esta vertente é extremamente importante para o presente trabalho pois, a informação produzida baseia-se em dados actualmente disponíveis, alguns dos quais sem a qualidade e a precisão desejada. Por outro lado, deixa em aberto a possibilidade de integração de novas variáveis biofísicas, nomeadamente relacionadas com o substrato geológico e com solos, cuja ausência no modelo produzido poderá justificar a

variância não explicada pelas variáveis associadas as 4 primeiras componentes principais resultantes.

### **6.7. TRABALHOS FUTUROS**

Com o desenvolvimento de uma base de dados no âmbito do presente trabalho, passa-se a dispor de uma base estrutural para se aprofundar os estudos relacionados com o território.

A evidência de elevados níveis de erosão e frequentes ocorrências de cheias e inundações, sugere o desenvolvimento de estudos que incidam na localização e quantificação destes fenómenos naturais, potenciados pela acção antrópica.

Para tal, será necessário complementar a base de dados com a caracterização aprofundada dos solos, nomeadamente a da estrutura física e química.

Relativamente a ocupação dos solos, dever-se-á concluir o processo de classificação das imagens de satélite, visando a análise das dinâmicas territoriais nas últimas décadas. Esta informação, conjuntamente com outros dados, nomeadamente a evolução das precipitações, poderá suportar estudos visando a avaliação do evidente processo de degradação ambiental.

Por outro lado, a evidente degradação da disponibilidade hídrica, sugere a identificação das principais condicionantes desta disponibilidade.

A par do conhecimento das condicionantes naturais, será fundamental a definição de metodologias de integração das condicionantes naturais no sistema de planeamento e ordenamento do território, para que o conhecimento produzido tenha repercussão na gestão dos recursos naturais e, na sustentabilidade do processo de desenvolvimento.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baptista, I., (2005). Desertification at the Santiago island\_Combat land degradation and desertification integrated project. INIDA / FP6, São Jorge.
- Bertrand, R. (1994). *Étude des sols dans les paysages du haut bassin versant de Ribeira Seca*. CIRAD / PRODAP-FIDA / MA INIDA, Montpellier.
- Barata, M. T. (2006). *Classificação do coberto florestal em imagens de detecção remota, através de uma metodologia baseada na morfologia matemática*. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Barry, O., Smolikowski, B., & Roose, E. (1995). Agriculture et développement. *PRODAP\_Montpellier*, 5, 57-68
- Bebiano, J. B. (1932). A Geologia do arquipélago de Cabo Verde. *Commun. Serviços Geológicos de Portugal*, 18, 1-275.
- Bravo de Laguna, J. (1985). Plateaux insulaires et zone économiques exclusive de la République de Cap-Vert. Rapport technique, PNUD/FAO-project CVI/82/003, 6, 1-23.
- Brown, B. & Pryke, S. (2006). *Facilities management, the performance model – Getting people to change*. Elaine Sivyer. London.
- Chavez, P. S. (1988). *An improved dark-object subtraction Technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. remote sensing and environment*. Vol. 24.
- Colwell, J. E. (1974). Vegetation canopy reflectance. *remote sensing of environment*, 3, 175-183.
- Costa, F. (1996). Processos erosivos actuais na bacia da Ribeira Seca. *Garcia de Orta. Série de Geografia*, Lisboa, 15, 29-34.
- Costa, F. (2002). Evolução geomorfológica quaternária e dinâmica actual na bacia da Ribeira Seca. *Provas para investigador auxiliar*, 3-270. Lisboa.

Costa, F. (2004). Contribuições para o conhecimento dos processos erosivos em Cabo Verde Geolnova. Revista do Departamento de Geografia e Planeamento Regional, Lisboa.

Costa, F. & Raposo, J. (2005). Alterações geomorfológicas em vertentes com medidas de conservação do solo na bacia da Ribeira Seca (Santiago, Cabo Verde). Lisboa, Revista de Ciências Agrárias, 28, 99-108.

Costa, F. (2006). Impactes do uso do solo nos processos erosivos e nas formas das vertentes em Cabo Verde. Lisboa, Actas da 1ª Conferência Lusófona sobre o Sistema Terra (Cluster), IGBP.

Costa, F. & Nunes, C. (2006). Condicionantes geomorfológicas de Erosão Hídrica na Bacia da Ribeira Seca (Santiago, Cabo Verde). Lisboa, Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, 7, 1-16.

Eastman, J. T. (1998). Morphology of the brain and sense organs in the snailfish *Paraliparis devriesi*: Neural convergence and sensory. University of Minnesota.

Faria, R. & Pedrosa, A. (2005). Aplicação dos sig na elaboração de cartografia temática de base na bacia hidrográfica do rio Uima, Santa Maria da Feira. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Universidade de São Paulo. 4 - 9.

Faria, R. & Pedrosa, A. (2005). Aplicação dos sig na elaboração de cartografia temática de base na bacia hidrográfica do Rio Uima, Santa Maria da Feira. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Universidade de São Paulo, 1-45.

Faurès, J. & Morais, J. (1988). Aplicação da equação universal da perda de solo de Wischmeier (USLE) à bacia hidrográfica de São Jorge. Vila da Ribeira Grande, Actas do 1º Seminário Nacional de Conservação de Solos e Água, Açores. 103-114.

Fonseca, A. D. & Fernandes, J.C. (2004). *Detecção remota \_ Radiação elcctromagnética, sistemas orbitais, processamento de imagens, aplicação.* “2ª ed.” Edições LIDEL, Lisboa.

