

**Universidade de Lisboa  
Faculdade de Ciências  
Departamento de Geologia**



**Cartografia Geológica Digital em SIG  
Aplicação à Ilha de Santa Luzia  
Arquipélago de Cabo Verde**

**Daniel da Silva Gonçalves**

**Dissertação**

**Mestrado em Geologia do Ambiente Riscos Geológicos e Ordenamento do Território**

**2015**



**Universidade de Lisboa  
Faculdade de Ciências  
Departamento de Geologia**



**Cartografia Geológica Digital em SIG  
Aplicação à Ilha de Santa Luzia  
Arquipélago de Cabo Verde**

**Daniel da Silva Gonçalves**

**Dissertação orientada pelo Professor Doutor  
António Pedro Valério Brum da Silveira**

**Dissertação**

**Mestrado em Geologia do Ambiente Riscos Geológicos e Ordenamento do Território**

**2015**



## **Agradecimentos**

No final deste percurso, depois de passar por inúmeras dificuldades, gostaria de agradecer profundamente a todos os que, directa ou indirectamente, me apoiaram e contribuíram para a realização deste objectivo.

Em primeiro lugar agradeço à coordenadora do Mestrado, Professora Doutora Maria da Conceição Freitas pela forma como me recebeu na faculdade e por todo o apoio que me deu ao longo deste período, criando todas as condições para que continuasse o percurso – Eternamente grato pelo gesto de humanidade;

Ao meu orientador António Brum da Silveira pelas sugestões, críticas, esclarecimentos e pela paciência que teve durante a realização do trabalho. Muito obrigado por tudo e sobretudo pela sua amizade;

Ao Professor José Madeira pelo apoio na selecção e organização das fotografias;

Ao professor Rui Taborda, pela disponibilidade, todo o apoio e atenção;

A todo o pessoal do nomeadamente do gabinete dos SIG e Detecção Remota (Ana Bastos, Ana Silva, Mafalda Carrapuço, Tânia, Mónica, Cristina Lira, Ivana, Hugo e João pela disponibilidade em me apoiar, pelas sugestões e apoio na revisão do trabalho;

À Doutora Cyntia Mourão pelos esclarecimentos no processo de produção e preparação das lâminas delgadas;

Ao Doutor Luís Celestino Silva, pela colaboração e apoio, na observação das amostras e sua descrição petrográfica;

A todos os professores do Departamento de Geologia, em particular aos professores João Mata, João Cabral, César Andrade, Francisco Fatela, Maria Cristina Cabral, Mário Cachão e Fernando Marques;

À Vera Lopes Paio, pela forma como me ajudou na integração;

À minha família, meus pais e meus irmãos, pelo apoio incondicional a todos os níveis;

Aos meus primos Octávio e Ramiro Tavares (e família), a todos os familiares e amigos que, de uma forma ou outra, sempre me incentivaram e apoiaram durante este percurso;

A todos um muito obrigado!

*Especialmente para a minha Titi!*



## Resumo

A ilha de Santa Luzia apresenta características muito particulares no contexto do Arquipélago de Cabo Verde pelo facto de ser a única ilha desabitada e desértica deste território. Esta situação deve-se fundamentalmente ao clima muito seco e quente, em que a falta de água contribui para um terreno árido, com flora esparsa e seca. Estes factores, associados à falta de infra-estruturas e meios logísticos (ausência de electricidade, transportes, etc.), explicam a carência de estudos geológicos realizados nesta região insular, sendo que, nas últimas décadas, a única referência existente está inserida no trabalho intitulado “A Geologia do Arquipélago de Cabo Verde”, de J. Bacelar Bebiano, publicado em 1932. Mais recentemente, em 2008, no âmbito do projecto de investigação “PLINT: interacção pluma-litosfera em Cabo Verde (POCTI/CTA/45802 /2002; FCT/FEDER)”, desenvolveram-se trabalhos de campo com vista à elaboração da cartografia geológica da ilha, assim como, à recolha de amostras com o propósito de realizar estudos de geoquímica elementar e isotópica das suas rochas magmáticas. Na sequência desta última missão geológica, e com base naquelas minutas de campo, o trabalho que agora se apresenta tem como objectivo principal a produção do Mapa Geológico da ilha de Santa Luzia, na escala 1:15.000, utilizando ferramentas de desenho vectorial e técnicas de análise espacial inseridas em sistemas de informação geográfica (ArcGIS 10.1). Neste sentido, efectuou-se a rasterização, georreferenciação e vectorização dos mapas de campo e, aos vários objectos espaciais, foi associada uma tabela de atributos com a informação geológica disponível. O padrão de afloramentos final foi completado recorrendo a dados provenientes de fotointerpretação (ortofotomapas e imagens de satélite), assim como, a dados geomorfológicos retirados de modelos temáticos de elevação, declives e de sombra. Pretende-se com o presente caso de estudo propor uma metodologia de trabalho na produção digital de cartografia geológica, integrada em sistemas de informação geográfica.

Palavras-chave: Cabo Verde; Santa Luzia; Cartografia geológica; SIG; Modelo digital de terreno.



## **Abstract**

The island of Santa Luzia has very particular characteristics in the context of the Cape Verde archipelago since it is the only uninhabited and desert island of the archipelago. This condition is mainly due to the very dry and hot climate, where the lack of water contributes to an arid land with sparse and dry flora. These factors, coupled with the absence of infrastructure and logistic facilities (no electricity, transport, etc.), explain the lack of geological studies in this island region. In recent decades, the only reference is in work entitled "The Geology of the Cape Verde Archipelago" by *J. Bacelar Bebiano* (published in 1932). More recently in 2008, in the scope of the research project "PLINT: plume-lithosphere interaction in Cape Verde" (POCTI / CTA / 45802 / 2002; FCT / FEDER), field work on the geological mapping of the island was performed, together with samples collection aiming the study of the elemental and isotopic geochemistry of the magmatic rocks. In result of this last geological mission, and based on the field work drafts, the work herein presented aims to produce the Geological Map of the Santa Luzia island (in a 1: 15,000 scale) using vectorial drawing tools and spatial analysis techniques within a geographic information systems (ArcGIS 10.1). Following this objectives, georeferencing and vectorization of field maps was performed and for several spatial objects was associated their geological information. The final outcrops mapping was completed using data obtained from photointerpretation (ortophotomaps and satellite images) and from the geomorphological data deduced from thematic elevation, slopes and shadow models. The aim of this case study is to recommend a work methodology for the production of digital geological maps within geographic information systems.

Keywords: Cape Verde; Santa Luzia; Geological mapping; GIS; Digital terrain model.



Índice	
Agradecimentos .....	i
Resumo .....	iii
Abstract .....	v
Índice .....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas .....	xiii
Lista de Siglas e Abreviaturas (Significado) .....	xiv
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Interesse e motivação .....	1
1.2. Objectivos Gerais.....	3
1.3. Estrutura da Tese.....	4
1.4. Materiais e Métodos .....	5
<b>2. Enquadramento do Arquipélago de Cabo Verde .....</b>	<b>9</b>
2.1. Localização Geográfica .....	9
2.2. Enquadramento Fisiográfico .....	10
2.2.1. Clima.....	10
2.2.2. Relevo.....	12
2.3. Enquadramento Geotectónico.....	13
2.4. Enquadramento Geológico.....	16
<b>3. Enquadramento Fisiográfico e Geologia de Santa Luzia.....</b>	<b>25</b>
3.1. Localização Geográfica .....	25
3.2. Alguns dados sobre a História e Cultura da Ilha.....	25
3.3. Clima .....	28
3.4. A Geologia da Ilha de Santa Luzia .....	30
3.4.1. Estudos anteriores à Missão PLINT .....	30
3.4.2. Estudos Geológicos da Missão PLINT .....	30
3.4.3. Modelo Litoestratigráfico proposto para Santa Luzia .....	34
3.5. Estrutura Vulcânica e Evolução Geológica da Ilha.....	57
3.5.1. Estrutura Vulcânica: Filões e Massas Intrusivas .....	57
3.5.2. Tectónica.....	58
3.5.3. Evolução Geológica da Ilha.....	58
3.6. Geomorfologia .....	59

<b>4.</b>	<b>Desenvolvimento de um SIG a Partir da Cartografia de Base.....</b>	<b>63</b>
4.1.	Introdução.....	63
4.1.1.	Procedimento utilizado para a criação do SIG.....	67
4.2.	Digitalização e Georreferenciação dos Ortofotomapas.....	71
4.2.1.	Procedimento por Pontos Homólogos.....	72
4.3.	Digitalização e Georreferenciação da Carta Militar (1:25.000).....	74
4.4.	Vectorização dos dados altimétricos da ilha.....	75
4.4.1.	As Curvas de Nível.....	75
4.4.1.1.	Procedimento.....	76
4.4.2.	Os Pontos Cotados.....	80
4.5.	Construção do Modelo Digital de Terreno e comparação entre os diferentes modelos produzidos.....	81
4.5.1.	Introdução.....	81
4.5.2.	Modelo TIN.....	83
4.5.2.1.	Procedimento.....	83
4.5.3.	Métodos de Interpolação.....	85
4.5.3.1.	Inverso de distância.....	88
4.5.3.2.	Krigagem.....	88
4.5.3.3.	Interpolação pelo método <i>Topo To Raster</i> .....	88
4.5.3.4.	Vizinho natural (Natural Neighbor).....	89
4.6.	Apresentação dos Resultados.....	89
4.6.1.	O Modelo digital de terreno ou de elevação.....	89
4.6.2.	O Modelo Digital de Sombra ou de Luminosidade.....	91
4.6.3.	Mapa de declives.....	93
4.6.4.	Exposição.....	94
4.7.	Rede de Drenagem.....	97
<b>5.</b>	<b>Construção da Cartografia Geológica.....</b>	<b>103</b>
5.1.	Introdução.....	103
5.2.	Digitalização e georreferenciação das minutas de campo.....	104
5.3.	Criação de uma base de dados geológica.....	105
5.4.	Vectorização dos Elementos Geológicos.....	107
5.5.	Criação da Topologia.....	117
<b>6.</b>	<b>Produção Cartográfica Digital.....</b>	<b>121</b>

<b>6.1.</b>	<b>Criação do Catálogo de Símbolos</b> .....	<b>121</b>
<b>6.2.</b>	<b>Toponímia</b> .....	<b>124</b>
<b>6.3.</b>	<b>Criação do Esquema de Página</b> .....	<b>125</b>
<b>6.3.1.</b>	<b>O Título</b> .....	<b>126</b>
<b>6.3.2.</b>	<b>O “Norte” (Orientação)</b> .....	<b>127</b>
<b>6.3.3.</b>	<b>A Legenda</b> .....	<b>127</b>
<b>6.3.4.</b>	<b>A Escala do Mapa</b> .....	<b>128</b>
<b>6.3.5.</b>	<b>Texto</b> .....	<b>130</b>
<b>6.3.6.</b>	<b>A Grelha de Coordenadas (Grid)</b> .....	<b>130</b>
<b>7.</b>	<b>Conclusões</b> .....	<b>133</b>
	<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>135</b>
	<b>ANEXOS:</b> .....	<b>142</b>

## Índice de Figuras

Figura 2.1: Mapa do Arquipélago de Cabo Verde (retirado de Wikipédia, Julho de 2014) .....	9
Figura 3.1: Esboço cartográfico da ilha de Santa Luzia e dos ilhéus (1/100 000) (Friedlaender, 1913) .....	27
Figura 3.2: Esboço Cartográfico de Santa Luzia e dos ilhéus Branco e Raso (1/80 000) - Comissão de cartografia de cabo verde, 1916 .....	27
Figura 3.3: Carta agrícola da ilha de Santa Luzia (Teixeira e Barbosa, 1958) .....	27
Figura 3.4: Esboço Geológico da ilha de Santa Luzia. Retirado de B. Bebiano (1932) .....	31
Figura 3.5: Modelo de classificação proposto pela International Commission on Stratigraphy (ICS). Retirado de ( <a href="http://www.stratigraphy.org/upload/bak/princ.htm#table1">www.stratigraphy.org/upload/bak/princ.htm#table1</a> ). .....	33
Figura 3.6: Fotografia de afloramento da Formação do Monte Creoulo densamente intruída por filões. ....	37
Figura 3.7: Pormenor do enxame de filões com orientação WNW-ESSE intruídos na Formação do Monte Creoulo onde dificilmente se distingue o material encaixante.....	37
Figura 3.8: Formação de Rocha Negra exposta na face noroeste do Tope de Rocha Negra. ....	38
Figura 3.9: Afloramento da Formação de Rocha Negra, constituído por um empilhamento de derrames máficos densamente recortados por filões (face nordeste do Monte do Norte). ....	38
Figura 3.10: Membro de Monte dos Penedos (Sintema de Topona): brechas conglomeráticas muito heterométricas com predomínio de elementos angulosos de composição variada (escala – 1,3 m). ....	41
Figura 3.11: Afloramento de brechas do Membro de Monte dos Penedos (Sintema de Topona) onde se observa intensa fracturação na proximidade de um dos planos de escorregamento..	41
Figura 3.12: Afloramento do Membro de Topona e Espia expondo alternância entre derrames lávicos, depósitos piroclásticos de fluxo e paleossolos, intruída por filões (Monte Topona).....	42
Figura 3.13: Afloramento do Membro de Topona e Espia: depósitos de fluxo piroclástico, intercalado em derrames lávicos (Monte Topona). No canto superior direito, pormenor de depósito de fluxo piroclástico constituído por matriz de cinzas com elementos angulosos de natureza variada (Monte Topona) .....	42
Figura 3.14: Domo fonolítico da Formação dos Penedos, no Tope dos Penedos, apresentando disjunção concêntrica característica daquele tipo de estrutura.....	45
Figura 3.15: Formação dos Penedos, observando-se em primeiro plano um domo fonolítico, parcialmente soterrado por depósitos de leques aluviais, e em segundo plano o filão e domo parcialmente erodido no cume do relevo de Topo dos Penedos. ....	45
Figura 3.16: Face sueste do Monte Água Doce, observando-se a discordância entre os produtos (piroclastos e derrames) do Membro de Pesqueiro Grande e a Formação de Rocha Negra subjacente. No canto superior esquerdo, pormenor dos derrames .....	49
Figura 3.17: Afloramentos litorais dos derrames lávicos do Membro de Ponta Salina (Formação de Água Doce) apresentando níveis erosivos de praia levantada embutidos nos derrames. ....	49
Figura 3.18: Passagem de lavas submarinas (pillow-lavas) a lavas subaéreas em derrame do Membro de Ponta Salina (Formação de Água Doce) na área de Ponta Salina. ....	49
Figura 3.19: Praia antiga dos 0 metros na costa norte de Santa Luzia muito rica em rodólitos (algas calcárias). ....	52

Figura 3.20: Nível de praia dos 3-5 metros, na costa norte do Monte Creoulo, junto à Praia do Mastro. O afloramento, parcialmente coberto por coluviões, é muito rico em conchas de moluscos. ....	52
Figura 3.21: Nível de Praia dos 12-15 metros, constituído por arenitos finos consolidados apresentando ripple marks (região de Chã da Ribeira de Tate). ....	52
Figura 3.22: Nível de Praia dos 12-15 metros constituído por cascalheira rolada dispersa à superfície (região de Chã da Ribeira de Tate). ....	52
Figura 3.23: Cascalheira da praia levantada dos 21-26 metros, junto à Chã de Praia de Francisco.....	53
Figura 3.24: Praia dos 0 metros, na costa norte da embutida em areias e cascalheiras de praia actuais .....	53
Figura 3.25: Interdigitação de depósitos de leques aluviais com areias eólicas na zona de Chã de Lajes.....	53
Figura 3.26: Depósitos de leques aluviais, no sopé de vertente talhada na Formação de Rocha Negra (Tate). ....	56
Figura 3.27: Estrutura interna de depósitos de leques aluviais exposta em barrancos junto ao litoral sudoeste de Santa Luzia.....	56
Figura 3.28: Praia arenosa actual, “Praia de Palmo-a-tostão”, com depósitos de leques aluviais em primeiro plano e a silhueta de S. Vicente no plano mais distante.....	56
Figura 4.1: Criação de um novo documento ArcMap e definição do sistema de coordenadas .	68
Figura 4.2: Corte em mosaico da parte leste do ortofotomapa da ilha de Santa Luzia a georreferenciar .....	73
Figura 4.3: Recorte da tabela de atributos, indicando os valores de RMS dos pontos de controle .....	73
Figura 4.4: Composição ou mosaico das imagens <i>raster</i> obtidas a partir da Carta Militar por scannerização .....	75
Figura 4.5: Criação da <i>Shapefile</i> “Curvas de nível” e do campo de atributos para registo das cotas .....	77
Figura 4.6: Definição das principais opções de alinhamento do Snapping.....	78
Figura 4.7: Ferramentas utilizadas para a edição de vértices e das curvas de nível.....	79
Figura 4.8: Representação com gradação de cores das curvas de nível, em que as curvas mestras são representadas com um traço mais espesso, e os respectivos valores de altimetria .....	79
Figura 4.9: Criação da <i>shapefile</i> “Pontos cotados” e os seus atributos.....	80
Figura 4.10: Representação do modelo TIN.....	84
Figura 4.11: Recortes evidenciando a ineficiência do modelo TIN neste caso de estudo nas regiões de ... e Monte Creoulo. ....	84
Figura 4.12: Conversão das curvas de nível em pontos.....	85
Figura 4.13: Seleção dos métodos de interpolação e dos principais modelos derivados do MDT .....	87
Figura 4.14: MDT gerados com diferentes métodos de interpolação .....	90
Figura 4.15: Modelos digitais de sombra, gerados com diferentes métodos de interpolação ..	92
Figura 4.16: Mapas de declives, gerados com os diferentes métodos de interpolação.....	94

Figura 4.17: Representação das classes de declive em percentagem (Histograma) .....	94
Figura 4.18: Mapas de Exposição das vertentes, gerados com diferentes métodos de interpolação .....	96
Figura 4.19: Legenda das oito (8) principais direcções de orientação das vertentes .....	96
Figura 4.20: Representação do sistema de drenagem da ilha de Santa Luzia .....	100
Figura 4.21: Rede de drenagem de Santa Luzia, vectorizada com base na carta topográfica e actualizadas com base nas linhas de água do ortofotomapa da ilha.....	100
Figura 5.1: Excerto de uma das minutas de campo da ilha de Santa Luzia.....	105
Figura 5.2: Barra de ferramentas do Editor .....	108
Figura 5.3: Selecção das entidades e das ferramentas mais adequadas para a edição.....	109
Figura 5.4: Funcionalidades que permitem guardar as alterações de edição em ArcMap.....	109
Figura 5.5: Barras de ferramentas de construção e de edição de vértices.....	110
Figura 5.6: Ferramentas utilizadas para editar vértices.....	112
Figura 5.7: Utilização da ferramenta “Reshape Feature Tool” para remodelação de polígonos .....	112
Figura 5.8: utilização da ferramenta de corte de polígonos “Cut Polygons Tool” .....	112
Figura 5.9: Criação de buracos em polígonos utilizando a ferramenta “Cut Polygons Tool” ...	114
Figura 5.10: Ferramenta “Continue Feature Tool” que permite retomar a construção de um esboço .....	115
Figura 5.11: Utilização da ferramenta “Trace” da barra de ferramentas do Editor .....	116
Figura 5.12: Selecção dos ficheiros que participam na topologia de mapa.....	118
Figura 5.13: Ferramenta utilizada para corrigir erros de vectorização no mapa.....	119
Figura 5.14: Limites da ilha e as linhas onde foram efectuados os cortes geológicos.....	120
Figura 5.15: Corte geológico, que atravessa a formação de Água Doce.....	120
Figura 6.1: Selecção de estilos e símbolos para as diferentes entidades .....	122
Figura 6.2: Selecção de cores para o preenchimento das camadas .....	122
Figura 6.3: Edição das propriedades de simbologia.....	122
Figura 6.4: Definição de simbologia única para cada formação .....	123
Figura 6.5: Definição dos ângulos de orientação das etiquetas de toponímia .....	125
Figura 6.6: Configuração da página de Layout do mapa.....	125
Figura 6.7: Inserir título no layout do mapa.....	126
Figura 6.8: Inserir o norte ou orientação no mapa .....	127
Figura 6.9: Inserir a legenda do mapa.....	128
Figura 6.10: Inserir escala gráfica no mapa.....	129
Figura 6.11: Mapa Geológico da ilha de Santa Luzia na sua versão final.....	131

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Geomorfologia das ilhas de Cabo Verde - Adaptado de (Bebiano 1932).....	13
Tabela 2: As principais formações de fácies terrestre e marinha do complexo eruptivo principal (Serralheiro, 1976) .....	23
Tabela 3: Cartografia de base utilizada para a construção do SIG.....	68
Tabela 4: Caracterização da informação cartográfica disponível na página oficial do MAHOT-CV .....	71
Tabela 5: Entidades do tipo pontos representados na base de dados geológica .....	106
Tabela 6: Entidades do tipo linhas representados na base de dados geológica.....	106
Tabela 7: As principais formações vulcânicas (polígonos) representados na base de dados geológica .....	106
Tabela 8: Representação dos depósitos sedimentares (polígonos) na base de dados geológicos .....	107

## **Lista de Siglas e Abreviaturas (Significado)**

**ASTER** - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer  
**ESRI** - Environmental Systems Research Institute  
**FCT** - Fundação para a Ciência e Tecnologia  
**FCUL** - Faculdade de ciências da Universidade de Lisboa  
**FEDER** - Fundo Europeu para o Desenvolvimento Regional  
**FIT** - Frente Inter-Tropical  
**GARGOT** - Geologia do Ambiente Riscos Geológicos e Ordenamento do Território  
**GNSS** - *Global Navigation Satellite System*  
**GPS** - *Global Positioning System*  
**ICS** – *International Commition in Stratigraphy*  
**IDW** - Inverse Distance Weighting  
**IICT** - Instituto de Investigação Científica Tropical  
**LIDAR** - *Light Detection And Ranging*  
**MAHOT-CV** - Ministério do Ambiente Habitação e Ordenamento do Território de Cabo Verde  
**MDT/MDE** - Modelo Digital de Terreno/Elevação  
**MORB** - Mid Ocean Ridg Basalt  
**OIB** - Ocean Island Basalts  
**OGC** - Open Geospatial Consortium  
**ONG** - Organizações Não-Governamentais  
**PLINT** - Plume-Lithosphere Interation  
**SIG** - Sistemas de Informação Geográfica  
**SIT-CV** - Sistemas de Informação Territorial de Cabo Verde  
**SRTM** - Shuttle Radar Topography Mission  
**TIN** - Triangulated Irregular Network  
**UBU** - *Unconformity Bounded Units*  
**UTM** - Universal Transverse Mercator  
**USGS** - United States Geological Survey  
**WGS-1984** - World Geodetic System  
**WMS** - Web Map Service  
**RMS** – Root Mean Square

# Capítulo 1

## 1. Introdução

### 1.1. Interesse e motivação

Uma carta geológica trata-se de um documento científico e técnico, onde estão representados um conjunto de informações sobre a geologia de numa determinada região, como por exemplo, a distribuição espacial das várias unidades litoestratigráficas, tipos litológicos, falhas e outras estruturas tectónicas, projectados sobre uma base topográfica georreferenciada. Geralmente os mapas geológicos trazem consigo alguns elementos complementares, que são fundamentais para a sua análise e interpretação, designadamente a coluna litoestratigráfica e os cortes geológicos, que facilitam a visualização da relação existente entre as diferentes formações rochosas, facilitando a compreensão da sua estrutura vertical e da evolução geológica da região.

Tradicionalmente os mapas são produzidos para impressão em papel, sendo diariamente utilizados por milhares de pessoas, em diferentes áreas, para a sua orientação. A principal vantagem da utilização de cartas em papel relaciona-se com a facilidade com que esta pode ser transportada, sobretudo para a realização de trabalhos de campo, não dependendo de nenhum aparelho electrónico ou da internet. Entretanto, apesar da sua grande utilização, estas apresentam algumas desvantagens relativamente aos mapas mais modernos, digitais, porque a sua representação é sempre estática e não é possível efectuar actualizações. Actualmente, a maioria das informações cartográficas é produzida em suporte digital, através da criação de uma base de dados, integrada num Sistema de Informação Geográfico (SIG), que corresponde a um sistema de informação espacial baseado em procedimentos computacionais que permite e facilita a análise, gestão e representação de dados espaciais e dos fenómenos que nele ocorrem. Os SIG permitem compatibilizar informações provenientes de diversas fontes, podendo ser apresentadas em mapas temáticos ou então combinando uma série de dados, de acordo com um determinado objectivo de estudo.

Neste caso de estudo e no âmbito da elaboração desta tese de mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território (GARGOT), elaborou-se o Mapa Geológico da ilha de Santa Luzia, na escala 1:15.000 e o respectivo MDT, utilizando ferramentas de desenho vectorial e técnicas de análise espacial inseridas em sistemas de informação geográfica (ArcGIS 10.1). Tendo em conta toda a estratégia utilizada para o desenvolvimento da República de Cabo Verde, a utilização das

tecnologias SIG e a cartografia digital constituem ferramentas imprescindíveis para o planeamento, gestão e ordenamento do território, impulsionando ainda mais os avanços alcançados até ao momento. Deste modo, os SIG podem ser utilizados em qualquer área do conhecimento, proporcionando uma maior capacidade de manipulação de informações espaciais, análise e actualização rápida dos dados, de modo a que os resultados se enquadrem num determinado contexto ou objectivo. Esta tecnologia apresenta ainda mais vantagens designadamente porque permitem a produção de mapas mais elaborados, facilitam a análise e actualização dos dados, para além de diminuírem o custo de produção cartográfica.

A ilha de Santa Luzia é a mais pequena de todas e a única ilha desabitada do Arquipélago de Cabo Verde, devido ao seu clima muito árido e à falta de água. Esta vulnerabilidade ambiental constitui um dos principais factores que contribuíram para que, ao longo dos tempos, as autoridades responsáveis não se interessassem pela elaboração de estudos científicos que permitiriam a compreensão integrada de todos os fenómenos naturais que afectam este território. Entretanto, existem algumas publicações cartográficas antigas, nomeadamente a Carta Militar de Portugal, Província de Cabo Verde, Ilha de Santa Luzia (Folhas 13, 14 e 15-16, à escala de 1/25000), publicada pelos Serviços Cartográficos do Exército, e um esboço geológico a preto e branco, incluído na publicação “A Geologia do Arquipélago de Cabo Verde” (Bebiano, 1932).

Actualmente, com o desenvolvimento das ciências e das novas tecnologias, surge a necessidade da elaboração de uma nova geração de mapas, com informações mais actualizadas e escalas maiores, permitindo um estudo mais detalhado de todos os aspectos relacionados com as superfícies representadas nos respectivos mapas. Esta tecnologia possibilita a integração de informações espaciais, a partir dos dados recolhidos no campo e no gabinete, permitindo a introdução de melhorias consideráveis nos modelos cartográficos representados.

No entanto, com a aprovação da Lei nº 79/III/1990, de 29 de Junho, publicada no Boletim Oficial da República de Cabo Verde, a ilha de Santa Luzia, em conjunto com os ilhéus Branco e Raso, foi declarada como uma importante reserva natural e como tal passou a fazer parte da rede das áreas protegidas deste arquipélago, de acordo com a lei em vigor.

Inicialmente pretendia-se, neste projecto, fazer um estudo de toda esta área protegida mas, por falta de informações de campo sobre os ilhéus, efectuou-se apenas a elaboração do MDT e da carta geológica digital da ilha de Santa Luzia. Todos os procedimentos e técnicas utilizadas são apresentados nos capítulos 4 e 5, cuja interpretação dos resultados práticos complementam toda a descrição teórica,

disponibilizando um conjunto de informações que facilitam o enquadramento e a caracterização fisiográfica da área de estudo.

A utilização das novas tecnologias de produção cartográfica fazem dos mapas digitais um poderoso instrumento de trabalho, podendo ser utilizados como um importante auxílio para a criação e execução de projectos associados à gestão desta área protegida. De um modo geral, o mapa geológico produzido constitui mais um importante contributo para o conhecimento geológico da ilha de Santa Luzia e consequentemente do Arquipélago de Cabo Verde. Por esta razão, pode ser utilizado como ferramenta de gestão e preservação deste ecossistema tão frágil, auxiliando sobretudo na monitorização e protecção da biodiversidade endémica desta reserva natural.

## **1.2. Objectivos Gerais**

A elaboração deste trabalho surgiu na sequência da Missão GeoFCUL – “PLINT”, realizada em 2008, na ilha de Santa Luzia por docentes e investigadores do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, nomeadamente, António Brum da Silveira, João Mata e José Madeira. Nesta Missão recolheu-se um conjunto de informações sobre a sua geologia, geomorfologia, petrologia e geoquímica, integrados num documento cartográfico preliminar (minuta de campo) que era urgente compilar e integrar num Sistema de Informação Geográfico.

Assim, o tema desta dissertação tem como objectivo principal expor a metodologia associada à produção da cartografia geológica digital da ilha de Santa Luzia e elaboração do modelo digital de terreno (MDT), com base na utilização do *software* ArcGIS 10.1, que recorre às técnicas de edição do ArcMap para definir e cartografar todas as unidades geológicas existentes na ilha, permitindo o seu relacionamento com a sequência vulcano-estratigráfica e a evolução geológica da ilha.

Com o desenvolvimento deste trabalho científico, também pretende-se evidenciar a importância das novas tecnologias de produção cartográfica, cujo produto resultante – os mapas digitais – são um poderoso instrumento que pode ser utilizado para a elaboração de planos de gestão, ordenamento do território e ocupação dos solos. Deste modo, através da análise e interpretação das cartas produzidas, torna-se possível efectuar a caracterização fisiográfica da ilha de Santa Luzia, principalmente nos aspectos cartográficos relacionados com a sua geologia e geomorfologia.

Porém, o facto de Santa Luzia ser actualmente considerada uma Reserva Natural Integral do Arquipélago de Cabo Verde, faz com que todo este material cartográfico possa ser bastante útil na criação de planos de gestão e de projectos com o objectivo de proteger o ambiente natural (Geodiversidade) e, sobretudo, a biodiversidade, que é constituída essencialmente por espécies muito raras e endémicas da região, algumas em risco de extinção.

### **1.3. Estrutura da Tese**

Em cumprimento dos objectivos preconizados, o presente trabalho encontra-se organizado em sete (7) capítulos, a indicar:

#### **Primeiro Capítulo (1)**

No capítulo de **Introdução** descreveram-se os principais objectivos, a estrutura da tese e os materiais e métodos utilizados para a sua realização.

#### **Segundo Capítulo (2)**

Este capítulo faz o **Enquadramento do Arquipélago de Cabo Verde**, tendo em conta os seguintes aspectos:

- Localização geográfica e constituição
- Enquadramento fisiográfico – Clima e Relevo
- Enquadramento Geotectónico
- Enquadramento Geológico

#### **Terceiro Capítulo (3)**

Fez-se uma abordagem ao **Enquadramento da Ilha de Santa Luzia**, levando em consideração as seguintes características:

- Localização Geográfica
- Alguns dados sobre a História e Cultura da Ilha
- Geomorfologia
- Estudos Geológicos do projecto “PLINT” e das minutas de campo
- Estrutura Vulcano-tectónica da ilha de Santa Luzia

#### **Quarto Capítulo (4)**

Neste capítulo, efectuou-se a criação de uma base de informações georreferenciadas, utilizando o programa ArcGIS 10.1, ficando esses dados disponíveis para a construção do MDT e da carta geológica da ilha. Para isso, aplicou-se os seguintes procedimentos:

- Captura e georreferenciação dos ortofotomapas da ilha de Santa Luzia, disponíveis na página do MAHOT-CV, na escala 1/4.000
- Digitalização e georreferenciação do mapa topográfico da ilha (cartografia Militar – 1/25.000)
- Vectorização das curvas de nível e dos pontos cotados (dados altimétricos)
- Construção do MDT (comparação entre os diferentes modelos produzidos)
- Definição da Rede de Drenagem

### **Quinto Capítulo (5)**

Aproveitando os dados georreferenciados anteriormente, neste capítulo procedeu-se à **Construção da Cartografia Geológica** da Ilha de Santa Luzia, com a criação/vectorização de pontos, linhas e polígonos, a partir dos dados recolhidos nas minutas de campo e nos ortofotomapas. No final do processo criou-se a topologia do mapa para corrigir os possíveis erros cometidos durante a elaboração da carta.

### **Sexto Capítulo (6)**

Depois de concluída a elaboração da carta, fez-se a **Produção Cartográfica Digital**, que permitiu atribuir ao mapa criado um catálogo de símbolos e a configuração do esquema de páginas em formato adequado, ficando esta pronta para a impressão.

### **Sétimo Capítulo (7)**

No final do trabalho apresentaram-se algumas **Conclusões e Recomendações**, aos quais se seguem as referências bibliográficas utilizadas para a sua elaboração e alguns anexos.

## **1.4. Materiais e Métodos**

Para a realização deste trabalho foi necessário desenvolver várias etapas de estudos e pesquisas de gabinete, nomeadamente a análise bibliográfica, análise da cartografia de base e das minutas geológicas, que complementam as informações recolhidas no campo e no laboratório.

Nesse sentido, para além da recolha das informações de base teórica, recorreu-se a utilização das novas tecnologias informáticas e SIG para a integração coerente de todos os dados da investigação, de modo a produzir os resultados pretendidos.

## **I- Análise Bibliográfica**

A primeira etapa de estudo consistiu no levantamento e revisão de todos os trabalhos publicados sobre a área de estudo, enquadrando os respectivos temas dentro dos principais objectivos propostos para o presente trabalho. A análise bibliográfica permitiu fazer o enquadramento geral e clarificar todos os conceitos de interesse para o desenvolvimento da tese, de modo a poder-se apresentar um conjunto de informações que complementam e descrevem os estudos realizados ao longo dos diferentes capítulos.

Contudo, referir-se que não existem muitas publicações sobre a ilha de Santa Luzia, principalmente nos aspectos relacionados com a geologia. Esta situação deve-se, sobretudo, ao facto desta ilha não possuir condições para a habitabilidade, encontrando-se por isso praticamente no estado de permanente abandono. As principais obras bibliográficas consultadas foram “A Geologia do Arquipélago de Cabo Verde” (Bebiano, 1932) e o “Relatório da Missão GeoFCUL - (PLINT, 2008)”, as quais permitiram agregar as informações mais importantes sobre a geologia, geomorfologia, petrologia e geoquímica da ilha de Santa Luzia. Por outro lado, também foram consultados alguns artigos, que se encontram disponíveis na Internet, permitindo um melhor enquadramento deste território, que actualmente é considerado uma Reserva Natural Integral.

## **II- Trabalhos de Campo (Investigação e recolha de Amostras)**

As investigações de campo que serviram de suporte para a realização deste trabalho, realizaram-se no âmbito do projecto de investigação “PLINT: Interação Pluma-Litosfera em Cabo Verde – POCTI/CTA/45802/2002; FCT/FEDER”, através da Missão GeoFCUL à ilha de Santa Luzia, realizada em 2008 pelos professores e investigadores António Brum da Silveira, João Mata e José Madeira.

O projecto “PLINT” teve como principal objectivo investigar a importância da interacção pluma-litosfera para a composição dos magmas das ilhas oceânicas, usando como objecto de estudo o Arquipélago de Cabo Verde. Neste sentido destacam-se as investigações feitas nas ilhas de Santiago, Brava e Santa Luzia, com objectivos específicos de contribuir para determinação do local de origem da pluma mantélica, compreender as variações temporais das assinaturas geoquímicas, compreender as condições em que ocorrem os processos de evolução magmática e ter melhor conhecimento da sequência vulcano-estratigráfica do arquipélago.

Esta missão permitiu a recolha de um conjunto de amostras das ilhas da Brava e Santa Luzia, sendo consideradas apenas as da ilha de Santa Luzia, de acordo com os objectivos estabelecidos para a realização desta tese. No entanto, a determinação das suas características petrológicas e mineralógicas depende de estudos e análises laboratoriais a serem realizados posteriormente, que vai permitir a elaboração de novos mapas geológicos, da ilha Brava e de Santa Luzia, respectivamente nas escalas 1:25.000 e 1:15.000. Por outro lado, durante esta campanha, procedeu-se também à captura de imagens fotográficas, cuja análise, em conjunto com as outras informações recolhidas, permitiram uma melhor caracterização das unidades litológicas e da geomorfologia da área de estudo.

### **III- Trabalhos de Gabinete**

No gabinete, a minuta geológica de campo foi refeita, depois de reavaliar todas as informações, bibliográficas e de campo. Neste processo, a utilização da detecção remota, designadamente a análise das imagens *Google Earth*, tornou-se de importância fundamental, uma vez que possibilitou a observação de muitos detalhes da superfície, a diferentes escalas, nomeadamente os limites entre as formações geológicas e a localização de muitos filões, que no terreno é muito mais difícil de se identificar.

Depois de corrigir os erros da minuta de campo, tornou-se imperativo passar toda a informação para a carta, utilizando o programa ArcGIS 10.1 da ESRI, que possibilitou a produção do material cartográfico pretendido. Para a produção do modelo digital de terreno (MDT) e da cartografia geológica digital da Ilha, introduziram-se os dados georreferenciados inerentes à Carta Militar da ilha de Santa Luzia (1:25.000), as minutas de campo (esboço geológico da Missão GeoFCUL - PLINT, 2008) e os ortofotomapas disponíveis na página do MAHOT-CV ([www.sit.gov.cv](http://www.sit.gov.cv)).

Todos os procedimentos foram explicados detalhadamente nos capítulos 4 (criação do MDT) e 5 (produção da Carta Geológica), sendo apresentados à escala de 1:15.000, de modo a garantir uma boa representação, nomeadamente da geologia e geomorfologia, incluindo (os acidentes) a estrutura tectónica da ilha.

#### **IV- Trabalhos Laboratoriais**

As amostras de rochas correspondentes às diferentes formações geológicas da ilha de Santa Luzia, recolhidas durante a Missão (PLINT, 2008), receberam um tratamento adequado, no laboratório de preparação de amostras da FCUL, de modo a ficarem prontas para a observação microscópica, permitindo assim a identificação dos seus minerais e das litologias correspondentes.

De acordo com a Doutora Cytia Mourão, o procedimento iniciou-se efectuando o corte da amostra de campo em taliscas paralelepípedicas, de dimensões 3x2,5x1,5 cm (comprimento, largura e altura), que se obtém utilizando uma serra de corte com disco adiamantado. A preparação da face de talisca fez-se colando-a numa lâmina de vidro, usando uma mistura de resina e epoxy (que é um endurecedor), numa proporção adequada, sendo depois secada, sobre uma prensa assente numa placa aquecida, durante duas a três horas.

Seguidamente procedeu-se à redução das amostras a lâminas delgadas e polidas. Para isso, as amostras são montadas num braço de precisão, sendo presas por um sistema de vácuo, que permite à serra com disco adiamantado corta-las em lâminas com uma espessura inferior a um milímetro, sendo importante que, depois de cada corte efectuado, as amostras sejam lavadas e secadas.

Para que se efectue as observações microscópicas e posteriores estudos mineralógicos, foi necessário reduzir a espessura das amostras a lâminas delgadas com espessura de aproximadamente 30 µm (0,03mm). As lâminas obtidas são montadas num dispositivo JIG, sobre um prato de desgaste, onde com a ajuda de um líquido abrasivo (constituído por carbonato de sódio e água), depois de algum tempo, atinge-se a espessura da lâmina desejada. Contudo, pode-se utilizar um micrómetro para confirmar se a espessura da lâmina está correcta.

A montagem final das amostras faz-se sobre uma placa ligeiramente aquecida, onde se efectua a colagem da lamela, utilizando duas gotas de uma resina (bálsamo do Canadá). A amostra deve permanecer sobre esta placa durante mais ou menos dois dias, ficando pronta para ser observada ao microscópio.

A observação microscópica das lâminas delgadas produzidas foi efectuada pelo Doutor Luís Celestino Silva, fornecendo as informações necessárias para a descrição da composição mineralógica e petrológica das formações geológicas existentes na ilha de Santa Luzia, cujos resultados foram apresentados no capítulo 3 desta dissertação. No entanto, nesta fase do projecto, não foi possível a realização de análises químicas e de estudos geoquímicos, que permitiriam esclarecer a composição química e mineralógica das formações e determinar a relação cronológica absoluta das rochas.

# Capítulo 2

## 2. Enquadramento do Arquipélago de Cabo Verde

### 2.1. Localização Geográfica

O Arquipélago de Cabo Verde fica localizado na margem oriental do Atlântico norte, a cerca de 450 km da costa ocidental do continente africano e a aproximadamente 1400 km a SSW do Arquipélago das Canárias, sendo limitado pelos paralelos 17°13' (Ponta Cais os Fortes em Santo Antão) e 14°48' (em Ponta Nhô Martinho, na Ilha Brava) de latitude norte, e pelos semimeridianos 22°42' (Ilhéu Baluarte, na Boa Vista) e 25°22' (Ponta Chão de Mangrado, em Santo Antão) de longitude a oeste de Greenwich.

O arquipélago é constituído por dez ilhas e treze ilhéus, dispostos em forma de ferradura, voltadas para o oeste (Figura 2.1). Tradicionalmente são divididos em dois grupos designados por Ilhas do Barlavento e Ilhas do Sotavento, tendo em conta a sua localização em relação aos ventos dominantes na região, os ventos alísios provenientes de nordeste.



Figura 2.1: Mapa do Arquipélago de Cabo Verde (retirado de Wikipédia, Julho de 2014)

## **2.2. Enquadramento Fisiográfico**

### **2.2.1. Clima**

O clima constitui uma das condições fundamentais para a determinação das características fisiográficas de um território, visto que a conjugação das variáveis climáticas que determinam o estado permanente de tempo na atmosfera, principalmente a temperatura e a precipitação, influenciam directamente a evolução de todos os ciclos terrestres e, conseqüentemente, o relevo de uma determinada região.

Geograficamente o Arquipélago de Cabo Verde fica localizado numa vasta região de clima árido e semiárido do continente africano, que corresponde a uma zona de transição entre o deserto do Sahara e as savanas do Sudão. Por esta razão, à semelhança de todos os países do Sahel, o clima do Arquipélago de Cabo Verde é caracterizado por uma longa estação seca, interrompida por um curto período húmido, em que as chuvas se concentram em apenas alguns dias do ano.

Deste modo, o clima do arquipélago é classificado de tropical seco, sendo considerados a existência de duas estações distintas durante o ano:

- A estação seca ou das brisas – de Dezembro a Junho;
- A estação húmida ou das águas – de Agosto a Outubro;

Os meses de Julho e Novembro são considerados de transição.

Devido à sua envolvimento num ambiente oceânico, Cabo Verde regista temperaturas médias anuais moderadas, cerca de 25 graus, e a humidade relativa do ar oscila entre os 60-85%. Os valores da precipitação média rondam os 200-250 mm/ano, sendo a sua distribuição espacial e temporal influenciada fundamentalmente pela oscilação da frente intertropical (FIT). As precipitações normalmente se resumem a chuvas curtas e muito intensas que, quando combinados com a topografia do relevo, podem provocar a ocorrência de um regime torrencial de erosão fluvial. Por esta razão, é muito frequente, nas ilhas mais jovens, a existência de vales encaixados e a acumulação de depósitos aluviais, nas regiões mais baixas, transportadas pelo fluxo de drenagem, enquanto nas ilhas planas os canais de drenagem apresentam um padrão baixo e dispostos em forma de meandros intercalados (Ramalho, 2009).

O clima do arquipélago é condicionado por três correntes de ar, de origem e características distintas, proporcionando a existência de microclimas com uma distribuição espacial e temporal mais ou menos definida.

Proveniente do deserto do Sahara o arquipélago é afectado pelo Harmatão, um tipo de vento que atinge as ilhas ainda quente e seco, apesar do percurso marítimo de

centenas de quilómetros. Este vento normalmente transporta consigo uma grande quantidade de poeiras, aumentando a aridez do clima, com prejuízo na prática da agricultura (Amaral, 1964).

Para além do Harmatão e dos Alísios do Nordeste, o arquipélago também é afectado por um outro tipo de vento, a Monção do Atlântico Sul, que é uma corrente de ar quente e húmida, com origem na região equatorial. Os ventos da Monção normalmente atingem o arquipélago durante o verão, entrando em contacto com os ventos Alísios e com o vento Harmatão, para formar a Frente Intertropical (FIT). Este vento, devido às suas características, torna-se no principal responsável pela queda de precipitação durante a estação húmida, no verão (Teixeira e Barbosa, 1958).

Os ventos Alísios de nordeste são ventos dominantes que sopram durante quase todo o ano e que, devido ao seu teor de humidade, trazem uma certa frescura ao arquipélago. Contudo, devido à influência do clima quente da região, esta corrente de ar poderá dar origem a períodos de precipitação, beneficiando sobretudo as zonas de maior altitude, mesmo durante a estação seca. Por outro lado, também pode influenciar a energia das marés, provocando erosão diferenciada ao longo da costa e criando sistemas de drenagem bem marcados nas vertentes com orientação inclinadas para norte.

O clima do Arquipélago de Cabo Verde apresenta algumas semelhanças aos climas desérticos quentes. Porém, possui diferenças notórias por ter maior humidade do ar, precipitações periódicas e amplitudes térmicas baixas, tendo, como já foi referido, o ambiente oceânico e os ventos Alísios um papel fundamental na moderação da temperatura ambiente (Teixeira e Barbosa, 1958).

Outro factor que influencia o clima local é o tipo de relevo insular (geomorfologia). Com efeito, é possível diferenciar vários andares climáticos, sendo que o clima árido e semiárido se localizam, sobretudo, junto do litoral, evoluindo para clima sub-húmido a húmido nas regiões mais montanhosas (Amaral, 1964).

Relativamente à ilha de Santa Luzia, tal como noutras ilhas aplanadas, o clima apresenta algumas semelhanças ao clima desértico, quente e seco, e essencialmente árido (exposta à erosão eólica). A precipitação é muito escassa, havendo anos em que é mesmo nula, o que contribui fortemente para que a superfície da ilha esteja despida de vegetação. Segundo Bebiano (1932) havia apenas um único poço na ilha, com água potável, na ribeira de Penedos, mas a água não tinha grande qualidade para o consumo.

### **2.2.2. Relevo**

O relevo de uma ilha vulcânica pode ser modelado por processos gravíticos de movimentos de massa (deslizamentos internos ou mega-colapsos de flanco), colapso de caldeiras, subsidência tectónica/isostática, construção vulcânica (extrusão de produtos lávicos), soerguimento tectónico/isostática ou por processos erosivos. Segundo Bebiano (1932), o Arquipélago de Cabo Verde apresenta um relevo bastante irregular, com geoformas diversificadas de ilha para ilha, onde existe um evidente contraste geomorfológico entre os grupos das ilhas orientais e ocidentais (Tabela 1).

As ilhas orientais (Sal, Boa Vista e Maio) correspondem a formas topográficas antigas e denudadas e de declive fraco, marcadas pela erosão, onde são encontrados alguns relevos residuais ou cones formados durante a última fase de erupção pós-erosiva. Essas ilhas poderiam estar completamente submersas, devido aos processos de subsidência e erosão marinha. Entretanto, segundo (Ramalho et al., 2010a), os fenómenos de soerguimento ocorridos desde o Pliocénico ao Quaternário determinou a sua permanência acima do nível médio do mar.

A ilha do Sal corresponde a um relevo aplanado, que chegou a ser completamente truncado pela erosão marinha, provavelmente entre 9 e 5,5 Ma contudo, as erupções pós-erosivas ocorridas no vulcão Serra Negra, acompanhadas por processos de elevação, contribuíram para o soerguimento da ilha por volta dos 3 Ma (Torres et al., 2002); (Holm et al., 2008) e (Ramalho et al., 2010a).

Boa Vista representa um relevo plano e sem formas vulcânicas recentes, em que a última fase eruptiva ocorreu há aproximadamente 4,5 Ma, sendo completamente arrasada pela erosão marinha. A sua altitude média é de cerca de 100/120 metros, com excepção de alguns relevos residuais, de natureza fonolítica, que não ultrapassam os 380 metros de altitude.

A ilha do Maio, sendo a mais antiga do arquipélago, é muito plana, desprovida de morfologia vulcânica recente e muito marcada em toda a sua extensão pela erosão fluvial (Mitchell et al., 1983). O último período eruptivo ocorreu há aproximadamente 7 Ma, sendo o seu relevo caracterizado pela presença de muitos terraços marinhos e um relevo residual central que atinge os 450 metros de altitude.

Pelo contrário, as ilhas ocidentais, na sua maioria, possuem um relevo montanhoso com altitudes que frequentemente ultrapassam os 1000 metros, sendo caracterizadas por paisagens recentes, em que as formas vulcânicas primárias se encontram relativamente bem preservadas. Deste modo, destacam-se os grandes maciços vulcânicos, que se impõem na geomorfologia das ilhas consideradas montanhosas

(Fogo, Santo Antão, Santiago e Brava), sendo o Pico do vulcão do Fogo o ponto mais alto do arquipélago com 2829 metros de altitude.

Nessas ilhas (montanhosas), deve-se destacar a existência de vales profundos e encaixados, em encostas escarpadas e abruptas, com dois tipos de perfis distintos (Mota Gomes, 2007):

- Perfis transversais em U, que se originam em mantos basálticos subaéreos relativamente recentes;
- Perfis transversais em V, que se originam em formações rochosas mais antigas e ricas em argila.

As ilhas de São Vicente e de Santa Luzia, por apresentarem um relevo diversificado e com altitudes máximas inferiores a 1000 metros (744 metros no Monte Verde e 395 metros no Monte Topona), são geomorfologicamente consideradas intermédias em relação às outras ilhas do arquipélago.

**Tabela 1:** Geomorfologia das ilhas de Cabo Verde - Adaptado de (Bebiano 1932)

Ilhas	Comp. Máx. (m)	Largura Máx. (m)	Superfície (Km <sup>2</sup> )	Altitude Máxima (m) (local)
Santo Antão	42.750	23.970	779	1.979 (Tope de Coroa)
São Vicente	24.250	16.250	227	744 (Monte Verde)
Santa Luzia	12.370	5.320	35	395 (Monte Topona)
São Nicolau	44.500	22.000	343	1.304 (Monte Gordo)
Sal	29.700	11.800	216	406 (Monte Grande)
Boa Vista	28.900	30.800	620	390 (Monte Estância)
Maio	24.100	16.300	269	436 (Monte Penoso)
Santiago	54.900	28.800	991	1.392 (Pico D'Antónia)
Fogo	26.300	23.900	476	2.829 (Pico do Vulcão)
Brava	10.500	9.310	64	976 (Monte Fontainhas)

### 2.3. Enquadramento Geotectónico

O Arquipélago, de Cabo Verde de um ponto de vista Geotectónico, localiza-se numa posição intraplaca, numa região submersa da plataforma continental africana, à semelhança do que acontece com as ilhas das Canárias e da Madeira.

Distando cerca de 2000 km a leste do actual rifte da Crista Média Atlântica, o Arquipélago de Cabo Verde localiza-se numa região elevada do fundo oceânico, designada por "Crista de Cabo Verde". Esta elevação corresponde a um domo, com cerca de 400 km de largura (Lancelot et al., 1977), possivelmente relacionado com fenómenos de descompressão e fusão parcial do manto o que, por sua vez, terá provocado o referido empolamento por ascensão magmática, originando as ilhas de Cabo Verde (Stillman et al., 1982).

A Crista de Cabo Verde representa uma grande anomalia batimétrica, que atinge profundidades de aproximadamente 3000 metros, devido a um levantamento na ordem dos 2000 metros acima do valor de referência, que ocorreu provavelmente na transição do período Oligocénico para o Miocénico (Faugeres et al., 1989) e (Lancelot et al., 1978). Contudo, a sua origem é um pouco controversa, embora a teoria mais consensual seja a de que a origem do arquipélago esteja relacionada com o vulcanismo do tipo *hot-spot* (McNutt, 1988); (Crough, 1978) e (Sleep, 1990).

Esta teoria é suportada por vários estudos científicos efectuados, designadamente a realização de tomografia sísmica da região (Montelli et al., 2006) e (Zhao, 2007); estudos de anomalias de fluxo magnético e térmico (Dahs et al., 1976) e (Courtney e White, 1986) e estudos de anomalias magnéticas, comprovando que a litosfera onde se localizam as ilhas de Cabo Verde é inteiramente oceânica, apesar da proximidade ao continente (Hayes e Rabinowitz, 1975).

Segundo Dahs et al. (1976) e Klerks e De Peape (1976), em conformidade com Bebiano (1932), propuseram que a origem das ilhas está relacionada com zonas de fracturas associadas aos movimentos provocados na região do rifte da Crista Média Atlântica, afectando a sua disposição na superfície - tendências NW-SW e NE-SE (Williams et al., 1990); (Dahs et al., 1976); e (Bebiano, 1932). Porém, Williams et al. (1990) defende que as zonas de fractura não coincidem exactamente com as posições das ilhas e que o vulcanismo ocorrido na região não parece estar direccionado ao longo das zonas de falhas.

Segundo Mata et al. (1999), depois de analisar a disposição linear das ilhas e a direcção preferencial das fracturas, pode-se considerar que a formação deste território insular pode estar associada a uma interacção conjunta que combina uma pluma do manto "hot-spot" com as fracturas profundas existentes no fundo oceânico (Williams et al., 1990).