Fortes, M. F. J. F. (2007). *Sistemas de informação geográfica na gestão do cadastro urbano municipal aplicado ao município da Praia. Tese de mestrado.* Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova

Freksa, C. (1996). Gaspar, J. A. (2005). *Cartas e projecções cartográficas.* 3ª Ed. Lidel - edições técnicas, Lda. Lisboa.

Goodchild, M. F. (1993). *Managing uncertainty in spatial databases: Putting theory into practice.* horwood critique prize. URISA.

Gomes, A. M. & Pina. A. F. L. (2003). Problemas de recursos hídricos em Ilhas - exemplos da Ilha de Santiago - Caso da bacia hidrográfica da Ribeira Grande da Cidade Velha - Caso da bacia hidrográfica da Ribeira Seca. 6º SILUSBA - Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa.

Jenson, K. & Domingues, O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic Information system analysis, photogrammetric engineering and remote sensing, 54, 153-160.

Lillesand, T. M. (1987). *Remote sensing and image interpretation,* Sri Lanka.

Llopis, J.P. (2006). *Sistemas de información geográfica aplicada a la gestion del território \_ Entrada, manejo, análisis y salida de dados espaciais, teoria geral e prática para Esry ArcGIS 9.* ECU, São Vicente.

Lopes, D. A. (1999). *Avaliação de parâmetros dendrométricos em povoamentos de pinus pinaster ait. a partir de imagens landsat TM.* UTAD, Vila Real

MAA. (2005). *Plano estratégico de desenvolvimento agrícola de Cabo Verde no horizonte 2005 - 2015,* Praia

MAAP. (2004). *Livro branco sobre o estado do ambiente em Cabo Verde.* Praia.

MAAP. (2004). *Plano estratégico de desenvolvimento agrícola no horizonte 2005-2015,* Praia.

Magalhães, M. (2001). *Arquitectura paisagista, morfologia e complexidade* Editorial Estampa, Lisboa.

Magrini, A. (1990). Avaliação de impactos ambientais. meio ambiente - aspectos técnicos e econômicos. IN: IPEA-PNUD. Brasília

Marques, M. (1984). Relatório técnico da missão de cooperação (5ª fase) realizada na República de Cabo Verde em Jun/Jul 1983. 1 - Ensaio de compartimentação da paisagem na bacia hidrográfica da Ribeira Seca (ilha de Santiago). Centro de Estudos de Pedologia, Lisboa.

Martinelli, M. & Pedrotti, F. (2001). A cartografia das unidade de paisagem: questões metodológicas”, Revista do Departamento de Geografia n.14, p. 39-46, disponível em [http://www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/hemeroteca/rdg/rdg14/rdg14\\_07.pdf](http://www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/hemeroteca/rdg/rdg14/rdg14_07.pdf) a 3 de Julho de 2008.

Matos, J. (2008). Fundamentos teóricos de informação geográfica “5ª ed Edições LIDEL, Lisboa.

Monteiro, A. J. M. (1990). A problemática da agricultura e o seu impacto no meio ambiente e nas sociedades actuais. Cabo Verde.

Morrison, D. F.1(990). *Multivariate statistical methods*. 415Pag. McGraw-Hill , New York.

Neto, J. M. M. (2004). Estatística multivariada, uma visão didáctica metodológica. Disponível em [http://criticanarede.com/cien\\_estatistica.html](http://criticanarede.com/cien_estatistica.html), Julho de 2008.

Matos, J. (2001). *Fundamentos teóricos de informação geográfica “4ª ed.”* Lisboa, Lidel.

Paulo, C. G. D. V. (1999). Os sig e a modelação hidrológica na produção de cartografia das áreas de risco de cheia, São Paulo.

Reis, E. (1997). Estatística Multivariada Aplicada, Edições Sílabo, Lisboa

Reis, E. (2001). *Estatística multivariada aplicada*. Edição/reimpressão: 2001, Páginas: 344, Editor: Edições Silabo

Sabino, A. A. (sem data). *Análise de alguns aspectos do problema dos recursos hídricos em Cabo Verde*. MDRP, Praia

Sabino, A. (1992). As estruturas de conservação do solo e água em Cabo Verde e a quantificação dos impactos na área do watershed development

project (Ilha de Santiago). In: 1as. Jornadas sobre Agricultura de Cabo Verde, Comunicações do Instituto de Investigação Científica Tropical, Série de Ciências Agrárias, Lisboa.

Saraiva, M. G. (1999). *O Rio como paisagem \_ Gestão de corredores fluviais no quadro do ordenamento do território*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

Sendra, J. B. (1992). *Sistemas de informação geográfica*. Ediciones Rialp, S. A., Madrid.

Soares, A. (2006) *Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente*. “2ª Ed.” Lisboa, Instituto Superior Técnico.

Stramer L. & Siedler. 1988. Seasonal changes in the Atlântic Subtropical.

Tavares, P. & Amiotte, S. (2007). *Rainfall erosion risk mapping in volcanic soils of Santiago Island, Cape Verde Archipelago*. *Africa Geoscience Review*, Vol. 14,. Rock View Ltd 1117-370X/2007.

UNEP/F.A.O./UNESCO/O.M.M. (1997). *Carte mondiale de la désertification, à l'échelle du 1:25 000 000*. *Conférence des nations unies sur la désertification*. A/CONF, Nairobi.

UNEP. (1994). *United Nations conservation to combat desertification \_ United nations environmental program*. Genève.

Zuidam, A. (1979). *Terrain analysis and classification using aerial photographs*. *ITC textbook of photo-interpretation vol VII-6*. ITC Enschede, Holanda.



# ANEXOS