Numa outra perspectiva, informações recolhidas sobre a idade relativa das ilhas, características tectónicas dos afloramentos e dados de batimetria revelam que a fusão do manto ocorreu essencialmente através de três canais, que orientaram a formação do arquipélago: o pedestal oriental, que deu origem às ilhas do Sal, Boa Vista e Maio, no Paleogénico/Miocénico e os pedestais localizados a noroeste e sudoeste, activos desde o Pliocénico e Plistocénico, que originaram as restantes ilhas do arquipélago (Bebiano, 1932).

Segundo Ramalho (2009), seguindo o critério de análise batimétrica regional, pode-se efectuar uma divisão diferente das ilhas em dois grupos: o pedestal do Norte corresponde possivelmente a uma antiga ilha que foi dividida pela erosão marinha,

sendo mais recentemente separados pela elevação do nível do mar. Este facto pode ser comprovado pela existência de canais muito rasos entre essas ilhas, sobretudo entre São Vicente-Santa Luzia e ilhéus, que em alguns casos não ultrapassam os 20 metros de profundidade. Por outro lado, os pedestais Este e Sul podem ser considerados um único grupo, embora o nível batimétrico de Fogo e Brava apenas se liga ao pedestal de Santiago na isóbata de 3000 metros aproximadamente, o que é significativamente mais profundo do que nos outros lugares. Contudo, em todo o arquipélago é frequente encontrarem-se estruturas vulcânicas no fundo oceânico, com destaque para o Banco João Valente, uma área muito rasa, que em alguns sítios atinge cerca de 14 metros de profundidade, localizada entre as ilhas de Boa Vista e Maio, que corresponde provavelmente a uma antiga ilha (*Guyot*) que foi arrasada pela erosão marinha. Existem também várias montanhas ou vulcões submarinos (Seamount) relativamente recentes, que se encontram em ascensão, como por exemplo (Senghor Seamount – ENE do Sal; Cabo Verde Seamount ou de Boa Vista – ESSE de Boa Vista; Seamount do Maio – Sul do Maio; Cadamosto Seamount – WSW da Brava e Nola Seamount – WNW de Santo Antão), que nunca atingiram a superfície, sendo alguns deles ainda vulcanicamente activos (Masson et al., 2008) e (Grevemeyer et al., 2010). As outras ilhas são separadas por zonas de batimetria relativamente profundas (Holm et al., 2008).

Estudos multidisciplinares mais recentes levados a cabo por Davies et al. (1989), Patriat e Labails (2006) e vários outros investigadores, correlacionam informações de várias áreas nomeadamente a estratigrafia, petrologia e geoquímica, comprovando que o Arquipélago de Cabo Verde, à semelhança de muitas outras ilhas do Atlântico, se originou provavelmente a partir da elevação de plumas térmicas do manto.

A disposição das ilhas não forma uma cadeia linear, como normalmente acontece em zonas de hot-spots. Este acontecimento e o facto de uma pluma tão fraca dar origem à maior anomalia batimétrica dos oceanos, explica-se pela posição semi-estacionária da Crista de Cabo Verde, sem grandes movimentos da placa, oferecendo as condições ideais para a realização de estudos relacionados com a interacção pluma-litosfera, através de análises sísmicas efectuadas ao nível da crosta e do manto (Gripp e Gondon, 2002) e (Mata et al., 2010).

Os pressupostos da teoria das correntes de convecção do manto trouxeram grandes avanços no domínio do estudo e conhecimento dos fenómenos sísmicos e vulcânicos, a nível do planeta, sobretudo, em regiões de confronto interplacas. Contudo, tem-se revelado insuficiente para explicar os processos de vulcanismo intraplaca, como são os casos do Arquipélago de Cabo Verde e algumas outras ilhas oceânicas.

Actualmente, alguns autores, nomeadamente (Ali et al., 2003) e (Pin et al., 2008) consideram que o mecanismo de hot-spot, em contexto intraplaca, é um processo bastante complexo e que não consegue explicar completamente a génese das ilhas de Cabo Verde. Porém, acreditam que outros processos de magmatismo profundo estariam na origem do arquipélago, nomeadamente fenómenos relacionados com o levantamento isostático.

Numerosos estudos, ao nível da petrologia, mineralogia e composição geoquímica dos materiais, revelam que a origem do Arquipélago de Cabo Verde está relacionada com a existência de três tipos de magmatismo, (Silva, 2008) que passamos a descrever em seguida:

#### **I- Magmatismo Toleítico**

Caracteriza-se pela existência de lavas em almofada (*pillow-lavas*) do tipo MORB (*Mid-Ocean Ridge Basalts*) originários de regiões próximas da Crista Médio-atlântica. Presente nas ilhas de Maio e Santiago, as rochas basálticas normalmente encontram-se sobrepostas por calcários Jurássicos e Cretácicos, de acordo com os dados obtidos a partir da datação de fósseis (Stillman et al., 1982).

#### **II- Magmatismo Alcalino**

Originam-se a partir da evolução de materiais pobres em sílica e ricos em elementos alcalinos, típicos das ilhas oceânicas (*OIB – Oceans Islands Basalts*). A sua ocorrência marca a origem de grande parte dos edifícios vulcânicos do arquipélago, constituídos principalmente por rochas basálticas. Segundo Silva (2008), este fenómeno tem ocorrido no arquipélago desde há 26 Ma, com predomínio no período Cenozóico, até à actualidade, sendo a erupção de Novembro de 2014, na ilha do Fogo, a sua última manifestação.

#### **III- Magmatismo Carbonatítico**

Corresponde a um fenómeno de magmatismo muito raro, originando rochas muito características constituídas essencialmente por carbonato ígneo. Os carbonatitos extrusivos representam as únicas ocorrências deste tipo de magmatismo em ilhas oceânicas, podendo ser registados alguns afloramentos nalgumas ilhas de Cabo Verde.

### **2.4. Enquadramento Geológico**

As ilhas de Cabo Verde são todas de origem vulcânica, originando-se de erupções submarinas, em que se ergueram de uma profundidade de cerca de 3000 metros a partir do fundo marinho, a partir de um grande domo topográfico, conhecido como Crista de Cabo Verde (Bebiano, 1932).

De acordo com Serralheiro (1976), as formações geológicas que constituem o arquipélago possuem uma idade compreendida entre o Jurássico superior e a actualidade, sendo a maioria das ilhas constituída, sobretudo, por escoadas lávicas e piroclastos de natureza basáltica. Contudo, também podem ser encontrados em menor quantidade afloramentos de rochas intermédias, resultantes da diferenciação e evolução de magmas básicos. Para além deste ocorrem ainda afloramentos de rochas calcárias (areias e arenitos), formados essencialmente por fragmentos de conchas, sobretudo em zonas costeiras.

A formação das ilhas passou por várias fases, separadas por longos períodos de repouso, marcadas por intensa actividade erosiva, como se pode verificar, na sequência estratigráfica, a existência de depósitos sedimentares cobertos por mantos basálticos e extensas redes de diques e filões em praticamente todas as ilhas do arquipélago.

Segundo Ramalho (2009), as actividades vulcânicas que levaram à formação do Arquipélago de Cabo Verde não ocorreram de forma contínua, o que explica o facto de as ilhas terem idades relativamente diferentes, ou seja, não se formaram todas ao mesmo tempo. As ilhas orientais (Sal, Boa Vista e Maio) foram as primeiras a se formar, há aproximadamente 22 Ma, no Miocénico, como se pode verificar na geologia da sua superfície. O grupo das ilhas ocidentais começou a formar-se há cerca de 10-8 Ma, no período Mio-Pliocénico, dando origem ao alinhamento do noroeste (Santo Antão, São Vicente, São Nicolau, Santa Luzia e os ilhéus) e ao alinhamento do sudoeste (Santiago, Fogo e Brava), de acordo com Holm et al. (2008).

A maior parte da litologia do arquipélago é normalmente constituída por materiais basálticos alcalinos e seus produtos derivados, sobretudo as formações pós-mesozóicas que possuem uma natureza predominantemente máfica, formados por silicatos subsaturados, com destaque para os basanitos, tefritos e nefelinitos (Davies et al., 1989); (Jorgensen e Holm, 2002); (Holm et al., 2006) e (Duprat et al., 2007). Quando se formam em profundidades consideráveis, o grau de fusão parcial do manto é baixo, por isso formam-se rochas ultramáficas, como os peridotitos (Plesner, 2002).

As formações mais evoluídas de um ponto de vista magmático representam uma pequena percentagem do volume total dos afloramentos, com excepção da ilha da Boa Vista e da Brava, onde os fonólitos têm alguma representação na estrutura das respectivas ilhas (Bebiano, 1932) e (Madeira et al., 2010).

A presença de rochas intrusivas (núcleos plutónicos que variam desde gabros a sienitos) também é rara, aflorando com mais frequência nas ilhas antigas e erodidas, podendo também ser localmente encontradas em várias outras ilhas (Bebiano, 1932).

Entretanto, na ilha do Maio destaca-se um complexo principal de rochas plutônicas, o maior do arquipélago, no centro da ilha (Stillman et al., 1982).

Na geologia do Arquipélago de Cabo Verde destaca-se a existência, com relativa abundância de carbonatitos nas ilhas de São Vicente, Maio, Santiago Fogo e Brava (Assunção et al., 1965); (Silva et al., 1981); (Kogarko et al., 1992); (Hoernle et al., 2001); (Jorgensen e Holm, 2002); (Holm et al., 2006); (Mourão et al., 2010); (Mata et al., 2010) e (Madeira et al., 2010). Nota-se que esta é uma característica que é muito rara entre as ilhas oceânicas. Acredita-se que em alguns casos, esses carbonatitos podem funcionar como agentes metassomáticos, influenciando a evolução geoquímica de alguns dos magmas silicatados do arquipélago (Martins et al., 2010).

Na maioria das ilhas são encontradas formações vulcânicas recentes, resultantes de erupções em fases “pós-erosivas”, constituídas essencialmente por piroclastos e escoadas lávicas associadas, datando do Pliocénico e início do Quaternário (Plistocénico). Essas formações encontram-se muito bem representadas em praticamente todas as ilhas, com excepção das ilhas do Maio e da Boa Vista (Plesner et al., 2003); (Torres et al., 2002); (Duprat et al., 2007) e (Holm et al., 2008).

Apesar de todo o arquipélago ser considerado um território de risco vulcânico, as erupções históricas apenas são registadas na ilha do Fogo, com destaque para as três últimas (1951, 1995 e 2014), que foram alvo de acompanhamento e estudo mais aprofundados. Geralmente, essas actividades resultam da erupção de magmas pouco evoluídos, de fraca viscosidade, por isso apresentam uma tendência estromboliana a havaiana. De acordo com as descrições apresentadas por Ribeiro (1960), é possível efectuar uma correlação estratigráfica entre os diferentes cones e escoadas lávicas, bem como a elaboração de uma cartografia histórica dessas erupções.

Segundo (Holm et al., 2008), a interpretação da evolução geológica do Arquipélago de Cabo Verde requer uma análise detalhada e precisa de dados referentes a todas as ilhas. Esse estudo, ao longo dos tempos, tem sido feito essencialmente com base em comparações simples de dados paleontológicos, da litologia e a determinação de idades radiométricas de rochas vulcânicas em apenas algumas ilhas, designadamente para as ilhas de Maio (Mitchell et al., 1983) e (Grunau et al., 1975); Fogo (Lancelot e Allègre, 1974); Santiago, Brava e Maio (Bernard-Griffiths et al., 1975); Sal (Torres et al., 2002) e Fogo (Madeira et al., 2005) e (Foeken et al., 2009).

Entretanto, mais recentemente publicaram-se vários artigos sobre a determinação das idades absolutas das formações vulcânicas, a partir da análise isotópica de  $Ar^{39}$  e  $Ar^{40}$ , para as ilhas de Santo Antão (Plesner et al., 2003); São Nicolau (Duprat et al., 2007); São Vicente, São Nicolau e Santiago (Bosse et al., 2007); Santiago, Sal e São Vicente

(Holm et al., 2008); Santiago e São Nicolau (Ramalho et al., 2010b); Brava (Madeira et al., 2010) e Boa Vista (Dyhr e Holm, 2010). Essas informações permitem uma melhor compreensão dos fenómenos relacionados com a origem e evolução geológica do Arquipélago de Cabo Verde, levantando a hipótese de que a principal actividade vulcânica, das várias ilhas, ocorreu significativamente mais tarde do que no Miocénico, como foi proposto por Serralheiro (1976), Mitchell et al. (1983), Gerlach et al. (1988), Davies et al. (1989) e Abranches et al. (1990), tendo em consideração uma perspectiva de evolução geológica no contexto de um vulcanismo do tipo *hot-spot* e numa placa litosférica semi-estacionária.

As informações sobre a cronologia e as datações são essencialmente importantes para a compreensão dos processos de construção de uma determinada ilha, nomeadamente na determinação das taxas de movimento vertical da litosfera e a evolução temporal do magmatismo (geoquímica), melhorando consideravelmente os conhecimentos sobre a geologia, petrologia e geoquímica de cada uma das ilhas e a nível do Arquipélago de Cabo Verde em geral (Madeira et al., 2010).

As ilhas apresentam diferenças significativas na sua geologia de superfície, devido essencialmente às diferenças de idade, erosão e à influência de outros processos geológicos ao longo dos tempos, nomeadamente o soerguimento e subsistência (Ramalho, 2009). Segundo Madeira et al. (2010), esta região foi submetida a importantes movimentos verticais de soerguimento, o que explica a existência de afloramentos à superfície de formações submarinas muito antigas, como por exemplo a ocorrência de basaltos do tipo MORB em Santiago e Maio (De Peape et al., 1974); (Gerlach et al., 1988) e (Millet et al., 2008); sedimentos provavelmente do Cretácico inferior na ilha do Maio (Azéma et al., 1990) e (Holm et al., 2008); presença de *pillow-lavas*, hialoclastitos e diferentes níveis de praia em várias ilhas; e a elevação de lavas alcalinas submarinas em diversas ilhas, com particular destaque para a ilha de Santiago, onde atinge aproximadamente 450 metros acima do nível do mar (Serralheiro, 1976) e (Holm et al., 2008). O estudo das características dessas formações rochosas fornece informações importantes sobre as propriedades químicas do manto (Millet et al., 2008), permitindo um melhor conhecimento dos fenómenos relacionados com a origem do arquipélago.

Ao longo dos tempos, os estudos feitos por várias instituições e investigadores revelaram-se muito importantes, na medida em que têm contribuído para facilitar a compreensão da origem, composição química e evolução geológica do Arquipélago de Cabo Verde, enquadrado no contexto das ilhas vulcânicas. De todas essas contribuições, destacam-se os trabalhos de Bebiano (1932) e de Serralheiro (1976), bem como investigações mais recentes levadas a cabo por Alberto da Mota Gomes, da Universidade de Cabo Verde, e vários outros investigadores da Faculdade de Ciências

da Universidade de Lisboa (FCUL) e do Instituto da Investigação Científica Tropical (IICT), que culminaram na publicação de vários trabalhos científicos (artigos e cartas geológicas), com referências sobre a natureza geológica das ilhas do Arquipélago de Cabo Verde.

Deste modo, a maior parte do arquipélago encontra-se cartografada do ponto de vista geológico, com excepção das ilhas de São Vicente, Santo Antão e Boa Vista, com apenas um levantamento e esboço geológico. Quanto às ilhas de Maio, Fogo e Brava as respectivas cartas geológicas necessitam de revisão, de modo a se enquadrarem melhor com os aspectos gerais de geologia e estratigrafia comparada do arquipélago.

Relativamente à Santa Luzia, por ser a mais pequena e a única ilha desabitada do arquipélago, não há muitas publicações com informações geológicas, sendo a principal referência “ A Geologia do Arquipélago de Cabo Verde” (Bebiano, 1932). Contudo, investigações recentes feitas pela “Missão Geológica da FCUL à Ilha de Santa Luzia, em 2008”, pelos geólogos António Brum da Silveira, José Madeira e João Mata, permitiram a recolha de várias informações, com destaque para o levantamento geológico, que vai ser utilizado como base de estudo, neste projecto, para a elaboração da cartografia geológica da ilha de Santa Luzia.

Nessas investigações, em complemento ao trabalho de campo, são recolhidas várias amostras de rochas nas quais são feitos, em laboratório, estudos mineralógicos, geoquímicos e petrológicos, fornecendo informações adicionais, que podem ser divulgadas na nota explicativa da carta geológica produzida. Por outro lado, esses trabalhos também têm como objectivos a caracterização geomorfológica e hidrogeológica, bem como a avaliação dos georecursos com potencial económico rentável.

A sequência estratigráfica Vulcano-Sedimentar das ilhas, proposta por (Serralheiro 1976), que tem sido utilizada por investigadores como (Alves et al., 1979), (Mota Gomes et al., 2009), que apresentou um quadro estratigráfico comparativo das ilhas e várias outras investigações mais recentes, que confirmam a ocorrência de fenómenos geológicos desde o Jurássico-Cretácico, sendo mais antigas as rochas sedimentares calcárias existentes na ilha do Maio, até à actualidade, sedimentos do Quaternário, constituídos por areias, aluviões, dunas, depósitos de vertentes e de enxurradas, bem como o material vulcânico, resultante de erupções recentes na ilha do Fogo.

Sequência estratigráfica Vulcano-sedimentar das ilhas de Cabo Verde:

1. Sedimentos Jurássicos
2. Sedimentos Cretácicos
3. Sedimentos paleogénicos
4. Complexo Eruptivo Interno Antigo (Paleogénico/Miocénico)
5. Sedimentos Miocénicos
6. Derrames submarinos Miocénicos
7. Depósitos de Conglomerados brechóides (Miocénicos)
8. Formações traquíticas miocénicas
9. Complexo Eruptivo Principal (Mio-Pliocénico)
10. Derrames Pliocénicos
11. Cones de Piroclastos e escoadas (Pliocénico-Quaternário)
12. Sedimentos Plistocénicos
13. Sedimentos e piroclastos Holocénicos

Seguidamente apresenta-se a descrição resumida de cada uma das unidades geológicas identificadas por Serralheiro (1976):

### **I – Sedimentos Jurássicos**

Representa a formação rochosa mais antiga do Arquipélago, sendo constituída essencialmente por Calcários antigos, com silexito. Normalmente apresentam um aspecto compacto, com textura fina, de cor esbranquiçada a cinzento e por vezes, em alguns locais, encontram-se metamorfizados, passando a mármore e corneanas (Serralheiro, 1970).

### **II – Sedimentos Cretácicos**

São constituídos por calcários compactos com silexito mas, sobrepostos por formações margosas e argilosas. Esta formação é muitas vezes afectada pela ocorrência de intrusões lávicas, que contribuem para a metamorfização dos calcários (Serralheiro, 1970).

### **III – Sedimentos Paleogénicos**

Formados por argilas, margas e calcários margosos, os sedimentos paleogénicos, à semelhança das duas formações anteriores, são encontrados apenas na ilha do Maio. Por outro lado, o facto de serem conhecidas rochas basálticas típicas de regiões da crista médio-oceânica (*pillow-lavas* do tipo MORB) e a inexistência da formação vulcânica mais recente na estratigrafia das ilhas, formada por cones de piroclastos e escoadas associadas, reforça a ideia de que a ilha do Maio é a mais antiga do arquipélago.

#### **IV – Complexo Eruptivo Interno Antigo (Paleogénico/Miocénico)**

Presente em todas as ilhas, este complexo é constituído por formações geológicas que correspondem às primeiras evidências (mais antigas) de actividades vulcânicas da parte emersa do Arquipélago de Cabo Verde.

Normalmente se encontram bastante alterados, sendo constituídos por várias subunidades, da mais antiga (a) para a mais recente (f):

- a) Complexo filoniano de base, formado essencialmente por material basáltico;
- b) Intrusões de rochas granulares;
- c) Brechas;
- d) Intrusões e extrusões fonolíticas e traquíticas;
- e) Carbonatitos;
- f) Intrusões e extrusões fonolíticas.

#### **V – Sedimentos Miocénicos**

Segundo Alves et al. (1979), os sedimentos miocénicos são formações conglomeráticas encontradas apenas nas ilhas de Santiago, Maio, São Nicolau e Boa Vista, não sendo identificadas formações correspondentes na estratigrafia das restantes ilhas do Arquipélago.

#### **VI – Derrames Submarinos Miocénicos**

Formação constituída essencialmente por mantos, brechas e piroclastos básicos, que geralmente se originam em ambiente submarino, assentando, em discordância, sobre o Complexo Eruptivo Interno Antigo. O seu maior grau de alterabilidade faz com que actualmente sejam bastante diferentes dos *pillow-lavas* que caracterizam os derrames submarinos mais recentes.

Caracterizam-se pela existência de “pillow-lavas” bastante alteradas, que por vezes se encontram associados a piroclastos, num processo de autobrechificação importante (hialoclastitos). Normalmente apresentam o aspecto semelhante a argilas, de coloração cinzenta, azulada e amarela.

#### **VII – Depósitos Conglomerático-Brechóides (Miocénicos)**

Correspondem a fases de intensa actividade sedimentar no arquipélago, formando extensas camadas de conglomerados brechóides. Estas formações foram identificadas na estratigrafia de todas as ilhas, com a excepção de Fogo e Brava.

## VIII – Formações Traquíticas Miocénicas

Essas formações correspondem a pequenos afloramentos de rochas neutras, que resultam possivelmente da diferenciação de magmas básicos, sendo registadas em apenas algumas ilhas do arquipélago, nomeadamente Santiago e Boa Vista

## IX – Complexo Eruptivo Principal (Mio-Pliocénico)

Como o próprio nome sugere, é a principal unidade geológica, a mais espessa e mais extensa, que se encontra muito bem representada em todas as ilhas do arquipélago. A sua génese está relacionada com actividades vulcânicas explosivas e efusivas, subaéreas e submarinas, ocorridas em diferentes épocas e por vezes separadas por longos períodos de acalmia.

A sua presença é bastante notória nas ilhas, ocupando grande parte da sua superfície, nomeadamente os maciços que constituem as achadas e a maior parte do relevo montanhoso das ilhas.

Do ponto de vista hidrogeológico, são fundamentais para a circulação e armazenamento das águas subterrâneas, constituindo mesmo o aquífero principal em todas as ilhas do arquipélago.

Deste complexo geológico, podemos destacar o Complexo Eruptivo de Pico d'Antónia, na ilha de Santiago, que se encontra melhor estudado, de acordo com Serralheiro (1976), Alves et al. (1979) e Mota Gomes *et al.* (2009), não havendo diferenças muito significativas em relação às outras ilhas do arquipélago.

Deste modo apresentamos, em esquema (Tabela 2), as principais formações do Complexo Eruptivo Principal, da unidade mais antiga (a) para a mais recente (d):

**Tabela 2:** As principais formações de fácies terrestre e marinha do complexo eruptivo principal (Serralheiro, 1976)

Episódios Magmáticos e Sedimentares Subaéreos (Fácies Terrestre)	Episódios Magmáticos e Sedimentares Submarinos (Fácies Marinha)
a) Mantos subaéreos e alguns níveis de piroclastos intercalados	Lavas submarinas em almofadas (inferiores)
.....	Conglomerados e calcarenitos fossilíferos
.....	Lavas submarinas em almofadas (superiores)
.....	Conglomerados e calcarenitos fossilíferos
b) Fonólitos, Traquitos e rochas afins	.....
c) Tufo-Brechas	.....
d) Mantos subaéreos e alguns níveis de piroclastos intercalados	.....

## **X – Derrames Pliocénicos**

Identificados nas ilhas de Santiago, São Nicolau, Fogo e Santo Antão, os derrames Pliocénicos, correspondem à ocorrência de importantes actividades vulcânicas posteriores à formação do Complexo Eruptivo Principal, depois de um período relativamente longo de acalmia. Geralmente são constituídos por mantos de lavas basálticas, exclusivamente subáreas, que raramente possuem piroclastos associados (Alves et al., 1979).

## **XI – Cones de Piroclastos e Escoadas Plio-Quaternárias**

Correspondem às últimas fases de manifestação vulcânica no Arquipélago de Cabo Verde e se caracterizam pela formação de numerosos e pequenos cones de piroclastos basálticos e alguns derrames de escoadas lávicas associadas.

Com a excepção da ilha do Maio, esta unidade geológica, formada entre o Pliocénico e o início do Quaternário, é identificada em todas as restantes ilhas do arquipélago. Contudo, as formações resultantes das últimas erupções ocorridas recentemente na ilha do Fogo (1951, 1995 e 2014) também são enquadradas nesta unidade geológica.

## **XII – Sedimentos Plistocénicos**

De acordo com Serralheiro (1976), Alves et al. (1979) e Mota Gomes (2007), esses sedimentos correspondem as formações sedimentares do Quaternário (Plistocénico), constituídos essencialmente por dunas fósseis e níveis de praia. Normalmente estão presentes em todas as ilhas do arquipélago.

## **XIII – Sedimentos, Piroclastos e Escoadas Holocénicas**

Representam as formações sedimentares recentes do Quaternário (Holocénico), constituídos sobretudo por areias, dunas, depósitos de vertentes e de enxurradas. Essas formações são abundantes em todas as ilhas, sendo muito vulgares a ocorrência de dunas, constituídas fundamentalmente por areias calcárias que têm origem das praias, sobretudo nas ilhas mais antigas do arquipélago (Serralheiro, 1976).

## Capítulo 3

### 3. Enquadramento Fisiográfico e Geologia de Santa Luzia

#### 3.1. Localização Geográfica

A ilha de Santa Luzia localiza-se a norte do Arquipélago de Cabo Verde, no grupo das ilhas do Barlavento, numa distância aproximada de 9 km a sudeste de São Vicente e 29 km a noroeste de São Nicolau. Com uma área aproximada de 35 km<sup>2</sup> a ilha é limitada pelo paralelo 16°45'41" de latitude norte e os semimeridianos 24°22'38" e 24°44'38" de longitude oeste de Greenwich.

A sua pequena dimensão e excessiva aridez do clima são razões que contribuem para que esta seja a única ilha desabitada do Arquipélago de Cabo Verde. Contudo, existem testemunhos de que, no século XVIII a XIX, Santa Luzia foi habitada por uma pequena população de pastores e pescadores que, com a diminuição da precipitação no arquipélago ao longo dos tempos, acabaram por abandonar a ilha devido a secas extremas.

#### 3.2. Alguns dados sobre a História e Cultura da Ilha

Localizado a cerca de 9 km a sudeste de São Vicente, a ilha de Santa Luzia foi descoberta por volta do ano de 1462, pelo navegador português Diogo Afonso, em conjunto com os seus ilhéus e as outras ilhas vizinhas (na parte norte do arquipélago). Contudo, segundo alguns relatos, é provável que as ilhas do Arquipélago de Cabo Verde, e Santa Luzia em particular, tenham sido avistadas e mesmo visitadas, anteriormente, por alguns navegadores islâmicos, provenientes sobretudo do Senegal, sem contudo efectuar nenhum registo escrito dessa ocorrência.

Apesar de todas as adversidades naturais, no século XVIII e XIX, Santa Luzia chegou a ter uma população de cerca de vinte pessoas, que se dedicavam essencialmente a actividades como a pesca, agricultura, pecuária e extracção da urzela (um líquen a partir do qual se obtinha uma tinta violeta, muito valorizada na época). A grande procura de produtos, como a carne, peixe, couro, produtos lácteos e cavalos, considerados de boa qualidade, e o comércio da urzela são razões que fizeram da ilha um ponto de reconhecida importância na economia do arquipélago, sendo mesmo, algumas vezes, alvo de contratos de arrendamentos.

Entretanto, todas as tentativas de povoamento desta ilha falharam devido, essencialmente, ao clima árido e à falta de água, que conduziram a sucessivos períodos

de seca e de fome, um pouco por todo o arquipélago. Perante essas dificuldades encontradas, várias iniciativas foram levadas a cabo, no sentido de incrementar a implementação de projectos relacionados com o desenvolvimento da pesca, pecuária, e agricultura de sequeiro, sendo todas infrutíferas, pois as condições naturais desta região não possibilitaram a sua realização. Por outro lado, também se chegou a considerar a possibilidade de transformar a ilha de Santa Luzia num centro prisional de alta segurança, da colónia portuguesa, destinado a delinquentes e criminosos, especialmente aos presos condenados por crimes políticos contra o regime colonial e fascista. Porém, este projecto não foi levado adiante, sendo mais tarde concretizado com a construção do estabelecimento prisional, campo de concentração, do Tarrafal, na ilha de Santiago, de má memória para muitas famílias.

Segundo Almeida (2004) a seca que afectou o arquipélago, entre 1831 e 1833, provocou uma grande vaga de fome, em todas as ilhas, e contribuiu para o afastamento da população, pois com o desaparecimento de praticamente todo o gado, a frágil economia da ilha ficou completamente destruída. Desde então, Santa Luzia tornou-se num território desértico e num estado de abandono permanente, explorada por algumas famílias de pastores, pescadores e sazonalmente por alguns proprietários não residentes.

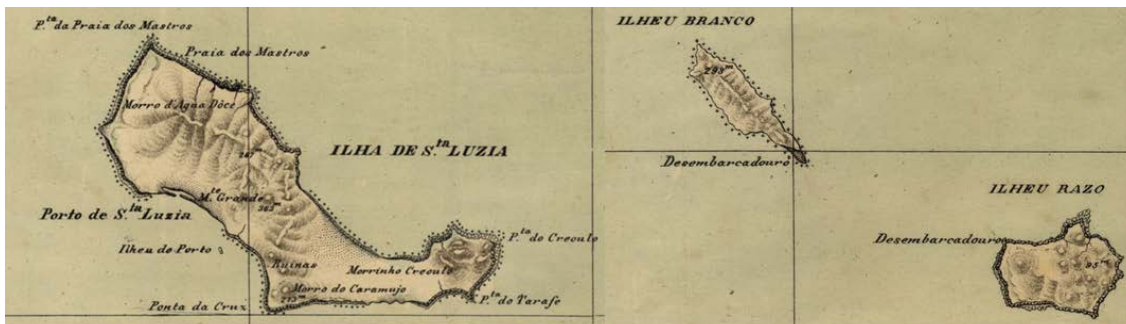
Relativamente às investigações científicas e representações cartográficas não há muitas informações sobre este território. Contudo, existem alguns relatos de estudos antigos, nomeadamente os de Friedlaender (1913), que na sua viagem/visita de investigação ao Arquipélago de Cabo Verde, em 1912, desenvolveu alguns estudos relacionados com as linhas hidrográficas e apresentou um esboço topográfico (Figura 3.1), corrigindo alguns aspectos do esboço que existia anteriormente. As investigações de Friedlaender também apresentam uma breve descrição da geologia do arquipélago, com referência a pelo menos três formações vulcânicas, três formações sedimentares e alguns acidentes tectónicos. No entanto o trabalho das diferentes missões de investigação no arquipélago continuaram, nomeadamente a Comissão Cartográfica de Cabo Verde que, ao longo de décadas publicou vários modelos cartográficos representando o território das ilhas, sendo a Figura 3.2 um dos exemplos para a ilha de Santa Luzia.

Do ponto de vista geológico, muito pouca coisa se fez, desde então, sendo a publicação mais relevante "*A Geologia do Arquipélago de Cabo Verde*", por Bebiano (1932), membro da Missão Geográfica de Cabo Verde, que aproveitando os dados dos levantamentos topográficos, disponibilizados nas cartas topográficas, publicadas pela Missão Cartográfica, aprofundou as suas investigações na área da geologia e apresentou as informações de forma mais ou menos coerente, de acordo com as normas científicas da época. Esta publicação contém um esboço geológico, a preto e

branco, de difícil leitura e interpretação que, mesmo assim, durante muito tempo serviu como guia para a realização de todos os estudos relacionados com a geologia de Cabo Verde e da ilha de Santa Luzia em particular.



**Figura 3.1:** Esboço cartográfico da ilha de Santa Luzia e dos ilhéus (1/100 000) (Friedlaender, 1913)



**Figura 3.2:** Esboço Cartográfico de Santa Luzia e dos ilhéus Branco e Raso (1/80 000) - Comissão de cartografia de cabo verde, 1916



**Figura 3.3:** Carta agrícola da ilha de Santa Luzia (Teixeira e Barbosa, 1958)

Com base nas cartas topográficas, Teixeira e Barbosa (1958) elaboraram as cartas agrícolas das ilhas (Figura 3.3), indicando suas potencialidades e limitações,

nomeadamente as zonas mais apropriadas para a agricultura de sequeiro, regadio, pastagens, matas, dunas e salgados. Este trabalho revela algum conhecimento da constituição litológica da ilha de Santa Luzia, fazendo também referência às sub-regiões climáticas, com predomínio essencialmente da sub-região árida, onde a fertilidade natural do solo é fortemente condicionada pela fraca precipitação que ocorre neste território.

A partir da década de 60 do século XX, a Junta de Investigação do Ultramar, através das diferentes missões científicas, realizou investigações em várias áreas, que culminou com a publicação de muitos artigos e cartas que, em conjunto, constituíram um instrumento importantíssimo no planeamento, gestão dos recursos, monitorização e ocupação dos territórios, em função dos diferentes objectivos determinados. Contudo, relativamente à ilha de Santa Luzia, a elaboração de muitos desses estudos foi considerada desnecessária e insustentável, devido ao facto desta ser uma ilha desértica onde a aridez do clima constitui um sério constrangimento à fixação da população.

Actualmente esta ilha pertence à região administrativa do município de São Vicente. No ano de 1990, Santa Luzia foi declarada pelo Governo de Cabo Verde como património público, sendo considerada uma reserva natural do arquipélago. Trata-se da única ilha desabitada, constituindo, juntamente com os ilhéus Branco e Raso, uma reserva natural integral de Cabo Verde, onde podemos encontrar, para além do espaço geofísico, uma biodiversidade muito rica, nomeadamente uma importante população de aves, tartarugas marinhas e répteis endémicos, que devem ser protegidos, de acordo com a legislação em vigor.

Actualmente, a ilha é frequentemente visitada por turistas, investigadores e sobretudo por pescadores, provenientes das ilhas vizinhas de São Vicente, Santo Antão e São Nicolau, que exploram os diferentes recursos existentes na ilha, principalmente os recursos marinhos, como forma de subsistência.

### **3.3. Clima**

À semelhança de todo o arquipélago, a ilha de Santa Luzia apresenta um clima tropical seco, com duas estações distintas, a seca ou estação das brisas e a húmida, que também é designada de estação das chuvas (ou das águas).

Sendo a ilha desértica e desabitada, são muito escassas as informações sobre o clima, pois não existem estações meteorológicas que cobrem esta área do arquipélago e, por isso, torna-se muito difícil de monitorizar ao longo dos tempos os elementos

climáticos, nomeadamente a precipitação, velocidade do vento, temperatura e humidade atmosférica, que forneceriam um conjunto de informações fundamentais para a caracterização do clima da região. Contudo, o clima também pode ser influenciado por vários outros factores naturais, nomeadamente as características fisiográficas, a cobertura vegetal e a exposição das vertentes em relação aos ventos dominantes.

A ilha de Santa Luzia apresenta um clima bastante árido durante praticamente todo o ano, estando muito exposta à erosão. A pequena dimensão da ilha, a fraca precipitação e a influência do litoral acentuam ainda mais a tendência para a desertificação, sendo que nem mesmo as vertentes com orientação favorável em relação aos ventos alíseos do nordeste conseguem contrariar esta tendência.

Os períodos de precipitação são muito escassos, havendo mesmo anos em que é praticamente nula, mas quando acontece, por vezes, apresenta um carácter torrencial, o que acentua o efeito erosivo provocado pelas águas de escorrência superficial. Segundo Bebian (1932), na época em que a ilha era povoada, Santa Luzia dispunha de um única nascente de água doce que servia para o abastecimento dos poucos habitantes e dos animais que existiam na ilha.

Relativamente aos recursos hídricos subterrâneos, tendo em conta a escassa precipitação, o potencial hidrogeológico da ilha não é considerado sustentável. Por esta razão, e devido ao facto não haver habitantes, não se justifica a realização de estudos no sentido de pesquisar e explorar esse recurso.

Com a excepção das espécies sazonais e temporárias, que normalmente crescem logo depois da ocorrência das precipitações, a vegetação é praticamente inexistente, limitando-se apenas a algumas espécies endémicas, com características típicas de regiões desérticas. Essas espécies devem ser preservadas, em cumprimento dos objectivos estabelecidos no Decreto-Lei 79/III/90 (Boletim Oficial da República de Cabo Verde) que determina a ilha de Santa Luzia e os ilhéus Branco e Raso como uma área protegida do arquipélago.

Deste modo, podemos concluir que a ilha de Santa Luzia apresenta um clima completamente árido e com algumas semelhanças aos climas desérticos, onde as elevações existentes não possuem as dimensões e altitudes suficientes para criar o efeito microclimático necessário para a geração de precipitações e a manutenção de uma cobertura vegetal permanente neste território.

### **3.4. A Geologia da Ilha de Santa Luzia**

#### **3.4.1. Estudos anteriores à Missão PLINT**

Do ponto de vista geológico, a ilha de Santa Luzia encontra-se praticamente desconhecida da comunidade científica, pois pouca coisa tem sido feita nesta área, sendo a única publicação relevante “*A Geologia do Arquipélago de Cabo Verde*”, por J. B. Bebiano (1932) que, com base no reconhecimento geológico efectuado em 1930/1931, apresentou várias informações sobre a génese, natureza e relação cronológica das diferentes formações geológicas existentes na ilha. Esta publicação apresenta ainda um esboço geológico a preto e branco, a uma escala reduzida e de difícil leitura e interpretação (Figura 3.4).

Segundo Bebiano (1932) a ilha de Santa Luzia é constituída essencialmente por rochas ígneas intrusivas e extrusivas, predominantemente basálticas, afectadas por uma rede de filões e por intrusões de rochas mais evoluídas, designadamente monzonitos e fonólitos. Também são identificados pequenos afloramentos de outras rochas intermédias como os andesitos, sienitos e dioritos, sobretudo nas regiões mais elevadas da ilha. Sobre estas formações vulcânicas ocorrem sequências sedimentares quaternárias, de fácies marinha e terrestre.

Este trabalho, apesar de estar desactualizado, serviu durante muito tempo como guia e ponto de partida para a realização de todos os estudos relacionados com a caracterização fisiográfica e geológica de Cabo Verde e de Santa Luzia em particular.

Na década de 60 do século XX, com a criação da Missão Geológica de Cabo Verde, deu-se um novo rumo às investigações sobre a geologia do arquipélago e várias publicações foram feitas em áreas como a vulcanologia, petrologia, geoquímica e vulcano-estratigrafia, incluindo a publicação das cartas geológicas de algumas ilhas. No entanto, o facto de Santa Luzia ser uma ilha desértica fez com que não houvesse grande interesse em avançar com as investigações neste território, criando uma grande lacuna no conhecimento da geologia do Arquipélago de Cabo Verde.

#### **3.4.2. Estudos Geológicos da Missão PLINT**

Mais recentemente, em 2008, realizou-se uma Missão Geológica da FCUL com o objectivo de investigar a interacção pluma-litosfera e compreender melhor a história geológica relacionada com a origem e evolução das ilhas de Cabo Verde. Apesar das dificuldades inerentes à inospitalidade da ilha, esta equipa efectuou o levantamento geológico da ilha de Santa Luzia que, em conjunto com outros estudos, permitiu a



elaboração da cartografia geológica da ilha. Entretanto, em complemento aos objectivos desta Missão, efectuou-se o processamento das informações mais relevantes, possibilitando a definição de novas unidades vulcano-estratigráficas e a construção da cartografia geológica actualizada da ilha, cujos processos de edição são descritos ao longo deste trabalho.

A concepção do novo Mapa Geológico da ilha de Santa Luzia, na escala 1:15.000, foi baseada numa abordagem na qual se definiram três tipos de unidades, ou categorias estratigráficas, nomeadamente: Unidades Litoestratigráficas, Unidades Litosomáticas e Unidades Sintémicas. Com esta estruturação pretendeu-se evidenciar a complexidade da evolução espacial e temporal do sistema vulcânico de Santa Luzia, o qual está provavelmente associado ao sistema vulcânico e magmático de S. Vicente.

A abordagem adoptada pela equipa que realizou a Missão PLINT em 2008 enquadra-se numa metodologia que tem vindo a ser aplicada por vários autores em trabalhos de cartografia geológica de regiões vulcânicas. Entre estes destacam-se o Mapa Geológico do Vulcão Etna, na escala 1:50.000 (Branca et al., 2011) e os trabalhos incluídos em (Groppelli e Viereck-Goette, 2010).

Durante os trabalhos de campo realizados em Santa Luzia foram reconhecidas as principais unidades litoestratigráficas (Formações e/ou Membros) e identificadas as principais inconformidades regionais (presentes à escala da ilha). Assim as unidades litoestratigráficas foram agrupadas em Sintemas, ou *UBU's*, que reflectem os produtos originados durante as principais etapas de construção e destruição insular. Por sua vez, através da análise da morfologia, estrutura vulcânica e localização de fissuras e/ou bocas eruptivas, foi possível identificar diferentes sectores do edifício vulcânico de Santa Luzia, definindo-se as unidades litosomáticas (Litosomas).

No sentido de tornar mais claro o significado de termos utilizados no presente trabalho, para a descrição do modelo litoestratigráfico da ilha, apresentam-se as seguintes definições, que seguem as normas oficiais utilizadas para a estratigrafia ([www.stratigraphy.org/upload/bak/litho.htm](http://www.stratigraphy.org/upload/bak/litho.htm)):

1. **Unidades Litoestratigráficas** (*Lithostratigraphic Units*) - Trata-se de unidades que representam um “corpo rochoso definido e reconhecido com base nas suas características ou propriedades litológicas e suas relações estratigráficas”. A dispersão geográfica de uma unidade litoestratigráfica é controlada exclusivamente pela continuidade de suas características litológicas diagnosticadas.
2. **Unidades Litosomáticas** (*Lithosomatic Units*) - Litosoma é um termo morfo-estratigráfico que, em regiões vulcânicas, engloba o conceito de "edifício

vulcânico. Trata-se, portanto, de uma forma de classificação estratigráfica em que as unidades são definidas de acordo com o seu significado morfoestrutural.

3. **Unidades Sintémicas** (*Synthetic Units*) - representam unidades litoestratigráficas limitadas por Inconformidades, por isso, são também designadas por *Unconformity Bounded Units (UBU)*. Geralmente correspondem aos grandes grupos ou complexos vulcânicos, que quase sempre apresentam-se divididos em subunidades.

O quadro da Figura 3.5 ilustra o modelo de classificação proposto pela International Commission on Stratigraphy (ICS), de acordo com as publicações online da Stratigraphic Guide.

Stratigraphic Categories	Principal Stratigraphic Unit-terms	
Lithostratigraphic	Group Formation Member Bed(s), Flow(s)	
Unconformity-bounded	Synthem	
Biostratigraphic	Biozones: Range zones Interval zones Lineage zones Assemblage zones Abundance zones Other kinds of biozones	
Magnetostratigraphic polarity	Polarity zone	
Other (informal) stratigraphic categories (mineralogic, stable isotope, environmental, seismic, etc.)	-zone (with appropriate prefix)	
		Equivalent Geochronologic Units
Chronostratigraphic	Eonothem Erathem System Series Stage Substage (Chronozone)	Eon Era Period Epoch Age Subage (or Age) (Chron)

*\* If additional ranks are needed, prefixes Sub and Super may be used with unit-terms when appropriate, although restraint is recommended to avoid complicating the nomenclature unnecessarily.*

**Figura 3.5:** Modelo de classificação proposto pela International Commission on Stratigraphy (ICS). Retirado de ([www.stratigraphy.org/upload/bak/princ.htm#table1](http://www.stratigraphy.org/upload/bak/princ.htm#table1)).

### 3.4.3. Modelo Litoestratigráfico proposto para Santa Luzia

Tendo em conta o modelo proposto anteriormente, passa-se à classificação e descrição das principais unidade litoestratigráficas da ilha de Santa Luzia, apresentando-as da mais antiga para a mais recente:

#### SINTEMA DE MONTE CREOULO

Idade Provável (Época): Miocénico Superior

Unidade Litosomática: Edifício Submarino de Santa Luzia

Correlação com S. Vicente “Basal Complex (Submarine Edifice) (bc)”

Unidade Litoestratigráfica: **Formação de Monte Creoulo** – *FmMC*

#### Formação de Monte Creoulo

Os afloramentos desta formação localizam-se apenas no sector oriental da ilha e representam a unidade litoestratigráfica mais antiga, que corresponde a uma fase proto insular, onde o vulcanismo ocorreu provavelmente em ambiente submarino, emergindo para dar origem à primeira fase de construção da ilha de Santa Luzia.

A formação de Monte Crioulo encontra-se muito alterada e cortada por uma densa rede de filões, com direcção preferencial entre N50W e N60W, apresentando uma estrutura do tipo “dique-em-dique”. Nesta formação, sobretudo no sector NE, a densidade dos filões é tão grande que é muito difícil distinguir os filões intrusivos das rochas encaixantes (Figura 3.6), o que torna muito difícil de identificar e distinguir os produtos vulcânicos que estiveram na sua origem. Por esta razão, considera-se esta região como uma única formação geológica.

Neste sector os efeitos da erosão são muito evidentes, pois as estruturas vulcânicas originais não se encontram preservadas. Contudo, admite-se a hipótese de uma origem hidromagmática, sendo possivelmente constituídos por brechas hialoclastíticas e *pillow-lavas* de natureza basáltica.

Esta formação encontra-se, em grande parte, coberta por dunas de areias calcárias e também por vários níveis de praias antigas consolidadas. Este facto deixa entender que, para além da actividade eólica, ao longo da história geológica da ilha ocorreram episódios de avanços e recuos da linha de costa relacionados com variações eustáticas e/ou levantamento da ilha.

De acordo com as observações microscópicas feitas pelo Doutor Luís Celestino Silva, em lâminas delgadas de amostras recolhidas na Missão PLINT, a Formação de Monte Creoulo apresenta as seguintes características petrológicas: trata-se de uma formação de natureza máfica, provavelmente basalto olivínico, sendo constituída essencialmente por fenocristais de olivina, bastante alterados ao longo das fracturas (grupo das serpentinas) e fenocristais de piroxenas augi-titaníferas, envolvidas numa matriz microgranular, mais grosseira, onde se destacam os cristalitos de opacos, bastonetes de plagioclases, piroxenas augi-titaníferas e abundantes cristais de anfíbolos (provavelmente clino-anfíbolos). Segundo Luís Celestino Silva observaram-se ainda alguns cristais de carbonatos xenomórficos corroídos, ou seja, encraves de carbonato de cálcio monocristalinos (xenocristais) que, à semelhança do que acontece na maioria das ilhas do Arquipélago de Cabo Verde, pode corresponder provavelmente a carbonatitos.

Contudo, de acordo com as investigações de Bebiano (1932), recorrendo a observações microscópicas e a dados de geoquímica, as rochas localizadas a sudoeste do Monte Creoulo são de natureza tefrítica, apresentando uma pasta microcristalina com cristalitos de feldspatos maclados (andesina e albite - 0,5 mm) e augite (cor violácea), com magnetite e alguma nefelina. Segundo o mesmo autor, ainda são encontrados localmente nesta região rochas mais evoluídas, de natureza neutra a félsica, como por exemplo rochas andesíticas localizadas a 1.000 metros a S40°W do Monte Creoulo e filões andesíticos (1 metro de possança) a sudoeste do Monte Creoulo (Figura 3.7); presença de doleritos (dolerito augítico) no Monte Creolulo; e de rochas plutónicas (intrusivas), como sienitos e dioritos, na praia de Chã de Roque, sob a forma de calhaus sub-angulosos, cuja origem relaciona-se provavelmente a zonas de cratera favoráveis à formação de textura holocristalina.

## **SINTEMA DE ROCHA NEGRA (SRN) - ROCHA NEGRA SYNTHEM**

Idade Provável (Época): Mio-Pliocénico

Unidade Litosomática: Edifício Subaéreo de Rocha Negra

Correlação com “Lower S. Vicente Edifice”

Unidade Litoestratigráfica: **Formação de Rocha Negra – FmRN**

### **Formação de Rocha Negra**

Corresponde à segunda fase de edificação do vulcão-escudo da ilha de Santa Luzia, marcado fundamentalmente pelo início das actividades vulcânicas em ambiente

subaéreo. Esta formação é constituída essencialmente por uma sequência muito espessa de derrames lávicos, predominantemente máficos, de natureza basáltica, com intercalação de finos níveis de piroclastos. Assentam em inconformidade sobre a Formação de Monte Creoulo, apresentando uma estrutura quase sempre sub-horizontal.

A Formação de Rocha Negra aflora com boa exposição no sector central da ilha, em particular nas vertentes íngremes (Figura 3.8) da região de Tope de Rocha Negra (de onde a formação assume o nome), Tope de Coladouro e Monte do Norte. Representa grande parte do volume vulcânico da ilha, aflorando desde o Monte Espia até ao Monte de Água Doce. À semelhança do que acontece com a formação de base, encontra-se cortada por filões abundantes (Figura 3.9) de direcção N40°W a N60°W (PLINT, 2008) que, por vezes, se desagregam segundo juntas paralelas, dando a impressão de uma falsa estratificação. Segundo Bebiano (1932) entre o Monte Água Doce e o Tope de Coladouro os filões têm uma direcção preferencial N-S e entre o Tope de Coladouro e o Tope de Freira a direcção NW-SE.

A transição entre a Formação de Monte Creoulo e a Formação de Rocha Negra não é muito evidente, ou seja, não se consegue detectar no terreno o contacto entre as duas formações, porque praticamente toda essa região se encontra coberta por uma grande diversidade de depósitos sedimentares (areias eólicas e depósitos de leque aluvial).

De acordo com as observações microscópicas feitas pelo Doutor Luís Celestino Silva em lâminas delgadas de amostras recolhidas na Missão PLINT, esta unidade integra rochas quase sempre de textura afanítica (pouco porfírica), constituída essencialmente por microfenocristais de opacos, piroxenas augi-titaníferos e bastonetes de plagióclases. A sua matriz, geralmente fina a mais ou menos grosseira, apresenta uma estrutura fluidal, constituída essencialmente por muitos grânulos de opacos, pequenos cristais de piroxenas augíticas (não sódicas), cristais prismáticos de plagióclases e vesículas preenchidas por minerais eolíticos e minerais densamente transformados em lamela (minerais castanho-amarelado do grupo das serpentinas/iddingsite), resultantes provavelmente da alteração da olivina ou da melilite. Esta formação enquadra-se no grupo das rochas basálticas, com minerais prismáticos alongados, provavelmente basalto olivínico.

Este tipo de rocha, geralmente de cor escura e compacta, apresenta uma característica muito invulgar junto ao Tope de Coxo ou Topinho de Nhô Lopes, que quando observado ao microscópio mostra uma pasta constituída por um aglomerado de augite (castanho violáceo), analcite, micrólitos de labrador e olivina serpentinizada. Esses basaltos quase sempre são atravessados por filões basálticos, com fenocristais de augite maclados e zonados (2 mm de comprimento). A augite da matriz se encontra

alterada e transformada em hornblenda, podendo também conter cristais alterados de hauina azul (Bebiano 1932).



**Figura 3.6:** Fotografia de afloramento da Formação do Monte Creoulo densamente intruída por filões.



**Figura 3.7:** Pormenor do enxame de filões com orientação WNW-ESSE intruídos na Formação do Monte Creoulo onde dificilmente se distingue o material encaixante.



**Figura 3.8:** Formação de Rocha Negra exposta na face noroeste do Tope de Rocha Negra.



**Figura 3.9:** Afloramento da Formação de Rocha Negra, constituído por um empilhamento de derrames máficos densamente recortados por filões (face nordeste do Monte do Norte).

### **SINTEMA DE TOPONA (ST) – TOPONA SYNTHEM**

Idade Provável (Época): Plio-Plistocénico

Unidade Litosomática: Edifício Subaéreo de Topona

Correlação com “Upper S. Vicente Edifício – Monte Verde Formation”

Unidade Litoestratigráfica: **Formação de Topona, composta por:**

- **Membro de Monte de Penedos (mMP)**
- **Membro de Topona e Espia (mTE)**

## **Formação de Topona**

### **Membro de Monte de Penedos (mMP)**

O Membro de Monte Penedos ocorre numa área restrita da ilha de Santa Luzia, entre Tope de Tate e Monte Topona, aflorando nas vertentes do relevo circunscrito de Tope de Penedos e ao longo do fundo do vale da Ribeira de Monte dos Penedos.

Esta unidade litoestratigráfica é constituída essencialmente por depósitos epiclásticos brechóides, e por algumas intercalações de derrames lávicos basálticos (idênticos às da unidade sobrejacente - o Membro de Topona e Espia).

Os depósitos epiclásticos, muito grosseiros e heterométricos, são constituídos por associações de fácies brechóides suportadas por matriz microconglomerática e argilosa (Figura 3.10). Encontram-se por vezes muito deformados, com planos de cisalhamento bem marcados (Figura 3.11), provavelmente por movimentação ao longo de um plano de falha/deslizamento de direcção geral NW-SE, com abatimento do bloco SW. São interpretados como depósitos de movimentos de massa, do tipo avalanche de detritos, originados pelo colapso de um sector do edifício vulcânico de Rocha Negra, para sudoeste.

### **Membro de Topona e Espia (mTE)**

Esta formação corresponde a uma sequência alternada de escoadas, depósitos piroclásticos de queda e de fluxo, de natureza essencialmente máfica e ultramáfica, localizados a sudoeste do Tope de Coladouro, sendo por vezes cortados por alguns filões de natureza félsica (Figura 3.12). Associado a esses materiais também são encontrados paleossolos, constituídos por uma matriz de cinzas com materiais angulosos de granulometria diversificada (Figura 3.13).

Esta formação assenta em discordância mais ou menos bem marcada sobre a Formação de Rocha Negra ou sobre o Membro de Monte de Penedos, com inclinação preferencial para sul e sudoeste. A origem deste vulcanismo está provavelmente relacionado com a ocorrência de um mega-deslizamento que terá provocado a rápida descompressão da câmara magmática, libertando magma, mais denso, do fundo da câmara magmática.

Petrograficamente, atendendo às observações microscópicas realizadas pelo Doutor Celestino Silva, esta formação compreende rochas com carácter acentuadamente máfico e ultramáfico, com algumas variações na textura (porfírica a afanítica) e na composição mineralógica. Trata-se de rochas de granularidade fina, constituídas

essencialmente por escassos microfenocristais de olivina, ligeiramente serpentizados nos bordos e ao longo das fracturas; piroxenas augi-titaníferas, relativamente fresca; alguns opacos; e muito escassos ou inexistentes fenocristais de plagioclases.

A sua matriz é geralmente fina, com estrutura fluidal e constituído essencialmente por muitos cristalitos de opacos, piroxenas augi-titaníferas, escassos cristais de apatite e muito escassos cristais de plagióclases. Entretanto, também é muito frequente nesta formação a presença de estruturas globulares preenchidas essencialmente por carbonatos e minerais zeolíticos, minerais lamelares do grupo das serpentinas e escassos cristais de biotite-flogopite, para além de apresentar localmente, xenocristais de anfíbolos potássicas (kaersotite), com um certo grau de corrosão/reacção, onde predomina, possivelmente, o mineral ronite, que é um piroxenóide muito frequente na geologia das ilhas de Cabo Verde.

De acordo com os estudos anteriores (Bebiano, 1932), na Ponta de Espia esta rocha apresenta um aspecto escuro e compacto, onde não se consegue distinguir qualquer elemento à vista desarmada. Entretanto, ao microscópio observam-se micrólitos de feldspatos maclados (albite, andesina e labrador), augite de cor violácea, muita magnetite e amígdalas de calcite.

Essas rochas, devido à fraca percentagem de plagioclases na sua matriz, de um modo geral, não podem ser classificadas no grupo das rochas basálticas, sendo designadas por Melabasaltos, por apresentarem características muito próximas das rochas ultramáficas. No entanto, quando não apresentam plagioclases na sua matriz, essas rochas tornam-se definitivamente ultramáficas, sendo classificadas como limburgitos, quando estão envolvidas numa matriz vítrea (sem cristalização) ou então como augititos, quando apresentam algum grau de cristalização dos minerais.



**Figura 3.10:** Membro de Monte dos Penedos (Sintema de Topona): brechas conglomeráticas muito heterométricas com predomínio de elementos angulosos de composição variada (escala – 1,3 m).



**Figura 3.11:** Afloramento de brechas do Membro de Monte dos Penedos (Sintema de Topona) onde se observa intensa fracturação na proximidade de um dos planos de escorregamento.



**Figura 3.12:** Afloramento do Membro de Topona e Espia expondo alternância entre derrames lávicos, depósitos piroclásticos de fluxo e paleossolos, intruída por filões (Monte Topona)



**Figura 3.13:** Afloramento do Membro de Topona e Espia: depósitos de fluxo piroclástico, intercalado em derrames lávicos (Monte Topona). No canto superior direito, pormenor de depósito de fluxo piroclástico constituído por matriz de cinzas com elementos angulosos de natureza variada (Monte Topona)

## SINTEMA DE PENEDOS (SP) – PENEDOS SYNTHEM

Idade provável (época): Plio-Plistocénico

Unidade Litosomática: Edifício Subaéreo de Penedos e Tate

Correlação com “Upper S. Vicente Edifice – Monte Verde Formation”

Unidade Litoestratigráfica: **Formação dos Penedos:**

- **(FmPn) – Derrames lávicos (*coulées*) de composição traquítica**
- **(FmPnD) – Domos de rocha traquítica**

### **Formação dos Penedos**

Esta formação é composta por produtos vulcânicos de composição traquítica e ou fonolítica extruídos na forma de derrames lávicos (*coulées*) ou em domos. No mapa geológico foram cartografadas em manchas distintas mas, do ponto de vista litoestratigráfico, não foram considerados como Membros, porque apresentam praticamente as mesmas características, diferindo apenas no seu modo de jazida.

Nesta fase de formação da ilha o magma apresenta uma composição química mais evoluída do que na anterior, formando escoadas e domos fonolíticos que se sobrepõem às formações geológicas mais antigas, de natureza básica. Esse material é predominantemente constituído por derrames espessos com geometria mais ou menos irregular e cortada por filões de natureza fonolítica, cuja estrutura foi desmantelada pela erosão, sobrando apenas alguns afloramentos de relevo residual (Figura 3.15).

A formação dos Penedos corresponde a uma formação geológica constituída essencialmente por domos fonolíticos (Figura 3.14), que assentam em discordância sobre as formações anteriores à Formação de Topona, podendo também ocorrer em outros sectores da ilha, designadamente sobre a formação de Rocha Negra. A sua origem está relacionada com um sistema de diques de alimentação, de direcção NW-SE, formando rochas de cores relativamente claras (cinzento-esverdeado).

Tendo em conta as observações microscópicas feitas pelo Doutor Luís Celestino Silva, trata-se de uma rocha ligeiramente porfírica constituída essencialmente por fenocristais de plagioclase e feldspato potássico, envolvidos numa matriz com estrutura fluidal bem evidente, onde se observam cristalitos bem orientados de feldspato potássico, bastonetes de plagioclases e opacos.

À semelhança dos domos descritos anteriormente, as escoadas, embora não possuam cristais de piroxenas sódicas, enquadram-se no grupo das rochas traquíticas ou eventualmente traqui-fonolíticas (se tiverem feldspatóides na sua matriz).

Segundo Bebiano (1932), os domos (agora integrados na Formação de Penedos) são constituídos essencialmente por monzonitos nefelínicos, que são formados por feldspatos (ortóclase, andesina e algum labrador) com estrutura anédrica, maclados segundo as leis de Carlsbad e com extinção rolante; e a nefelina, com cerca de 1 mm de comprimento, que apresenta uma cor acastanhada, estando alterada em cancrinite. Existem ainda cristais de augite (verde) e pequenos prismas de aegirite-augite. Ainda segundo este autor, a 1.200 metros a noroeste do Tope dos Penedos existem dois afloramentos (*necks?*) da mesma rocha, muito desagregadas, formando montículos com forma regular cónica e uma altura de aproximadamente 13 metros.

Os fonólitos são rochas de cor verde clara encontrados em filões que alimentam a formação dos domos monzoníticos e ainda noutros locais da ilha, cortando as formações basálticas a sul do Tope de Freira, a norte do Monte Topona e do Tope de Coladouro, sempre com uma direcção NE-SW. Geralmente são constituídos por cristais de ortóclase, aegirite-augite e augite maclada (de cor castanha). Se a parte externa dos filões, com textura microcristalina, é fonolítica, já a parte interna, com textura holocristalina, é constituída por tinguaitos, uma rocha de cor verde clara, com cristais de feldspatos (3 a 4 mm), nefelina e augite. A rocha tinguaitica, quando observada ao microscópio, apresenta uma pasta microcristalina constituída por feldspatos maclados (ortóclase e oligóclase), nefelina anédrica (com algumas inclusões), cristais de augite (cor violácea) com alterações na orla externa (aegirite-augite de cor esverdeada), contendo também cristais de hornblenda pleocróica, calcite e esfena (Bebiano 1932).

De acordo com as observações das lâminas delgadas feitas pelo Doutor Luís Celestino Silva, os Domos da Formação de Penedos são rochas ligeiramente porfíricas, constituídas provavelmente por fenocristais de feldspatos maclados, bastonetes de plagióclases e piroxenas sódicas (augite e aegirite-augite). A sua matriz tem estrutura fluidal traquitóide, constituída essencialmente por cristalitos alongados e muito bem orientados de feldspatos potássicos, associados a plagioclases abundantes, piroxenas sódicas (clinopiroxenas - esverdeadas) e opacos. Nota-se ainda que, esta formação não é muito fresca, pois apresenta-se relativamente alterada, o que se evidencia na presença, na sua matriz, de vacúolos com minerais eolíticos e alguns opacos muito oxidados, para além de escassos minerais de esfena e apatite.

Esta formação mais evoluída distingue-se das formações basálticas pela ausência de olivina e de piroxena sódica na sua matriz. Por esta razão petrologicamente classifica-se como sendo uma rocha traquitica, podendo eventualmente ser traqui-fonolítica ou fonolítica, quando apresenta feldspatóide (nefelina) na sua matriz. Contudo, convém referir que o resultado dessas observações microscópicas carece de análises geoquímicas complementares que permitiriam uma melhor caracterização e classificação dessas formações.



**Figura 3.14:** Domo fonolítico da Formação dos Penedos, no Tope dos Penedos, apresentando disjunção concêntrica característica daquele tipo de estrutura.



**Figura 3.15:** Formação dos Penedos, observando-se em primeiro plano um domo fonolítico, parcialmente soterrado por depósitos de leques aluviais, e em segundo plano o filão e domo parcialmente erodido no cume do relevo de Topo dos Penedos.

## SINTEMA DE ÁGUA DOCE (SAD) – TOPE DE ÁGUA DOCE SYNTHEM (ADS)

Idade provável (época): Plistocénico

Unidade Litosomática: Vulcão de Água Doce

Correlação com “S. Vicente Recent Volcanism”

Unidade litoestratigráfica: **Formação de Água Doce**

- **Membro de Ponta Salina** – mPS $\beta$
- **Membro de Pesqueiro Grande:**
  - ✓ *Escoadas* - mPG $\beta$ ;
  - ✓ Piroclastos distais - mPG $\beta$ pid
  - ✓ Piroclastos proximais (cone) - mPG $\beta$ pic.

### **Formação de Água Doce**

Esta formação é constituída essencialmente por escoadas lávicas relativamente bem conservadas e alguns piroclastos associados, ambos de natureza basáltica e subaéreos. Corresponde às manifestações eruptivas mais recentes ocorridas na ilha de Santa Luzia, sendo por isso consideradas contemporâneas das formações recentes de Salamanca, Calhau e Viana na ilha de São Vicente. A sua origem está relacionada com o centro eruptivo situado no topo do Monte Água Doce, materializando a terceira fase de construção do vulcão-escudo, que esteve na origem de todo o sector norte da ilha.

Podem-se distinguir dois membros distintos dentro desta unidade litoestratigráfica, todos, provavelmente, de idade quaternária (Plistocénico).

### **Membro de Ponta Salina**

Esta unidade geológica tem esta designação porque aflora essencialmente na zona de Ponta Salina. No entanto, existe um outro pequeno afloramento localizado nas proximidades do Tope da Ribeira de Tate.

O seu centro eruptivo, localizado nas bocas situadas no Tope de Água Doce, emitiu importantes volumes de lava basáltica bastante fluida que se espalhou em torno do antigo relevo erosivo de posição do Monte de Água Doce, formando uma extensa fajã lávica, que se estende desde a área da Ribeira de Freira, a sul, até à Chã de Tope de Água Doce, a norte, chegando à Ponta Salina e ao extremo leste da Baía de Coladouro. Os derrames lávicos apresentam morfologia *pahoehoe* relativamente bem preservada, com áreas de superfície lisa ou levemente encordoadas, e ocasionalmente formando elevações do tipo *tumuli*, com inclinações suaves em direcção à costa, encontrando-se

actualmente truncados pelo recuo da linha de costa que talhou arribas nestes materiais (Figura 3.17).

A análise de cortes do litoral permitiram verificar a ocorrência de lavas submarinas, do tipo *pillow-lavas* (Figura 3.18), no extremo oriental da Baía de Coladouro. Este facto indica que uma parte destes derrames lávicos foi emitida durante um período em que o nível do mar estaria mais alto que o actual. Nos restantes sectores, todos os cortes expõem derrames lávicos com características subaéreas, onde a superfície das lavas recentes encontra-se localmente coberta por sedimentos terrígenos, particularmente areias finas, siltes e argilas depositadas por escorrência superficial, acumuladas nas áreas deprimidas dos derrames, leques aluviais provenientes das vertentes do Monte Água Doce (particularmente a Norte de Seladinha) e sedimentos arenosos eólicos consolidados ou actuais (PLINT, 2008)

Petrologicamente trata-se de uma rocha porfírica constituída essencialmente por fenocristais de olivina relativamente bem conservados, com incipiente alteração ao longo dos bordos e das fracturas, formando minerais do grupo das serpentinas/iddingsite. Também possui alguns escassos minerais de piroxenas augititaníferas e alguns opacos. Apresenta uma matriz, fina a grosseira, constituída essencialmente por bastonetes de plagioclases (cristais prismáticos), piroxenas augititaníferas e opacos. Ainda nas observações feitas pelo Doutor Luís Celestino Silva não se evidencia a existência de feldspatóides (Nefelina), por isso esta formação é classificada como sendo uma rocha basáltica – Basalto olivínico.

### **Membro de Pesqueiro Grande**

Esta unidade litoestratigráfica representa a última fase eruptiva ocorrida na ilha de Santa Luzia que, à semelhança da formação de Ponta Salina, é formada essencialmente por derrames ou escoadas de lavas basálticas fluidas e com morfologia *pahoehoe*, que se encontra muito bem preservada, localizando-se em discordância sobre a formação de Rocha Negra (Figura 3.16).

Desta erupção, com foco localizado no topo do Monte Água Doce, o material emitido desloca-se preferencialmente para o sector noroeste da ilha, cobrindo toda a região entre a Ponta de Fundinho e a Ponta de Praia, que faz fronteira com o extremo noroeste da Praia de Palmo-a-tostão. Esta região de declive pouco acentuado compreende a Chã de Pesqueiro Grande e uma pequena parte da Chã de Tope de Água Doce.

Entretanto, para além das escoadas, no Membro de Pesqueiro Grande destaca-se um pequeno cone de piroclastos, cuja origem está relacionada com o centro eruptivo do

Monte Água Doce. Este centro é formado por uma cratera e por acumulações de escórias soldadas e *lapilli* (piroclastos de fluxo e de queda), constituindo um relevo morfologicamente mal definido ao longo de uma vertente íngreme.

As observações microscópicas feitas, pelo Doutor Luís Celestino Silva, mostram que, apesar das diferentes fases eruptivas do Membro de Pesqueiro Grande, as rochas (escoadas e piroclastos) enquadram-se no grupo das rochas básicas, de textura porfírica, com abundantes fenocristais de olivina fresca ou parcialmente alterados, ao longo dos bordos e das fracturas; e alguns, menos evidentes, fenocristais de piroxenas augi-titaníferas. Na sua matriz, muito fina, predominam os cristalitos de piroxenas augi-titaníferos e opacos, para além de uma quantidade relativamente escassa de cristais com uma certa orientação, designadamente os bastonetes de plagióclases não maclados, biotite-flogopite, olivina e nefelina.

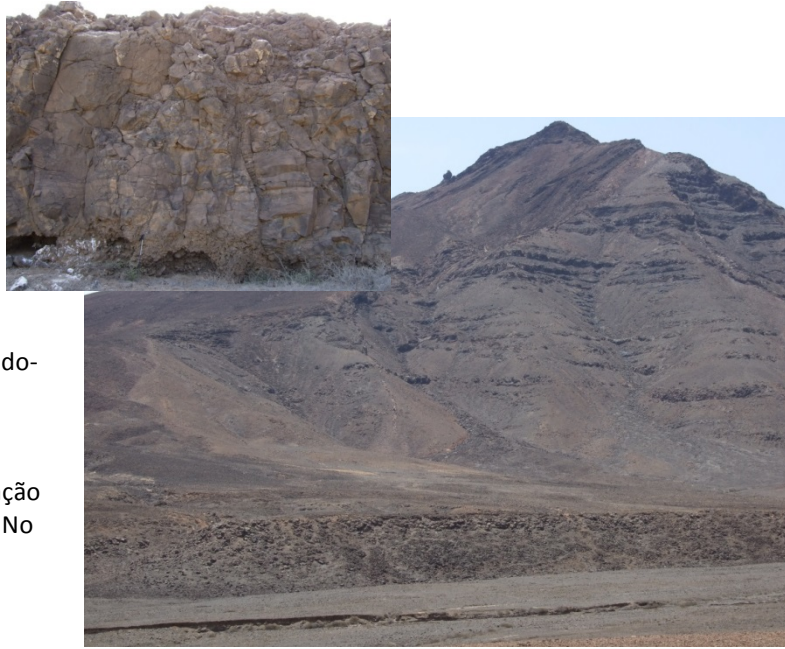
Analisando a composição mineralógica e tendo em conta a escassa presença de feldspatóides (nefelina), esta formação também se enquadra no grupo das rochas basálticas olivínicas porfíricas. Entretanto, se tivesse uma maior percentagem de nefelina na sua matriz passaria a ser uma rocha basanítica.

### **Depósitos Sedimentares Recentes**

Existem vários tipos de depósitos sedimentares recentes, de idade plistocénica a holocénica, que resultaram das acções erosivas sofrida pelos afloramentos rochosos superficiais ao longo do tempo. Os processos intervenientes foram os agentes associados a condições de clima árido quente - o vento, a água de escorrência superficial de carácter torrencial, a temperaturas e a abrasão marinha - associados a ausência quase total de vegetação.

Neste caso de estudo, a ilha de Santa Luzia, a actividade antrópica não tem praticamente influência sobre os fenómenos de erosão e sedimentação uma vez que a ilha é desabitada e apenas visitada ocasionalmente. Os depósitos sedimentares cobrem uma área significativa da ilha e, em muitos sectores, torna-se muito difícil distinguir cartograficamente os limites de transição e/ou sobreposição entre eles, devido à existência de fortes variações laterais e verticais de fácies.

De entre os depósitos sedimentares modernos destacam-se as aluviões, leques aluviais, depósitos de vertente (coluviões), depósitos eólicos (dunas consolidadas e activas), areias e cascalheiras de praia e vários (4) níveis de praias antigas (consolidadas), cujas características são descritas seguidamente:



**Figura 3.16:** Face sueste do Monte Água Doce, observando-se a discordância entre os produtos (piroclastos e derrames) do Membro de Pesqueiro Grande e a Formação de Rocha Negra subjacente. No canto superior esquerdo, pormenor dos derrames



**Figura 3.17:** Afloramentos litorais dos derrames lávicos do Membro de Ponta Salina (Formação de Água Doce) apresentando níveis erosivos de praia levantada embutidos nos derrames.

**Figura 3.18:** Passagem de lavas submarinas (pillow-lavas) a lavas subaéreas em derrame do Membro de Ponta Salina (Formação de Água Doce) na área de Ponta Salina.



### **Praias Levantadas (Níveis de praias antigas) – (pa)**

Para além das praias actuais, os sucessivos avanços e recuos da linha de costa deixaram vestígios de vários níveis de praias antigas (praias consolidadas), constituídas essencialmente por arenitos e conglomerados de cimento calcário, por vezes com horizontes de calcretos desenvolvidos por epigénese e pedogénese calcária, e cascalheiras dispersas muito bem roladas (a que acrescem níveis erosivos embutidos em arribas litorais rochosas).

Durante o levantamento de campo efectuado pela Missão (PLINT, 2008), foram identificados na ilha de Santa Luzia quatro níveis de praia:

- Pa1 - Nível de praia dos 0 metros – representa um nível de praia antigo que se encontra ao nível da praia actual. Este facto explica-se possivelmente por uma descida e posterior elevação do nível médio do mar. Este nível de praia foi localizado e cartografado ao longo da costa norte, entre a Praínha de Chica e a Praia do Castelo/Praia das Toninhas e na costa sul, junto à Ponta de Espia, até muito próximo da região de Portinho (Figura 3.19 e Figura 3.24).
- Pa2 – Nível de praia dos 3-5 metros – localiza-se um pouco por todo o litoral, com destaque para a costa leste, toda a região circundante do Monte Creoulo (Figura 3.20); na costa sul, junto ao Pesqueiro de Salema; a sudoeste, junto a Chã de Casa e também a zona que se estende desde a Ponta de Espequinho, a norte, até ao Coladourozinho, a noroeste.
- Pa3 – Nível de praia dos 12-15 metros – ocorre sobretudo na região oriental da ilha, com destaque para os afloramentos localizados junto à Areia de Boca de Ribeira, a noroeste; próximo da Chã da Praia de Roque e da Chã de Gurajona. Também são encontrados nos arredores da Chã da Ribeira de Tate (Figura 3.21 e Figura 3.22), a sudoeste; próximo da Praia de Água Doce, entre a Ribeira de Fundinho e a Ribeira de Água Doce; em alguns sítios sobrepõe-se ao nível de praia dos 3-5 metros (Pa2), nomeadamente na região entre a Ponta de Espequinho e Coladourozinho e junto à Ponta de Salina.
- Pa4 – Nível de praia dos 21-26 metros – o único afloramento cartografado localiza-se junto à Chã de Praia de Francisco (Figura 3.23), estando os depósitos de praia intercalados em depósitos eólicos. Por esta razão, pode admitir-se a possibilidade da existência de outros níveis de praia encobertos por depósitos sedimentares subaéreos ao longo de todo o sector do Monte Creoulo.

A distribuição geográfica e altimétrica dos diferentes níveis de praia permitem concluir que ocorreram vários episódios de elevação e descida do nível médio do mar e que muito provavelmente todo o sector de Monte Creoulo esteve, no passado, completamente submerso, sofrendo intensa acções de abrasão marinha que terá

modelado a superfície que hoje se observa. Entretanto, muitos desses depósitos de praia e níveis de abrasão estarão, possivelmente, cobertos por depósitos de leques aluviais e eólicos.

### **Depósitos Eólicos (dunas consolidadas e não consolidadas) – (de)**

As dunas, que também podem ser designadas por medos, correspondem a regiões em que o relevo se encontra coberto de areia, com formas e dimensões características, conforme a sua relação com a dinâmica dos ventos. Neste caso de estudo, são constituídos por areias (dunas actuais) e arenitos finos (dunas consolidadas) de natureza carbonatada, com material bioclástico intercalado e estruturas calcificadas de rizo-concreções.

As dunas móveis são mais comuns, porque na região em estudo a acção do vento é contínua, sendo os sedimentos arenosos constantemente transportados pelos ventos dominantes (alíseos). Entretanto, nos locais onde existem factores naturais de estabilização das areias, nomeadamente penhascos, vertentes altas, irregularidades do terreno ou alguma vegetação (escassa), as areias transportadas começam a acumular-se e deste modo as dunas tornam-se fixas (consolidadas) ou permanentes (Figura 3.25). Por sua vez, as dunas consolidadas normalmente são constituídas por várias gerações de depósitos eólicos, que foram transportados pelo vento em ambiente subaéreo ao longo dos tempos, formando arenitos, que apresentam algumas características muito típicas, nomeadamente a presença de paleossolos e rizoconcreções, que testemunham uma ocupação vegetal que terá contribuído para a consolidação das dunas, e ondulações (*ripple marks*).

Na ilha de Santa Luzia, a areia de duna tem origem predominantemente marinha, sendo transportada pelo vento da costa norte, através da ilha, para a costa sul. A origem marinha é comprovada pela natureza carbonatada das areias, e pela presença de material bioclástico, designadamente fragmentos de algas calcárias e de conchas e carapaças de organismos marinhos. O transporte eólico contribui para uma aumento da sua calibração e polimento. A direcção de transporte pelos ventos dominantes de NE explica a depleção em areia das praias do litoral setentrional e a sua abundância na costa sul. Os depósitos eólicos (dunas) representam um dos elementos paisagísticos mais marcantes desta ilha, apresentando importantes afloramentos no sector nordeste, junto à Chã Branca e Ponta Salina; a sudoeste do Monte Creoulo, na Chã de Mãe Grande; e principalmente na região que atravessa todo o sector geomorfológico de Monte Creoulo, desde a Praia do Castelo até à Ponta de Salema e Ponta de Praínha Branca.



**Figura 3.19:** Praia antiga dos 0 metros na costa norte de Santa Luzia muito rica em rodólitos (algas calcárias).

**Figura 3.20:** Nível de praia dos 3-5 metros, na costa norte do Monte Creoulo, junto à Praia do Mastro. O afloramento, parcialmente coberto por coluviões, é muito rico em conchas de moluscos.



**Figura 3.21:** Nível de Praia dos 12-15 metros, constituído por arenitos finos consolidados apresentando ripple marks (região de Chã da Ribeira de Tate).

**Figura 3.22:** Nível de Praia dos 12-15 metros constituído por cascalheira rolada dispersa à superfície (região de Chã da Ribeira de Tate).





**Figura 3.23:** Cascalheira da praia levantada dos 21-26 metros, junto à Chã de Praia de Francisco.



**Figura 3.24:** Praia dos 0 metros, na costa norte da embutida em areias e cascalheiras de praia actuais



**Figura 3.25:** Interdigitação de depósitos de leques aluviais com areias eólicas na zona de Chã de Lajes.

### **Depósitos de Vertente – (dv)**

Nas encostas com alguma declividade, por acção gravítica associada ao avançado estado de alteração dos materiais rochosos, formaram-se depósitos de sedimento acumulado progressivamente ao longo das encostas até ao sopé das vertentes, formando extensos depósitos de vertente.

São constituídos por fragmentos rochosos de dimensão variada que, não sendo transportados por grandes distâncias, se acumulam de forma caótica e não consolidada ao longo das vertentes. A sua dimensão e espessura são muito variáveis, dependendo essencialmente da declividade do terreno e do grau de alteração das formações rochosas envolventes.

Na ilha de Santa Luzia, os depósitos de vertente são encontrados essencialmente nas encostas mais declivosas dos principais relevos circunscritos da ilha, designadamente o Monte Topona, Monte Espia, Monte de Água Doce, Monte Topona, Tope dos Penedos, Monte do Norte e Tope de Tate.

### **Depósitos de Leques Aluviais – (la)**

São depósitos que se formam quando, por acção gravítica, os sedimentos transportados pelas cheias descem pelas vertentes das montanhas, sendo depositados numa área relativamente plana do sopé. Os depósitos de leques aluviais apresentam geralmente fácies brechóides e conglomeráticas grosseiras, representando fluxos de detritos e lama (*debris-flow* e *sheet-floods*), associados lateralmente a depósitos de vertente e coluviões (em zonas proximais), a depósitos canalizados de aluviões (em sectores distais), geralmente pouco consolidados e ainda a coberturas de areias eólicas.

Também são designados por cones aluviais ou cones de dejectão e normalmente encontram-se associados aos canais de escorrência torrencial. Neste caso de estudo, localizam-se preferencialmente no sector intermédio da ilha onde ocorrem os relevos mais elevados, nomeadamente nas imediações da Ribeira de Freira, Ribeira de Tate, Ribeira de Casa e Ribeira do Fundo de Nicolau Parente, estendendo-se para as regiões menos declivosas do litoral, sobretudo ao longo da região sudoeste da ilha (Figura 3.26Figura 3.27).

### **Aluviões – (a)**

As aluviões são depósitos sedimentares que normalmente resultam do transporte e acumulação de detritos no fundo dos vales ao longo dos cursos de água correspondentes, que em Santa Luzia têm carácter torrencial.

Geralmente são constituídos por sedimentos argilosos, arenosos e cascalhentos associados aos sistemas de drenagem e a eventos de inundação. Por esta razão, são extremamente móveis sendo frequentemente transportados pela erosão fluvial, sobretudo em regime torrencial em que a dimensão das cheias pode produzir mudanças no curso das linhas de água. Na ilha de Santa Luzia os depósitos de aluviões são encontrados com relativa abundância, principalmente no sector central, devido ao declive acentuado, e no Monte Crioulo, devido ao avançado estado de alteração das rochas da unidade aflorante naquela região.

Nos casos em que os depósitos aluvionares são encontrados no sopé das vertentes montanhosas, sobretudo em sítios onde os cursos de água extravasam o leito das ribeiras/canais de cheias, provocando inundações, os sedimentos acumulados adquirem uma forma muito característica, sendo por isso designados por depósitos de leques aluviais.

### **Areias e cascalheiras de praia actual (ap)**

As praias actuais formam-se na interface entre o oceano e as áreas emersas, onde o movimento das ondas mobiliza activamente os sedimentos acumulados. Nesse ambiente dinâmico, normalmente ocorrem numerosas interacções biológicas, químicas, geológicas e meteorológicas que, afectam os processos relacionados com o transporte e deposição de sedimentos, podendo ser rápidas ou lentas conforme a energia da ondulação e das marés.

A forma dos depósitos de praia actual está intimamente relacionada com os processos de regularização da linha de costa, ou seja, depende da actuação da ondas e das correntes, combinadas com a resistência litológica das formações.

Em grande parte do litoral da ilha de Santa Luzia encontram-se depósitos de praia constituídos por areia de grão fino a médio, assim como depósitos de cascalheiras, cujos clastos se encontram rolados ou sub-rolados, apresentando dimensões variáveis (diâmetro máximo cerca de 20~30 cm) e superfícies brilhantes devido à acção da água do mar. Normalmente essas praias possuem areia branca, de natureza calcária, onde se evidenciam algumas marcas orgânicas de bioturbação subaquática, nomeadamente a presença de conchas de invertebrados e restos de algas. Os sedimentos de praia são predominantemente grosseiros (cascalheira de praia) no litoral norte da ilha e nos sectores onde afloram as lavas recentes da Formação de Água Doce, e predominantemente arenosos no litoral meridional de Santa Luzia.

o sector intermédio da costa sudoeste da ilha, destaca-se a “Praia de palmo-a-tostão”, a praia arenosa de maior extensão que se desenvolve ao longo de cinco quilómetros (Figura 3.28).



**Figura 3.26:** Depósitos de leques aluviais, no sopé de vertente talhada na Formação de Rocha Negra (Tate).

**Figura 3.27:** Estrutura interna de depósitos de leques aluviais exposta em barrancos junto ao litoral sudoeste de Santa Luzia.



**Figura 3.28:** Praia arenosa actual, “Praia de Palmo-a-tostão”, com depósitos de leques aluviais em primeiro plano e a silhueta de S. Vicente no plano mais distante.

### **3.5. Estrutura Vulcânica e Evolução Geológica da Ilha**

#### **3.5.1. Estrutura Vulcânica: Filões e Massas Intrusivas**

Ao analisar a estrutura vulcânica da ilha, constata-se a existência de uma grande rede de filões e massas filonianas que atravessam sobretudo as formações geológicas mais antigas, evidenciando a ocorrência de processos vulcânicos intrusivos que marcaram a evolução geológica da ilha.

A Formação de Monte Creoulo representa a unidade geológica mais antiga da ilha e, por esta razão, encontra-se densamente cortada por um sistema de filões, formando uma estrutura do tipo “dique-em-dique”. Na sua maioria estes filões podem estar relacionados com a fase de construção submarina e com a primeira fase de construção subaérea, isto é, aquela que deu origem à Formação de Rocha Negra, conforme se pode evidenciar pelo alinhamento preferencial dos cones vulcânicos e dos filões expostos nessa região. Apesar da grande densidade de filões, o seu elevado grau de alteração dificulta a determinação da sua natureza (provavelmente máfica).

A Formação de Rocha Negra, no sector intermédio da ilha, também se encontra cortada por material intrusivo, mas já em menor quantidade e com menor grau de alteração. Esta formação, para além de filões máficos (que eventualmente se associam às actividades fissurais que levaram á formação do sector mais recente da ilha - Água Doce), também possui filões de composição félsica, relacionados com magmas mais evoluídos que estão na origem dos domos e escoadas da Formação de Penedos.. Os filões ácidos são normalmente são mais resistentes à erosão e, nas regiões onde ocorrem, geralmente têm tendência a ficar salientes por erosão diferencial.

Analisando a sequência Vulcano-estratigráfica da ilha e as características de cada uma das formações geológicas, pode-se constatar que a densidade de filões é maior nas formações de base do que nas camadas mais recentes, ou seja, os processos de vulcanismo intrusivo são mais comuns nas formações mais antigas. As formações vulcânicas mais recentes da ilha (Formação de Água Doce) apenas são atravessadas pelos filões seus contemporâneos.

Deste modo, todas essas informações, relacionadas com a densidade e o estado de alteração dos filões, podem ser utilizadas como um dos critérios válidos para diferenciar a idade entre as várias formações geológicas, permitindo compreender e caracterizar de melhor forma a sequência Vulcano-estratigráfica da ilha.

### **3.5.2. Tectónica**

De um ponto de vista tectónico, vários autores como Dash et al. (1976) e Bebiano (1932) consideram que a sua origem está relacionada com um sistema preferencial de fracturação do fundo oceânico, ou seja, um sistema de falhas de direcção NW-SE, a partir do qual se originaram fenómenos de vulcanismo fissural, que está na origem de uma estrutura vulcânica comum para todas as ilhas a norte do arquipélago (Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, Ilhéu Branco, Ilhéu Raso e São Nicolau), embora as respectivas fases de emersão e construção dos escudos subaéreos foram caracterizadas pela ocorrência de vários fenómenos e eventos vulcânicos completamente diferentes e separados. Esta hipótese pode ser confirmada, analisando o alinhamento das estruturas vulcânicas, a direcção preferencial dos filões e principalmente os dados de batimetria entre essas ilhas, com destaque para o canal que separa a ilha de Santa Luzia de São Vicente, cuja profundidade média não ultrapassa os 20/25 metros.

Depois de analisar todas as informações recolhidas no campo e sobretudo as imagens de satélite, torna-se muito mais fácil reconhecer e cartografar o padrão de fracturação, expresso pelo traçado da rede filoneana, e estabelecer uma ligação genética entre a estrutura tectónica da ilha e os diferentes eventos vulcânicos ocorridos durante a sua formação.

O estudo de alguns aspectos geomorfológicos da ilha, nomeadamente a sua forma alongada, direcção preferencial de alinhamento de cones vulcânicos, na direcção NW-SE, permitem concluir que o processo de formação da ilha se encontra directamente relacionado com o sistema de falhas existente no fundo oceânico.

### **3.5.3. Evolução Geológica da Ilha**

À semelhança das restantes ilhas do arquipélago de Cabo Verde, o vulcão escudo de Santa Luzia formou-se numa primeira fase a partir de sucessivas erupções vulcânicas submarinas que foram construindo, lentamente, uma grande montanha submarina.

Mais tarde ocorre a emergência da ilha e, numa segunda fase de construção vulcânica, a actividade eruptiva passou a ser feita em ambiente subaéreo, dando origem a um grande vulcão escudo que poderia integrar a estrutura vulcânica de S. Vicente.

Este grande vulcão, por diminuição da actividade eruptiva, entra numa fase de destruição, quer por processos de erosão, quer pela ocorrência de grandes movimentos de massa, do tipo deslizamento rotacional. O vulcanismo é caracterizado por eventos com baixos volumes emitidos e menos frequentes, que cobrem uma

paleotopografia desenvolvida durante os eventos anteriores. Nesta fase os processos de destruição imperaram sobre os de construção vulcânica. A excepção é feita com o grande delta lávico de Chã de Água Doce e Ponta Salina.

### **3.6. Geomorfologia**

A geomorfologia de qualquer ilha vulcânica, incluindo a ilha de Santa Luzia, define-se pela conjugação de um conjunto de factores, endógenos e exógenos, relacionados com a sua génese, a natureza das formações geológicas e o clima, determinando as condições e os processos naturais que ao longo dos tempos contribuem para a modelação do relevo.

Tendo em consideração a hipsometria do arquipélago, Santa Luzia pode ser incluída no grupo das ilhas planas de Cabo Verde, em conjunto com as ilhas orientais, mais antigas, de Sal, Boa Vista e Maio. A modelação do relevo ocorre num ambiente dinâmico, onde normalmente ocorrem numerosas interacções biológicas, químicas, geológicas e meteorológicas, provocando a regularização da ilha de costa e dos relevos circunscritos.

Geomorfologicamente, ilha de Santa Luzia tem uma forma de contorno geometricamente alongada, com um aspecto semelhante a uma bota. Trata-se da mais pequena de todas as ilhas do Arquipélago de Cabo Verde, com uma área total de superfície de aproximadamente 35 km<sup>2</sup>, comprimento máximo de 13 km e largura máxima de 5 km, atingindo a sua maior elevação no Monte Topona, que se localiza na parte central da ilha, a 395 metros de altitude. O relevo da ilha é caracterizado pela existência de contrastes geomorfológicos assinaláveis, sendo a costa sul da ilha relativamente plana, com praias de areia branca e dunas, enquanto a costa norte é mais montanhosa, sendo marcada, em alguns sítios, pela presença de um relevo muito escarpado.

A interpretação e análise das imagens de satélite, ortofotomapas, das fotografias tiradas durante a missão de campo e o MDT permitiram relacionar a sua caracterização fisiográfica com outros aspectos relacionados com a evolução geológica da ilha. Deste modo, com base nas formas de relevo predominantes, dividiu-se a ilha em três sectores geomorfológicos, que não se encontram necessariamente relacionados com litoestatigrafia estabelecida (PLINT, 2008):

- Sector Geomorfológico de Monte Crioulo
- Sector Geomorfológico Central
- Sector Geomorfológico de Água Doce

## **A - Sector de Monte Crioulo**

O sector do Monte Crioulo representa praticamente toda a zona oriental da ilha de Santa Luzia, que corresponde à região mais antiga e plana da ilha, com uma estrutura ou forma alongada na direcção Este-Oeste, que se formou a partir de erupções vulcânicas submarinas, numa primeira fase de construção da ilha.

Este sector é constituído por formações geológicas muito antigas, por isso intensamente atenuadas pela erosão, apresentando um relevo bastante aplanado e sem grandes irregularidades, com uma altitude média a rondar os 20/25 metros. O litoral é normalmente baixo e rochoso, de que são exemplos a Ponta de Mãe Grande, Ponta de Salina de Crioulo e Ponta de Canal de Escuma, sendo evidente o trabalho erosivo do mar originando troços de litoral convexos onde se localizam as praias actuais.

Dentro deste sector geomorfológico podemos destacar duas zonas principais:

A primeira, localizada nas imediações do Monte Creoulo, no extremo oriental da ilha, representa a estrutura de um antigo aparelho vulcânico, que foi completamente desmantelada pela erosão, sobrando apenas alguns resíduos de elevações (Tope de Creoulo e Tope de Baía de Creoulo), que não ultrapassam os 60/70 metros de altitude. Em torno dessas pequenas elevações destacam-se algumas planuras, pouco extensas, designadas por chãs, nomeadamente a Chã de Laje e a Chã de Prainha de Chica, localizada na costa oriental da ilha; a Chã de Praia de Francisco, Chã de Praia de Roque, Chã de Gurajona e Chã de Mãe Grande, localizadas na região sul a sudeste da ilha. Os vales são pouco encaixados, as vertentes são essencialmente convexas e os interflúvios caracterizam-se por topos arredondados e formas suaves.

A segunda zona deste sector encontra-se praticamente toda coberta por depósitos eólicos formando um extenso campo dunar que se estende desde a costa norte (Praia do Castelo) à costa sul (Pesqueiro de Salema, nas proximidades do Monte Espia). De acordo com Bebian (1932), todo este sector corresponde a uma morfologia de erosão que se formou numa fase em que a ilha ainda se encontrava submersa. No entanto, à semelhança do que acontece na zona anterior encontram-se alguns relevos residuais, expondo materiais vulcânicos, que não foram completamente arrasados pela erosão, nomeadamente o Morro de Prainha Branca e o Tope de Prainha Branca.

Relativamente ao sistema de drenagem, apesar do fraco declive e do sistema de filões que possui, o sector de Monte Creoulo, devido ao elevado estado de alteração e à fraca permeabilidade dos solos, apresenta uma densa rede de drenagem rectangular, sobretudo nas proximidades do Monte Creoulo. Porém, na costa junto à Praia do Castelo, as linhas de água apresentam uma geometria paralela. Por comparação com

outros sectores da ilha, esta área apresenta uma densidade de drenagem relativamente elevada.

## **B - Sector Central**

O sector geomorfológico central representa a maior parte do volume rochoso da ilha de Santa Luzia, constituído por um alinhamento de relevos vigorosos, com cerca de 5.000 metros de extensão, que se estendem desde o Tope de Freira, junto ao Monte Água Doce, até ao Monte Espia no extremo sul da ilha. Esta morfologia caracteriza-se existência de relíquias muito degradadas (cutelos de erosão), de antigos relevos vulcânicos, truncados, cuja origem está provavelmente associada a uma zona de rifte vulcânico de direcção NW-SE, à semelhança do que acontece com toda a estrutura da ilha (Bebiano, 1932). Esta estrutura apresenta-se sob a forma de topos em crista e vertentes côncavas, onde afloram essencialmente rochas da Formação de Rocha Negra. Adicionalmente, também ocorrem alguns alinhamentos de aparelhos vulcânicos das unidades mais recentes, com formas mais ou menos bem preservadas, quase todos com uma direcção preferencial NE-SW a ENE-WSW.

Nesta cordilheira encontramos as principais elevações da ilha, como o Monte Topona (395 m), Tope de Freira (337 m), Tope de Tate (344 m), Tope de Rocha Negra, Monte do Norte, e Tope de Coladouro (276 m), para além do Monte Água Doce (315 m), que corresponde a uma extensão da mesma cordilheira para noroeste. Uma parte deste conjunto de relevos, onde aflora a Formação de Topona, apresenta ainda algumas das formas originais de construção, com uma inclinação suave para sudoeste. Pelo contrário as vertentes voltadas a norte são formas de erosão com fortes declives para nordeste, até ao mar. A maior elevação da ilha é o “Monte Topona”, também chamado de Monte Grande, com uma estrutura imponente neste sector geomorfológico e uma altitude máxima de 395 metros. No entanto, na parte mais a sul da ilha, destaca-se o Monte Espia (294 m), um relevo circunscrito, com vertentes de forte declive e um padrão de drenagem de tipo radial centrífugo, que constitui a extensão destes relevos para sueste.

Ao longo desta cadeia de relevos residuais, a rede de drenagem apresenta um padrão do tipo paralelo que se combina com padrões de tipo dendrítico ou rectangular, sobretudo nas regiões mais elevadas, no centro da ilha. Devido ao facto das formações geológicas serem relativamente mais permeáveis do que no sector oriental, a rede de drenagem é aqui menos densa. Neste sector, o sistema de drenagem influencia todo o processo erosivo e a modelação geomorfológica da região, originando morfologias de construção sedimentar materializada em inúmeros depósitos de vertente, aluviões e leques aluviais.

Deste modo evidenciam-se os declives acentuados das vertentes localizadas ao longo da costa norte e oriental da ilha, com destaque para a costa junto à Ponta de Rocha Negra, que corresponde a um promontório rochoso muito íngreme, que se desenvolve mar adentro. Nas encostas voltadas para o sul e ocidente o declive é relativamente mais suave, diminuindo/suavizando até ao litoral SW da ilha, onde destaca-se uma extensa praia de areia branca designada de “Praia de Palmo-a-Tostão”, com cerca de 5 km de comprimento.

### **C - Sector de Água Doce**

O Sector de Água Doce compreende a região norte e noroeste de Santa Luzia, onde, como já foi referido anteriormente, afloram produtos vulcânicos da Formação de Água Doce. Neste sector a geomorfologia é dominada pelo Monte Água Doce, com cerca de 315 metros de altitude, a partir do qual se originaram vários derrames, formando uma extensa plataforma lávica, com declives relativamente suaves, que se estende para o litoral, numa extensão de aproximadamente de 1,5 km, em torno daquele relevo, com destaque para a Chã de Pesqueiro Grande, a noroeste; Chã de Tope de Água Doce, a norte; e a Chã Branca.

A nível do litoral o relevo é caracterizado pela existência de arribas (3 a 15 metros) e de estruturas baixo-rochosas, como são exemplos a Ponta de Salina, a nordeste; Ponta de Espequinho, na extremidade norte da ilha e Ponta de Praia, localizada a SSW do Monte Água Doce. Não existem praias actuais desenvolvidas neste sector, mas pode verificar-se a presença de níveis de praias embutidos nos derrames lávicos e alguns depósitos sedimentares, sobretudo na região de Ponta Salina.

A litologia e a geomorfologia influenciam directamente o processo de escoamento superficial, por isso, neste sector o sistema de drenagem apresenta geometria radial em torno do Monte Água Doce, pois as principais linhas de água têm origem nas cotas mais elevadas desta elevação e divergem de forma radial ao longo das encostas. Por outro lado, este sector apresenta menor densidade de drenagem do que os outros, pelo facto de ter um declive suave e ser constituído essencialmente por escoadas lávicas relativamente recentes, pouco erodidos e com maior permeabilidade superficial.

Os sectores norte e nordeste desta elevação, até a Ponta Salina, apresentam coberturas eólicas e alguns depósitos sedimentares aluvionares. Pelo contrário, os sectores a noroeste e sudoeste do Monte Água Doce, apresentam uma morfologia relativamente lisa sem grandes marcas de erosão e ausência de depósitos de cobertura, o que se deve ao facto destas vertentes corresponderem aos derrames mais recentes (Membro do Pesqueiro Grande).

# Capítulo 4

## 4. Desenvolvimento de um SIG a Partir da Cartografia de Base

### 4.1. Introdução

Definir um sistema de informação geográfica não é uma tarefa muito fácil, devido à diversidade de áreas onde esta pode ser aplicada. Entretanto, de um modo geral, um SIG corresponde a um conjunto de programas e ferramentas que permitem a manipulação, análise e representação de informação para a criação de uma base de dados geográficos espacialmente referenciados.

Existem muitas definições, sendo cada uma influenciada pelo contexto em que esta se enquadra. Para Parker, (1988) um SIG é uma tecnologia de informação que permite o armazenamento, análise e representação tanto de dados espaciais como de dados não espaciais. Segundo Aronoff (1989), os SIG são sistemas computacionais, constituídos por um *hardware* e um *software*, usados para armazenar e manipular informação geográfica. De um modo geral, são sistemas concebidos para recolher, armazenar e analisar objectos e fenómenos em relação aos quais a localização geográfica é uma característica importante.

Do ponto de vista funcional, um SIG não é mais do que uma base de dados georreferenciados, com informação cartográfica ou alfanumérica integrada numa tabela de atributos. Deste modo, quando se assinala um objecto no mapa pode-se saber o registo dos seus atributos e vice-versa, ou seja, seleccionando um registo na tabela de atributos é possível fazer a localização de todas as informações a ele relacionados de forma rápida e automática no mapa.

Graças a essa interacção entre os dados alfanuméricos e gráficos, no desenvolvimento de um projecto SIG, é possível a introdução de novos dados e a transformação de informação para a criação de novos mapas ou outro tipo de documentos sobre uma determinada superfície geográfica.

Segundo Freksa e Gaspar (2005), representar a realidade de uma superfície num modelo geográfico é tornar explícitos alguns dos seus aspectos, ignorando outros, baseando-se no princípio de que é impossível evidenciar simultaneamente todos os aspectos potencialmente interessantes, devido à grande diversidade de informações existentes. Por esta razão, muitas vezes, são seleccionadas e apresentadas apenas as informações mais relevantes, que originam os chamados mapas temáticos, facilitando assim a representação e interpretação da realidade, de acordo com os objectivos do

estudo a ser realizado, como neste caso a produção do MDT e do mapa geológico da ilha de Santa Luzia.

Ao longo dos tempos, o suporte mais utilizado para a representação cartográfica é o papel. No entanto, devido a evolução dos SIG, intimamente associada ao desenvolvimento das tecnologias informáticas e à sua massificação, com a diminuição dos custos dos equipamentos e programas utilizados, sobretudo nas últimas décadas, proporcionou-se uma autêntica revolução na dinâmica de produção, armazenamento e representação de cartas digitais. Por outro lado, a utilização de técnicas de detecção remota, do GPS (*Global Positioning System*) ou de sistemas modernos de navegação por satélites (GNSS - *Global Navigation Satellite System*), possibilitam a organização, manipulação, análise e apresentação de todo o tipo de informação, quantitativa ou qualitativa, desde que tenham uma referência espacial bem definida, favorecendo a utilização dos SIG em praticamente todas as áreas do conhecimento, de actividade económica e social, garantindo o seu desenvolvimento, dinâmica e competitividade, conforme se exige nos tempos de hoje.

A construção de uma base de dados em formato digital é um processo complexo e relativamente dispendioso, mas que apresenta muitas vantagens em relação ao sistema analógico de armazenamento de dados, nomeadamente:

- Redução do espaço físico;
- Preservação da qualidade, ausência de deterioração dos materiais impressos em papel;
- Produção rápida de cópias sem perda de qualidade;
- Facilidade no manuseamento e actualização de informações (escala de visualização e simbologia adequada);
- Efectuar análises espaciais (entre elementos e entre mapas).

Contudo, podemos destacar que a principal vantagem da utilização dos SIG deve-se ao facto de permitir a integração e análise de vários tipos de informação, que pode ser trabalhada de acordo com as necessidades de um determinado objectivo, de forma a gerar-se diferentes tipos de representações cartográficas. Ainda, a separação ou combinação de informação de modo rápido e simples, que pode ser posteriormente armazenada, de forma separada, como um novo nível de informação. Independentemente do procedimento a ser utilizado, a quantidade de informação a ser armazenada é sempre grande; nesse sentido, é fundamental que esta seja convenientemente identificada e organizada, de modo a otimizar todo o processamento.

Para a criação do SIG, utilizou-se o *software* de sistemas de informação geográfica, ArcGIS 10.1, produzido pela empresa americana ESRI, que disponibiliza um conjunto de ferramentas para o processamento, análise e armazenamento de dados, assim como

um conjunto de aplicações para a criação de mapas e a sua impressão. Uma das facilidades deste *software* é permitir a definição e/ou transformação do sistema de referência em que os dados se apresentam, compatibilizando-se dados que tenham sistemas de referência diferentes.

Este software apresenta uma actualização constante dos avanços tecnológicos e informáticos, tendo, por isso, a vantagem de suportar diferentes formatos de arquivos e de dados, sem necessidade de conversão, para além de ser capaz de integrar os dados disponibilizados na internet, através do seu serviço – *GIS Server*. Entre os vários formatos disponíveis escolheu-se para este projecto o formato *shapefile* (ficheiro de extensão .shp) que, para além de ser compatível com o *software* utilizado, apresenta uma grande versatilidade e eficácia no processamento e apresentação dos dados.

O ArcGIS é composto por vários módulos entre os quais o ArcMap, o ArcCatalog e o ArcToolbox, utilizados no presente trabalho. Tendo em atenção que esta dissertação poderá vir a ser consultada por pessoas menos familiarizadas com este software, apresenta-se de seguida uma breve descrição destes módulos.

### **ArcMap**

Aplicação central do ArcGIS, onde é possível trabalhar com todas as informações geográficas, nomeadamente a sua edição e a realização de operações relacionadas com a análise espacial. Possibilita também a criação de mapas a partir da utilização de níveis de informação sobrepostos, onde se define a simbologia e as relações espaciais entre os diferentes elementos.

Nesta aplicação destacam-se duas áreas ou janelas principais: a tabela de conteúdos e a área de visualização. A primeira apresenta a lista de todas as camadas ou níveis de informação que constituem o mapa que, segundo Burrough e McDonnell (1986), permite a separação lógica de informação cartográfica de acordo com o tema; e a segunda contém o espaço para a visualização dessa informação e uma série de menus e ferramentas, que permitem trabalhar com os elementos de cada nível de informação para a edição de mapas e a sua impressão.

### **ArcCatalog**

Aplicação destinada à gestão de informação, permitindo adicionar, pré-visualizar, criar e modificar os arquivos com os quais se pretende trabalhar, conectando-os com a base de dados disponível na rede de trabalho.

As informações armazenadas são representadas numa estrutura em árvore, à direita da área de visualização de mapas, contendo todos os dados relacionados com o conteúdo e a origem dos arquivos.

Esta aplicação permite ainda preencher uma ficha de metadados sobre cada nível de informação (ou tema). Os metadados correspondem a informação relevante e sucinta sobre determinado nível de informação como por exemplo, o que este representa, data de realização, quem realizou, sistema de coordenadas, escala/resolução, etc. Os metadados de dados geográficos são fundamentais para a correta utilização deste tipo de informação. O ArcGIS apresenta vários formatos de fichas de metadados, incluindo o que cumpre a Directiva Inspire (*Infrastructure for Spatial Information in Europe*) que normaliza, a nível europeu, esta informação. A ficha de metadados é guardada num ficheiro de extensão XML e permite pesquisa por qualquer palavra contida nele. Esta informação também pode ser parcialmente acedida nas propriedades de cada tema no *ArcMap* (em *item description*).

### **ArcToolBox**

Trata-se de uma aplicação que contém um conjunto muito diversificado de ferramentas que permitem efectuar desde operações simples a operações complexas de análise espacial dos dados (vectoriais e matriciais). As diversas ferramentas funcionam como uma extensão do *ArcMap*, possibilitando a realização de uma série de operações mais elaboradas com dados geográficos, nomeadamente a conversão de dados espaciais de um formato para outro, a introdução do sistema de coordenadas de referência ou a alteração do sistema de projecção de dados. Esta aplicação é muito importante para a estruturação e organização das informações produzidas, possibilitando a realização de diversas funções de forma simples e imediata.

A representação cartográfica da informação georreferenciada em SIG faz-se com base em dois tipos de modelos (formatos) de dados: o modelo matricial ou *raster* e o modelo vectorial.

### **Modelo Vectorial**

São modelos convencionais, normalmente utilizados para a cartografia impressa, com base em representação de objectos estáticos e com fronteiras bem definidas. Este modelo representa objectos ou entidades do mundo real, através da combinação espacial de pontos, linhas e polígonos, com coordenadas bem definidas, com a vantagem de apresentar maior rapidez na visualização dos dados.

O formato de cobertura vectorial normalmente é criado a partir de fontes de informação espacial já existente ou então são gerados directamente do ArcGIS, onde podem ser editados e modificados, com a adição de novos elementos. Este tipo de formato dos dados é representado geralmente, pelo menos, por três ficheiros com o mesmo nome, mas com extensões diferentes:

- Dbf – tabela de atributos;

- Shp – dados espaciais ou geométricos;
- Shx – índice de dados espaciais.

### **Modelo *Raster***

O modelo matricial representa as propriedades de uma determinada superfície, dividindo-a em células regulares, ou *pixels*, sendo que todas as células apresentam sempre a mesma dimensão. Neste caso, quanto maior for a dimensão da célula menor será a resolução ou a precisão dos detalhes representados do espaço geográfico.

Este tipo de arquivo, também chamado formato de imagem ou formato *raster*, pode representar, por exemplo, a informação digital obtida através da captura de imagens de satélite, fotografias aéreas ou câmaras de vídeo, em formatos JPEG, TIFF, entre outros. Este modelo é considerado o mais adequado para a representação de fenómenos geográficos contínuos, como por exemplo a elevação, o declive do terreno e a precipitação, porque apresenta uma estrutura muito simples que facilita a realização de operações de análise espacial.

#### **4.1.1. Procedimento utilizado para a criação do SIG**

Para se iniciar um novo projecto, abre-se um documento em branco do ArcMap, em “New Maps” > “My Templates”, no qual serão armazenadas todas as informações, (geradas ou existentes). Entretanto, para garantir que os dados se ajustem à realidade, deve-se configurar todas as unidades de trabalho, definir o sistema de coordenadas e o tipo de projecção mais adequado à área geográfica em causa, tendo em conta os objectivos de estudo (Figura 4.1).

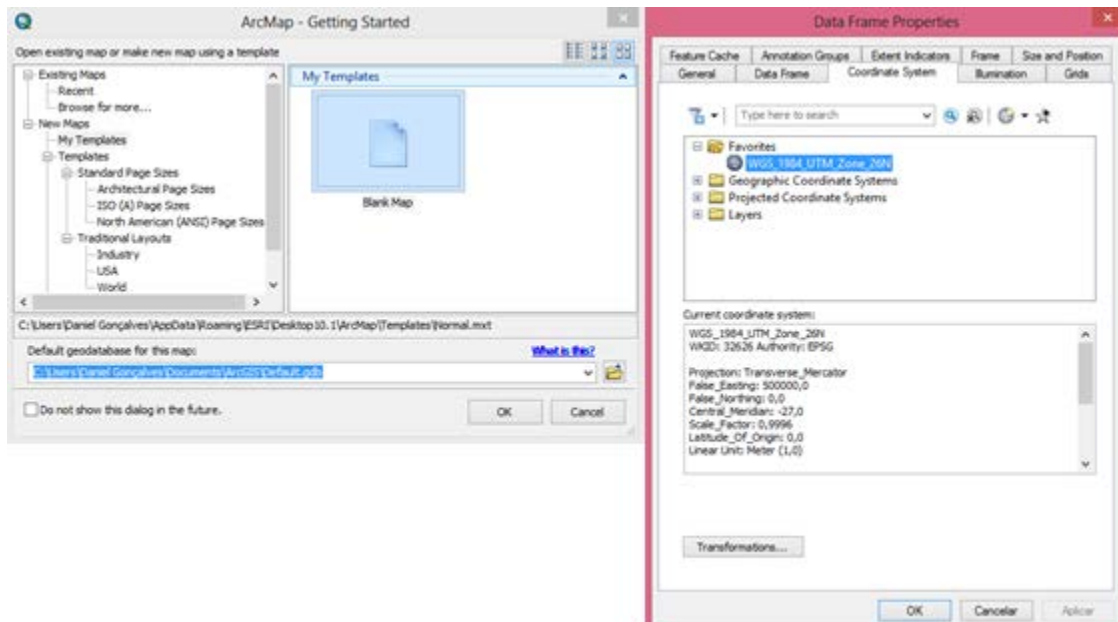
O desenvolvimento deste SIG passou/iniciou-se pela conversão de mapas pré-existentes (Tabela 3) para um formato digital, numa compilação de vários tipos de informação, resultante de trabalhos de campo e de gabinete, que são processadas para a criação de uma base de dados (SIG\_Geológico). Deste modo, obtêm-se os dados necessários para a criação de novos mapas temáticos digitais, nomeadamente o MDT e a carta geológica da ilha de Santa Luzia, cuja importância é fundamental para a caracterização fisiográfica da área de estudo, constituindo mesmo um dos principais objectivos desta dissertação de mestrado.

**Tabela 3:** Cartografia de base utilizada para a construção do SIG

Modelos cartográficos utilizados em SIG	Fontes e data
Carta Militar de Portugal (Ilha de Santa Luzia, Cabo Verde - Escala 1:25.000)	Serviço Cartográfico do Exército, 1972
Ortofotomapas da ilha de Santa Luzia	MAHOT-CV - Governo de Cabo Verde, 2010
Esboço Geológico da ilha de Santa Luzia	Missão GeoFCUL - PLINT, 2008

Normalmente, antes da introdução dos dados, deve-se predefinir o sistema de coordenadas para o georreferencial adequado. Uma vez que o Sistema de Informação Territorial da República de Cabo Verde usa na sua cartografia oficial o Sistema de Coordenadas UTM (Fuso 26, Zona Q), no âmbito deste estudo decidiu-se optar por este georreferencial para futura compatibilidade de dados espaciais. Assim no ArcGIS este sistema de coordenadas projectadas é designado por “WGS\_1984\_UTM\_Zone\_26N” e usa a Projecção Transversa de Mercator, o elipsóide WGS84 e o *Datum* WGS84.

É conveniente que todos os ficheiros que participam no projecto tenham o mesmo sistema de coordenadas do georreferencial. Nesse sentido e sempre que os ficheiros importados apresentem coordenadas diferentes, deve-se efectuar a conversão e transformação de coordenadas entre os diferentes sistemas de referência espacial utilizados, evitando assim a ocorrência de erros na projecção e representação dos dados geográficos. Note-se que a conversão de coordenadas pode ser realizada de forma efectiva, os dados passam a estar noutra sistema diferente do inicial, ou de forma provisória i.e., apenas para efeitos de projecção na área de visualização.



**Figura 4.1:** Criação de um novo documento ArcMap e definição do sistema de coordenadas

Uma projecção cartográfica define a forma como a superfície da terra é representada numa superfície plana de projecção, sendo essa transformação praticamente impossível sem a ocorrência de deformações. A utilização de projecções UTM (Universal Transverse Mercator), sistema de coordenadas métricas, apresenta algumas vantagens na representação cartográfica relativamente às coordenadas angulares, porque facilita o cálculo de distâncias, ângulos e áreas bem como a determinação das coordenadas no mapa, procurando minimizar as deformações introduzidas.

A irregularidade geométrica do geóide torna muito complexa a sua análise e representação, por isso, o geóide é substituído por superfícies com referência geométrica regular e de expressão analítica mais simples, nomeadamente o elipsóide de revolução, sobre o qual podem ser definidas as posições das coordenadas de referência geodésicas de uma determinada região (Matos, 2011).

Um elipsóide pode ser posicionado de modo a ajustar-se a uma pequena zona do geóide ou então a todo o geóide, tomando os locais onde ocorre esse ajustamento as respectivas designações de *datum* local e *datum* global.

O *datum* local é normalmente determinado por entidades nacionais e geralmente são marcados tomando como critério principal a fixação das coordenadas geodésicas, no elipsóide, que deve ser coincidente com as coordenadas astronómicas da região.

Na produção antiga do material cartográfico do Arquipélago de Cabo Verde (Carta Militar de Portugal, Província de Cabo Verde na escala 1/25.000, Serviço Cartográfico do Exército), cujo levantamento dos dados foi realizado nos anos 70 do século passado, utilizaram-se várias referências geodésicas (*datum* local), devido à dispersão do território e falta de visibilidade entre as ilhas, o que impedia a determinação de coordenadas a partir de um único ponto de observação. Nessa cartografia antiga, já desactualizada, nas ilhas de Santo Antão e Santa Luzia utilizou-se o *datum* local “Gudo Cavaleiro”, localizado no centro da ilha de Santo Antão, com coordenadas geográficas 17°08'N e 25°17'W, e 1811 metros de altitude, a partir da qual se pode observar toda essa região. Este *datum* local, já desactualizado, traz sérios problemas quando há necessidade de se proceder à transformação de coordenadas.

Um *datum* global é utilizado internacionalmente e caracteriza-se pelo facto de se ajustar ao geóide no seu todo, tendo como ponto fundamental o centro do elipsóide, que deve ser tão próximo quanto possível do centro de massa da terra, ou seja, o semi-eixo menor do elipsóide deve coincidir com o eixo de rotação da terra; é exemplo o *World Geodetic System – 1984* (WGS-1984).

Nas produções cartográficas mais recentes, em Cabo Verde, utiliza-se o Sistema UTM sobre o *datum* global WGS - 1984. Deste modo, torna-se mais fácil efectuar

transformações de coordenadas e sua utilização em qualquer estudo ou representação cartográfica, ao contrário do que acontece com as cartas mais antigas do arquipélago, em que os sistemas de coordenadas e referências geodésicas se encontram completamente desactualizadas.

O sistema de projecção UTM corresponde a uma tentativa de harmonização global de um sistema de projecção cartográfica, que divide o globo terrestre em 60 fusos, com uma amplitude de 6°, contado a partir do meridiano de referência. Nesta projecção, a divisão também feita em segmentos de 8°, onde são identificadas 20 zonas com letras C até X, sendo apenas aplica entre os paralelos 80°S e 84°N, no sentido S-N. No entanto, as letras I e O são omissas porque podem ser confundidas com números.

Relativamente às zonas polares, para evitar a ocorrência de grandes distorções, normalmente são cobertas por sistemas de projecções com características diferentes, nomeadamente a projecção universal polar estereográfica – UPS. Neste contexto, o Arquipélago de Cabo Verde encontra-se localizado entre os Fusos 26 e 27, Zonas P-Q. A ilha de Santa Luzia situa-se no fuso 26, Zona Q.

Actualmente o Governo da República de Cabo Verde apresenta oficialmente um Sistema de Informação Territorial (SIT-CV), que constitui uma infra-estrutura de dados espaciais do arquipélago que põe à disposição dos utilizadores toda a informação geográfica produzida em Cabo Verde, utilizando as tecnologias modernas, com o apoio de vários parceiros internacionais (Tabela 4). Este serviço, que também se encontra disponível na internet, apresenta algumas das informações fundamentais para a gestão e ordenamento do território, nomeadamente as cartas topográficas, o modelo digital de terreno e os ortofotomapas das ilhas, seguindo as orientações padrão, de acordo com as especificações do OGC (*Open Geospatial Consortium*).

O OGC, anteriormente designado de *Open GIS Consortium*, é uma organização internacional, constituída por instituições de pesquisa de todo o mundo, que colaboram num processo de consenso aberto, com o objectivo de encorajar o desenvolvimento e implementação de *softwares*, padrões de conteúdos e serviços relacionados com os sistemas de informação geográfica e processamento de dados. Graças a esta organização voluntária, actualmente existem padrões consensuais, que definem as políticas de apresentação de informação espacial aberta, garantindo a partilha e interoperabilidade entre os diferentes programas gratuitamente.

No caso em estudo, a análise e interpretação dos ortofotomapas e do mapa topográfico disponíveis fornecem todas as informações necessárias para a criação do SIG, designadamente as curvas de nível, pontos cotados, rede de drenagem entre outras.

**Tabela 4:** Caracterização da informação cartográfica disponível na página oficial do MAHOT-CV

<b>Protocolo OGC:</b> WMS
<b>Descrição:</b> Ortofotos (40 cm/px)
<b>Direcção URL:</b> <a href="http://idecv1.grafcan.es/CaboVerde/OrthoExpress?">http://idecv1.grafcan.es/CaboVerde/OrthoExpress?</a>
<b>Data:</b> 2010
<b>Cobertura Territorial:</b> Abrange todas as ilhas do País, excepto as ilhas de Santo Antão e Fogo.
<b>Informação Técnica:</b> As imagens foram obtidas a partir de vôos fotogramétricos a escala 1:25.000, ortorectificadas, usando orientações directas dos voos e aerotriangulação e corrigidas cromaticamente mediante processos semi-automáticos. Resolução de 40 cm/pixel. Erro planimétrico é inferior a 1,5 m (RMS < 1,5m).
<b>Entidade Responsável:</b> Unidade de Coordenação do Cadastro Predial (UCCP) do Ministério do Ambiente Habitação e Ordenamento do Território (MAHOT)

## 4.2. Digitalização e Georreferenciação dos Ortofotomapas

A georreferenciação pode ser definida como um processo que permite a atribuição de uma referência espacial, ou de um sistema de coordenadas, a um determinado elemento, enquadrado num sistema de informação geográfica.

Os ortofotomapas representam um documento cartográfico rigoroso, resultante a partir de uma fotografia aérea vertical rectificadas, onde normalmente são corrigidos os efeitos de projecção central fotográfica, as distorções da câmara e as ondulações do terreno. Este material é considerado um produto cartográfico, porque apresenta uma escala uniforme, o que permite medir directamente os ângulos, as distâncias e áreas de superfície. Por outro lado, apresenta todas as vantagens de uma fotografia aérea, ou seja, permite uma rápida percepção, localização e estudo dos fenómenos espaciais, constituindo, por isso, uma excelente base de apoio para a construção da cartografia geológica e respectivo SIG.

Os ortofotomapas de todas as ilhas do Arquipélago de Cabo Verde, incluindo o de Santa Luzia, encontram-se georreferenciados e disponíveis nos serviços *online* do MAHOT-CV, podendo ser visualizado através do catálogo de serviços alojado no servidor “www.sit.gov.cv” (ANEXO I). Este pode ser importado para os serviços *WMS Server* do ArcGIS e utilizado para a realização de qualquer trabalho. Contudo, a utilização destes dados apresenta uma grande desvantagem, porque só podem ser visualizados quando este se encontra ligado a uma rede de internet.

Nesse sentido, a captura e georreferenciação dos ortofotomapas, tornou-se num procedimento fundamental, adoptado neste projecto, e que possibilitou a sua utilização mesmo quando não há ligações à *internet*. Para isso e considerando a área deste estudo, efectuaram-se capturas de imagens de ecrã, em mosaicos que se

sobrepõem, na escala de 1/4.000, cobrindo toda a superfície da Ilha e garantindo uma boa resolução da imagem (Figura 4.2).

O mesmo procedimento foi aplicado às imagens *raster* das minutas de campo e a Carta Militar da ilha, (1/25.000), de modo a serem inseridas no projecto. Esta funcionalidade foi extremamente útil para a georreferenciação e vectorização dos arquivos anteriormente referidos, facilitando a criação do SIG e da Carta Geológica, durante a execução deste projecto.

Refere-se que, durante este procedimento, todas as imagens capturadas devem ser guardadas numa pasta, de forma organizada, com nomes específicos e num formato bem definido, sendo também conveniente definir ou confirmar o sistema de coordenadas, com o qual se pretende trabalhar, antes de avançar com a georreferenciação.

#### **4.2.1. Procedimento por Pontos Homólogos**

As imagens a serem georreferenciadas são introduzidas no ArcMap, através da ferramenta “File”>“Add Data”, e guardadas numa pasta específica. Seguidamente deve-se confirmar que se permite a criação de pirâmides, que facilitam a projecção dos dados com diversas resoluções, melhorando a qualidade visual da imagem e na mesma sequência, confirmar que não existe nenhuma referência espacial para a imagem seleccionada.

Para iniciar deve-se utilizar a ferramenta de georreferenciação, no menu principal do ArcGIS “Customize” > ” Toolbars” > ”Georeferencing” e seguir as seguintes etapas:

- Activar o “Auto Adjust”; permite actualizar automaticamente cada *link* criado no ArcMap;
- Seleccionar o nível de informação (*layer*) a georreferenciar (clitando na seta do *layer* existente na barra de ferramentas de georreferenciação);
- Adicionar a imagem;
- Posicionar a imagem no mesmo espaço de visualização dos dados, com a ferramenta “Georeferencing” > “Fit to Display”;
- A ferramenta “Shift” permite movimentar a imagem a georreferenciar, facilitando a localização e marcação dos pontos de controlo “Georeferencing” > “Add Control Points”
- Para finalizar todo o processo, utiliza-se a ferramenta “Georeferencing” > “Update Georeferencing”.

Os pontos de controlo devem ser distribuídos regularmente pela superfície, o que facilita o seu ajustamento em relação ao *raster* georreferenciado, minimizando assim

os desvios e os erros de georreferenciação. Idealmente é necessário conhecer as coordenadas de pelo menos quatro pontos para se efectuar a georreferenciação mas, quanto maior for o número de pontos de controlo seleccionados maior é a precisão e melhor é o resultado da georreferenciação.

À medida que seleccionamos os pontos de controlo, podemos avaliar a qualidade da georreferenciação, através da verificação do erro quadrático médio (RMS - *Root Mean Square*), na tabela de atributos com a ferramenta “Georeferencing” > “View Link Table” (Figura 4.3). O RMS é calculado pela média dos erros residuais de cada ponto seleccionado, sendo possível eliminar os pontos com maior erro residual, no “X” do canto superior da tabela, e adicionar novos pontos de controlo, se necessário, para melhor ajustar a imagem em relação às suas coordenadas reais.

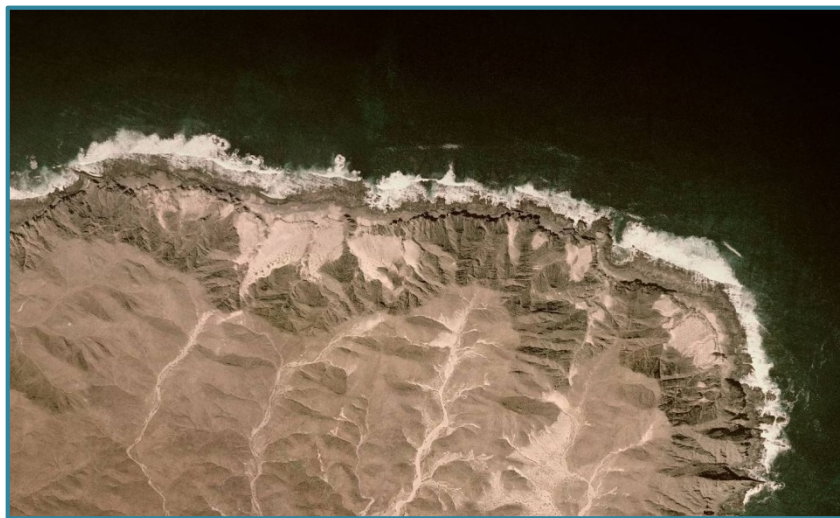


Figura 4.2: Corte em mosaico da parte leste do ortofotomapa da ilha de Santa Luzia a georreferenciar

Georeferencing

Georeferencing CABO\_VERDE\_15\_16.tif

Link

Total RMS Error: Forward:5,89999

Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
<input checked="" type="checkbox"/> 1	9,517540	19,750271	746507,676380	1851678,865203	-5,41715	-2,83656	6,11487
<input checked="" type="checkbox"/> 2	0,444662	21,445968	740542,014855	1852644,725859	-5,28693	-3,09824	6,12787
<input checked="" type="checkbox"/> 3	4,974503	19,805405	743535,626126	1851674,501084	3,46328	4,84378	5,95454
<input checked="" type="checkbox"/> 4	4,990914	21,387626	743534,315676	1852662,609126	3,94835	4,71108	6,14685
<input checked="" type="checkbox"/> 5	1,960429	21,424585	741542,904429	1852652,766247	1,00262	2,78935	2,96407
<input checked="" type="checkbox"/> 6	1,944262	19,843133	741540,701969	1851652,770708	-3,14859	-9,44872	9,95951
<input checked="" type="checkbox"/> 7	6,489368	19,787791	744529,537009	1851679,349803	3,39612	5,19537	6,20689
<input checked="" type="checkbox"/> 8	6,506127	21,371244	744525,598526	1852661,343766	1,0343	-1,82398	2,09683
<input checked="" type="checkbox"/> 9	3,478215	21,406097	742540,261416	1852659,512094	2,4586	5,55398	6,07383
<input checked="" type="checkbox"/> 10	8,003635	19,768939	745520,431403	1851680,036234	0,694417	2,1635	2,27222
<input checked="" type="checkbox"/> 11	3,460685	19,823699	742539,862391	1851665,652472	0,996869	0,0568144	0,998486
<input checked="" type="checkbox"/> 12	8,019471	21,353847	745514,401164	1852659,678461	-3,14188	-8,10637	8,69395

Auto Adjust Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)

Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown

Figura 4.3: Recorte da tabela de atributos, indicando os valores de RMS dos pontos de controlo

Após a georreferenciação deste mosaico de imagens, o novo ficheiro deve ser armazenado em grupo, de modo a facilitar a sua selecção e visualização no ArcMap, como uma imagem única. Deste modo o grupo de imagens “ortofotomapa” da ilha de Santa Luzia fica disponível (ANEXO II), podendo ser utilizado a qualquer momento, para ajudar na construção da base de dados geológica da ilha. Note-se que a precisão dos dados apresentados depende sempre da qualidade da informação original (fonte dos dados) e das técnicas utilizadas durante a sua produção.

#### **4.3. Digitalização e Georreferenciação da Carta Militar (1:25.000)**

A Cartografia Militar (1:25.000) constitui uma carta de base, que tem um carácter generalista, e serve como um documento de referência, fornecendo algumas informações úteis para a criação de uma base de dados e para a produção de cartas específicas para determinados estudos. Neste caso, as informações altimétricas que contém, relacionadas com as curvas de nível e os pontos cotados, são extremamente importantes para a geração do MDT da ilha, o qual vai possibilitar o desenvolvimento de várias cartas temáticas da região em estudo, designadamente os modelos digitais de elevação, sombras, declive e exposição.

O primeiro passo efectuado neste processo foi a digitalização das três folhas da Carta Militar da ilha de Santa Luzia e a sua montagem, utilizando o programa Photoshop. Deste modo, obteve-se uma única imagem da carta topográfica da ilha (Figura 4.4), que deve ser adicionada ao ArcMap, “File” > “Add Data”, e georreferenciada.

O método mais usado para a georreferenciação de mapas consiste na introdução das coordenadas cartográficas absolutas, marcando os pontos de controlo a partir do cruzamento das linhas das quadrículas, como forma de ajustar com maior precisão os dados “Absolute xy”. Contudo, nas representações cartográficas históricas e antigas, as informações de referência espacial e geodésica não se encontram actualizadas, por isso, não são reconhecidas pelo *software*, dificultando a transformação de coordenadas e a georreferenciação das respectivas cartas.

Por esta razão, no caso da ilha de Santa Luzia, para evitar a ocorrência de grandes erros de georreferenciação, aproveitaram-se as referências espaciais da carta disponibilizada na Internet, pelos serviços do MAHOT-CV, para marcar os pontos homólogos e ajustar geograficamente as imagens rasterizadas da Carta Militar. O procedimento utilizado para a georreferenciação desta carta é em tudo semelhante ao utilizado no ponto anterior, para os ortofotomapas, mas a selecção dos pontos de controle, que determinam as coordenadas geográficas, localizam-se sobretudo no cruzamento das quadrículas, entre as linhas dos paralelos e dos meridianos.



Figura 4.4: Composição ou mosaico das imagens *raster* obtidas a partir da Carta Militar por scannerização

#### 4.4. Vectorização dos dados altimétricos da ilha

##### 4.4.1. As Curvas de Nível

A representação gráfica de fenómenos, num conjunto de dados amostrados, que afectam uma determinada superfície geográfica, muitas vezes, é auxiliada pelo estabelecimento de isolinhas, ou seja, por linhas imaginárias que ligam entre si diferentes pontos com o mesmo valor. Normalmente são utilizadas em mapas que representam geograficamente fenómenos como a temperatura, pressão atmosférica, precipitação, poluição e altitude.

No caso da elevação as isolinhas são designadas por curvas de nível ou isoípsas, estabelecendo ligações entre diferentes pontos com o mesmo valor de altitude, ou seja, representam a intersecção do terreno com um plano da superfície numa determinada altitude. Neste tipo de representação cartográfica é muito importante definir a equidistância natural, que corresponde à distância que separa duas curvas consecutivas, e para melhorar a interpretação ou legibilidade da carta algumas dessas curvas, designadas por curvas mestras, são representadas por linhas de maior espessura ou por cores diferentes. No caso em estudo o valor da equidistância natural é de 10 metros e as curvas mestras distam entre si 50 metros.

A sua interpretação é fundamental para a determinação da morfologia geral da superfície, sobretudo quando é feita de forma criteriosa e por técnicos com alguma

experiência nessa área, embora a sua representação não seja tão boa quanto às feições topográficas representadas no modelo digital de sombras. Deste modo, a variação dos valores das curvas de nível permitem compreender o sentido de inclinação do relevo, sendo este tanto mais inclinado quanto mais próximas as curvas estiverem umas das outras.

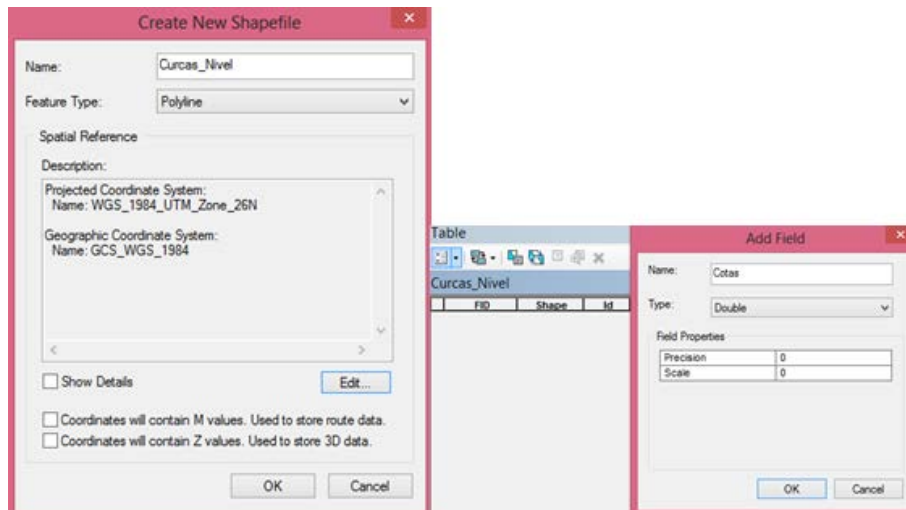
Durante muito tempo este foi o método mais usado para o armazenamento e representação de informações altimétricas, sendo mesmo considerada uma das técnicas mais eficazes utilizada em cartografia. No entanto, pode-se constatar que se trata de uma técnica difícil de executar porque, para além das dificuldades relacionadas com o levantamento dos dados no terreno, esta tem a desvantagem de não apresentar informações das áreas localizadas entre os contornos, podendo induzir-nos a erros de interpolação dos dados espaciais, principalmente nas regiões mais elevadas e de relevo acidentado.

Porém, as curvas de nível também podem ser usadas, com a aplicação de técnicas informáticas de interpolação espacial, para a criação do MDT, que estima os valores de elevação correspondentes a cada célula de uma superfície *raster*, facilitando assim a visualização e análise generalizada do relevo representado. Pelo contrário, as curvas de nível podem ser extraídas automaticamente a partir de um MDT preexistente, sendo conveniente definir, na simbologia, as diferentes classes de altitude de modo a garantir uma melhor representação da realidade morfológica do relevo.

Com a Carta Militar (1:25.000) devidamente georreferenciada, efectuou-se a vectorização das curvas de nível, preservando o seu posicionamento geográfico em relação ao globo terrestre. No entanto, deve-se assegurar de que todo o procedimento seja feito utilizando o mesmo sistema de coordenadas do georreferencial.

#### **4.4.1.1. Procedimento**

Para iniciar o procedimento de vectorização das curvas de nível deve-se criar, utilizando o aplicativo “ArcCatalog” > New” > “Shapefile”, um ficheiro do tipo *polyline*, que corresponde ao nível de informação ou *layer* “Curvas de Nível” (Figura 4.5), onde serão armazenadas as curvas de nível a vectorizar. Nesta sequência, na janela “Create New Shapefile”, define-se o sistema de coordenadas com o qual se pretende trabalhar. Neste caso, escolheu-se a opção pré-definida para este território, onde se utilizou o sistema de coordenadas projectadas WGS\_1984\_UTM\_Zone\_26N.



**Figura 4.5:** Criação da *Shapefile* “Curvas de nível” e do campo de atributos para registo das cotas

Depois de criada a *shapefile*, deve-se seleccionar o *layer* que contém as informações de base a serem vectorizadas, neste caso, o mapa topográfico da ilha, de modo a serem visualizadas no ArcMap, permitindo a vectorização das curvas de nível. Contudo, antes da vectorização propriamente dita, com o botão direito do rato (BDR) na *shapefile* “Curvas\_nivel” selecciona-se a opção “Open Attribute Table”>Table Options”>“Add Fields”, que permite introduzir um novo campo, indicando os valores da elevação, com a designação “Cotas”, que deve ser actualizado logo após a criação de cada curva de nível (Figura 4.5)

Antes de iniciar a edição é muito importante activar o ajuste automático “Snapping”, ferramenta muito útil que permite alinhar automaticamente as diferentes entidades criadas, de modo a conectarem-se de forma precisa, diminuindo a ocorrência de erros durante a edição. A escolha das opções do “snapping” depende muito das necessidades relacionadas com as tarefas de edição a realizar, designadamente a quantidade de dados e a qualidade dos mesmos. No estudo presente, uma vez que se geraram os dados de raiz, foi a escala de trabalho adoptada que determinou a escolha do valor de *snapping* de 10 *pixels*.

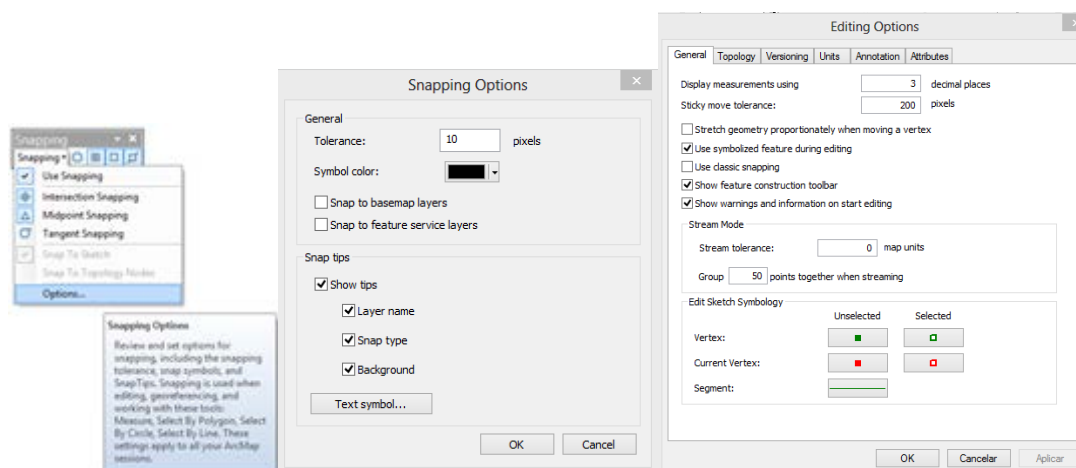
A barra de ferramentas do *snapping* normalmente é mais utilizada do que o *snapping* clássico, porque proporciona um ambiente mais flexível, fácil de usar e com mais opções de ligação entre as entidades. Entretanto, o *snapping* clássico é mais útil para mapas complicados, onde existem muitas camadas sobrepostas.

Normalmente, quando se trabalha com várias entidades geométricas localizadas muito próximas umas das outras, é necessário definir algumas propriedades de alinhamento ou do *Snapping*, determinando um limite padrão de tolerância (10 pixels). Este valor corresponde à distância dentro da qual uma entidade se encontra alinhada com a outra, podendo por isso ser consideradas coincidentes. Quanto maior for a tolerância

de alinhamento, mais entidades podem ser alinhadas (agarradas) ou consideradas coincidentes e menor é a precisão espacial dos dados.

Relativamente às outras opções do *snapping*, destacam-se o “Snap Tips”, que permite visualizar, durante a edição no ArcMap, algumas informações importantes, nomeadamente o “Layer Name”, que apresenta a designação das camadas envolvidas; o “Snap Type”, que mostra o tipo de encaixe, vértices ou arestas; e o “Background”, que adiciona um preenchimento sólido às opções de fundo, por detrás do texto do “snap tips”, de modo a facilitar a sua visualização e não confundir com a imagem *raster* (Figura 4.6).

Entretanto, para evitar que ocorram movimentações acidentais dos dados espaciais vectorizados, durante a edição, é necessário activar e estabelecer uma tolerância de movimentos “Editor > Options > General > Sticky Move Tolerance”, que não possibilita a deslocação de nenhuma entidade vectorizada se o movimento não for superior ao valor do “Sticky Move Tolerance” definido, neste caso o valor de 200 pixels.



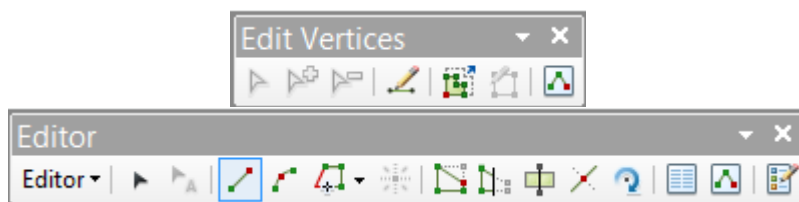
**Figura 4.6:** Definição das principais opções de alinhamento do Snapping

Durante a vectorização das curvas de nível, por vezes acontece que, algumas linhas se encontram muito próximas uma das outras, por isso o cursor tende a ligar automaticamente a linha que está a ser digitalizada à outra pré-existente, sempre que a distância entre eles for inferior ao limite definido para a tolerância no *snapping*. Todavia, para evitar esta situação devemos pressionar permanentemente a barra de espaçamento do teclado, que permite anular ou desactivar temporariamente a tolerância *snapping*, possibilitando a vectorização de linhas muito próximas, sem que haja o risco de se ligarem automaticamente entre si.

Para iniciar a vectorização é necessário activar o modo de edição: “Customize”> “Toolbars” > “Editor”> “Start Editing” e no “Create Feature” seleccionar o ficheiro “Curvas de nível”, onde se pretende armazenar todas as novas informações a serem

criadas. Deste modo, activa-se automaticamente a ferramenta de construção de linhas, permitindo a vectorização das curvas de nível, sobre as cartas topográficas georreferenciadas e tendo sempre o cuidado de verificar se as curvas formam uma superfície fechada, ou seja, se o primeiro e o último vértice são coincidentes.

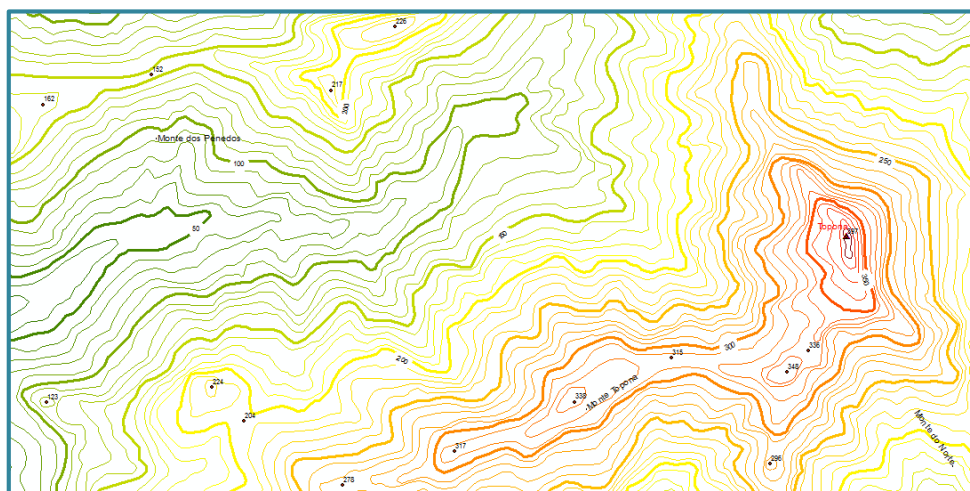
Se, por acaso, o processo de vectorização de uma determinada curva de nível for interrompida ou finalizada acidentalmente, é sempre possível retomar a sua digitalização, utilizando a ferramenta “Continue Feature Tool”, da barra de ferramentas “Edit Vertices”. No entanto, quando se pretende rectificar algumas imperfeições ocorridas durante a digitalização das curvas, pode-se utilizar a ferramenta “Edit Vertices” para corrigir a localização de alguns vértices ou então a ferramenta de edição “Reshape Feature Tool”, que permite remodelar a curva de nível seleccionada, desenhando uma nova linha que a intersecta em dois pontos, ou seja, substitui a secção da curva de nível localizada entre o primeiro e o último ponto de intersecção (Figura 4.7).



**Figura 4.7:** Ferramentas utilizadas para a edição de vértices e das curvas de nível

No final, para guardar a vectorização feita, clica-se em “Editor”>“Save Edits”>“Stop Edits”, terminando o procedimento de edição.

Entretanto, algumas propriedades desta entidade devem ser modificadas, designadamente a simbologia e as etiquetas, que permitem uma melhor identificação das curvas de nível, destacando-se a representação das curvas mestras (Figura 4.8).



**Figura 4.8:** Representação com gradação de cores das curvas de nível, em que as curvas mestras são representadas com um traço mais espesso, e os respectivos valores de altimetria

#### 4.4.2. Os Pontos Cotados

Os pontos são as entidades mais simples de serem criadas, mas igualmente importantes para a representação e caracterização do relevo. Os pontos cotados podem ser distribuídos aleatoriamente ou de forma regular, sendo quase sempre utilizados para representar os pontos mais altos e os mais baixos, que geralmente marcam as regiões localizadas no centro das curvas de nível. Normalmente são marcados, através das suas coordenadas cartográficas ou geodésicas e da sua altitude, directamente no mapa, utilizando as ferramentas de edição adequadas para a construção de pontos.

A vectorização dos pontos cotados passa pelo mesmo procedimento usado anteriormente, mas com a criação de uma nova *shapefile* designada por “Pontos\_cotados”, do tipo “pontos”, mantendo o mesmo sistema de coordenadas do georreferencial. Entretanto, para que a sua representação topográfica seja relevante, deve-se criar um novo campo, na tabela de atributos, onde são registados os valores de cota ou elevação de cada ponto marcado (Figura 4.9), sendo importante verificar, de acordo com os intervalos estabelecidos para as curvas de nível, se esses valores não apresentam nenhuma discrepância, evitando assim a ocorrência de erros de interpolação, na representação do relevo.

Neste caso, para a criação dos pontos, basta seleccionar a entidade de pontos criada, activar a ferramenta de construção de pontos e escolher o local mais adequado para a sua marcação no mapa.

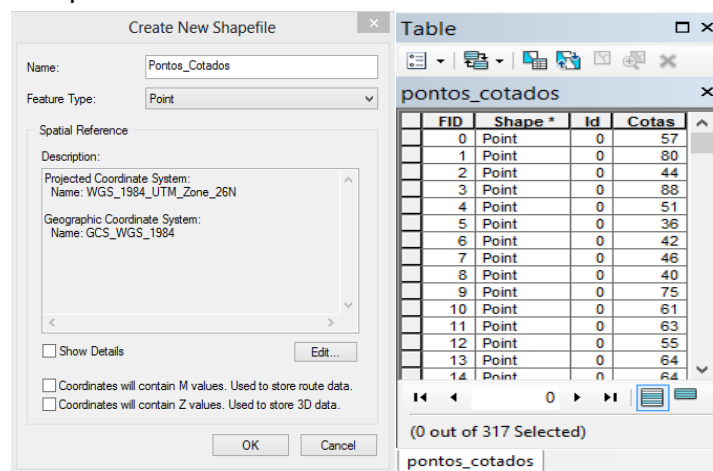


Figura 4.9: Criação da *shapefile* “Pontos cotados” e os seus atributos

Durante o processo de edição, desde que se tenha qualquer ferramenta de construção activa, é possível localizar com facilidade as coordenadas de um vértice ou de qualquer ponto do mapa, colocando o cursor sobre o ponto desejado e pressionando a tecla F6. Deste modo, abre-se automaticamente uma caixa indicando os valores das coordenadas absolutas (X;Y) do respectivo ponto.

A análise das curvas de nível e dos pontos cotados, embora muito simplificada, fornece algumas informações genéricas sobre a topografia e geomorfologia da ilha de Santa Luzia (Anexo III). No entanto a construção do MDT permite uma melhor caracterização destes aspectos da região em estudo.

#### **4.5. Construção do Modelo Digital de Terreno e comparação entre os diferentes modelos produzidos**

##### **4.5.1. Introdução**

O modelo digital de terreno ou de elevação corresponde a uma representação digital e contínua de aspectos topográficos do relevo, distribuindo espacialmente as variações de altitude de uma determinada região ou superfície, numa perspectiva tridimensional. Esses modelos normalmente são produzidos a partir de um número limitado de pontos, que representam apenas uma amostra da superfície real, sendo os valores atribuídos a cada célula da superfície calculados por interpolação dos dados da amostra ou então derivados de outros modelos de superfície.

Segundo Pirotti e Tarolli (2010) um MDE corresponde a um conjunto de recursos e aplicações ambientais relacionados com a terra, que podem ser utilizados de várias maneiras, fornecendo informações aprofundadas sobre os parâmetros morfométricos de uma determinada área de estudo. Normalmente são suportados por um conjunto de dados numéricos que permitem associar à superfície representada no plano cartográfico os valores de altitude.

O MDT pode ser extraído ou derivado a partir de modelos do tipo ASTER ou SRTM, disponíveis na internet, que são produtos obtidos através de diferentes técnicas de detecção remota (radar), constituindo importantes bases de dados geográficos. Os modelos SRTM correspondem ao resultado de uma pesquisa internacional com o objectivo de obter um modelo digital de elevação à escala global e de alta resolução e os modelos ASTER, por sua vez são o resultado de um dispositivo que recolhe imagens de alta resolução sobre o relevo, a partir da emissão e reflexão da temperatura na superfície.

Por outro lado, o sistema LIDAR (*Light Detection And Ranging*), que corresponde a uma tecnologia óptica de detecção remota, mede a distância através da iluminação de um alvo com um laser e analisa a luz reflectida. Funciona de modo semelhante ao sistema de radar, mas envia feixes de luz em vez de ondas de rádio, por esta razão também é designado sistema de radar de laser. Esta tecnologia é muitas vezes utilizada para a produção de mapas de alta resolução, podendo ser utilizado em diversas áreas,

designadamente na recolha de dados altimétricos para a produção do MDT. Também pode ser utilizada para digitalizar estruturas naturais, como arribas e formações rochosas e estruturas artificiais, como edifícios, pontes e outras obras, facilitando a produção de modelos em 3D.

Este sistema de detecção remota permite a realização de levantamentos de campo, com elevada precisão, produzindo avanços significativos na produção cartográfica, nomeadamente na geomorfologia, detecção de falhas e na determinação de descontinuidades entre as formações rochosas que, por vezes, não são perceptíveis no terreno utilizando os meios tradicionais.

A obtenção dos dados para a elaboração do modelo digital de elevação faz-se, na maior parte dos casos, da extracção dos dados altimétricos de mapas topográficos georreferenciados, podendo também ser efectuado directamente através de levantamento de pontos feitos em trabalhos de campo, com o auxílio de um GPS.

No caso em estudo o MDT, incluindo o modelo de sombras, declives e orientação, foi construído de raiz, utilizando as diferentes técnicas de interpolação disponíveis no ArcGIS, com base nos dados altimétricos digitalizados. Os diferentes modelos resultantes devem ser comparados com os modelos disponíveis na internet de modo a determinar qual é a técnica mais eficaz para a sua produção.

Sendo a amostra geograficamente bem distribuída e utilizando um método adequado de interpolação projectam-se os dados para toda a área de estudo, sendo o valor estimado de cada célula normalmente influenciado pelo valor do ponto de amostra mais próximo. Contudo, quando se pretende uma representação mais detalhada da superfície deve-se recorrer a um maior número possível de pontos de amostra, sendo que este pormenor varia conforme as características do fenómeno em estudo. Por exemplo, em topografia a representação de uma elevação ou de um relevo irregular requer maior densidade de amostras do que num relevo plano, onde são necessários apenas alguns pontos.

As ferramentas disponibilizadas pelo ArcGIS, nomeadamente o “Spatial Analyst” e “3D Analyst” são instrumentos fundamentais que possibilitam a representação e análise espacial de superfícies contínuas. A qualidade de um MDT é o resultado de vários factores, que podem ser divididos em três classes:

- Precisão, densidade e distribuição dos dados de origem;
- Processo de interpolação;
- Características da superfície.

### 4.5.2. Modelo TIN

O modelo TIN (*Triangulated Irregular Network*) ou Rede Irregular Triangulada corresponde a um meio de representação digital dos dados geográficos, com base em dados vectoriais, construído a partir da ligação de um conjunto de pontos ou vértices, formando uma rede de triângulos. Para a produção desse modelo de superfícies é aconselhável a utilização do sistema de coordenadas projectadas (métricas) em detrimento das coordenadas geográficas (angulares).

A criação de uma superfície TIN pode ser feita a partir da medição de dados altimétricos, com ficheiros do tipo pontos, linhas ou polígonos, podendo também ser gerado a partir da conversão de uma superfície *raster*. Contudo, a produção deste modelo, em 3D, faz-se pela interpolação e triangulação dos dados altimétricos, utilizando o método de Delaunay. O Critério de Delaunay estipula que para cada triângulo criado, o círculo que passa através dos vértices não engloba outros pontos, produzindo-se deste modo triângulos tão pequenos e equiláteros quanto possível (Piteri, 2007), garantindo uma projecção contínua de dados na superfície.

No entanto, no caso da ilha de Santa Luzia, pode-se constatar que este não é o modelo mais indicado para a representação da superfície, pois apresenta algumas dificuldades na interpolação dos dados, sobretudo para regiões planas, onde a distribuição das amostras é limitada, com poucos ou nenhum valor de cota associado. Neste caso, o modelo TIN obtido apresenta um relevo muito desajustado à realidade, com desconformidades que não correspondem às características geomorfológicas da superfície real.

#### 4.5.2.1. Procedimento

O procedimento consiste em utilizar os referidos dados de elevação, curvas de nível e pontos cotados, e a seguinte ferramenta para a criação do modelo TIN : “3D Analyst Tool” > “Data Management” > “TIN” “Create TIN”. A superfície gerada, por si só, pode ser considerada um MDT, mas também pode ser utilizado como suporte para a construção de modelos com outro tipo de estrutura, como por exemplo os modelos matriciais.

O modelo gerado e a respectiva legenda, permite compreender a variação de classes de altitude da região, expressa em metros (Figura 4.10). Contudo, para além das opções de elevação, no “Properties” > “Layer Properties” > “Symbology” > “Add” > “Add Redender”, pode-se acrescentar ao modelo TIN outras características conforme o

interesse do estudo efectuado, nomeadamente a visualização do declive do terreno “Face Slope With Graduated Color Ramp”.

Entretanto, se o modelo produzido for consistente, este pode ser convertido em formato *raster*: “3D Analyst > Convert > TIN To Raster”, de modo a possibilitar a utilização de outras ferramentas de geoprocessamento e facilitar a análise da superfície (Anexo IV).

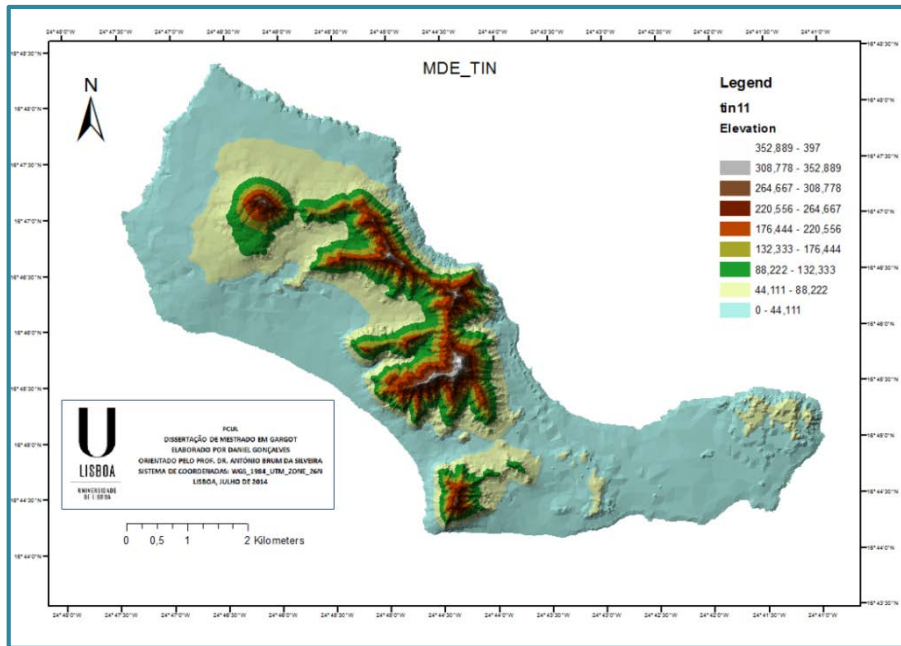


Figura 4.10: Representação do modelo TIN

Geralmente, a qualidade do MDT construído depende muito da qualidade da rede geométrica utilizada na produção do modelo TIN. Como se pode verificar, na Figura 4.11, a distribuição espacial irregular dos pontos e das curvas de nível provoca uma distorção considerável no modelo produzido, daí ser necessário recorrer a um outro procedimento para a elaboração do MDT, de forma a minimizar os erros e criar um modelo capaz de interpolar os dados de forma mais realista e com melhor resolução.

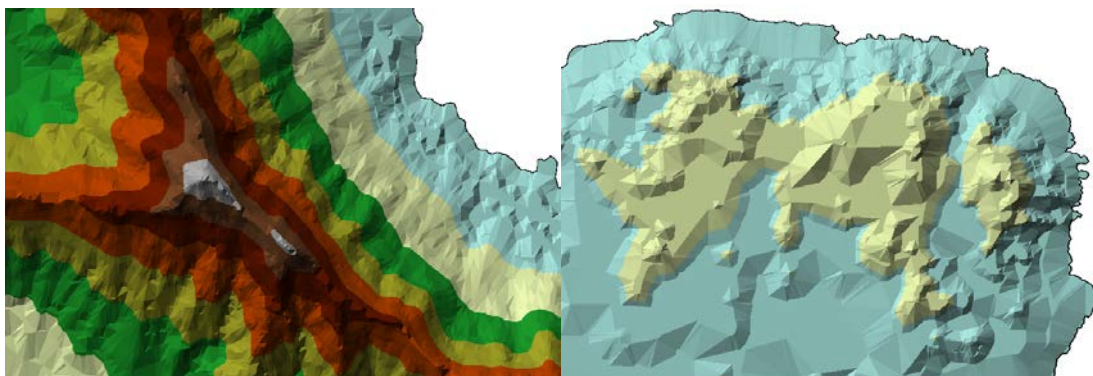


Figura 4.11: Recortes evidenciando a ineficiência do modelo TIN neste caso de estudo nas regiões de ... e Monte Creoulo.

A criação da rede triangular depende da complexidade do relevo, ou seja, os triângulos se adequam à densidade dos pontos recolhidos no levantamento de campo (amostras), sendo a densidade dos triângulos tanto maior quanto mais irregular for o relevo.

Perante essas limitações e para gerar um MDT mais consistente, recorreu-se aos métodos de interpolação espacial disponíveis no ArcGIS. Nesse sentido e tendo em conta que os métodos de interpolação não utilizam as curvas de nível, mas sim apenas dados altimétricos em formato de pontos, foi necessário proceder à conversão de todos os vértices resultantes da vectorização das curvas de nível em pontos, utilizando a ferramenta: “ArcToolbox > Data Management Tools > Features > Feature Vertices To Poits”, e em seguida juntou-se o novo ficheiro ao dos pontos cotados: “Data Management Tools > General > Merge”, associando-se assim todos os dados altimétricos numa única *shapefile* de pontos. A Figura 4.12 mostra a distribuição dos pontos altimétricos no sector norte a nordeste da ilha.

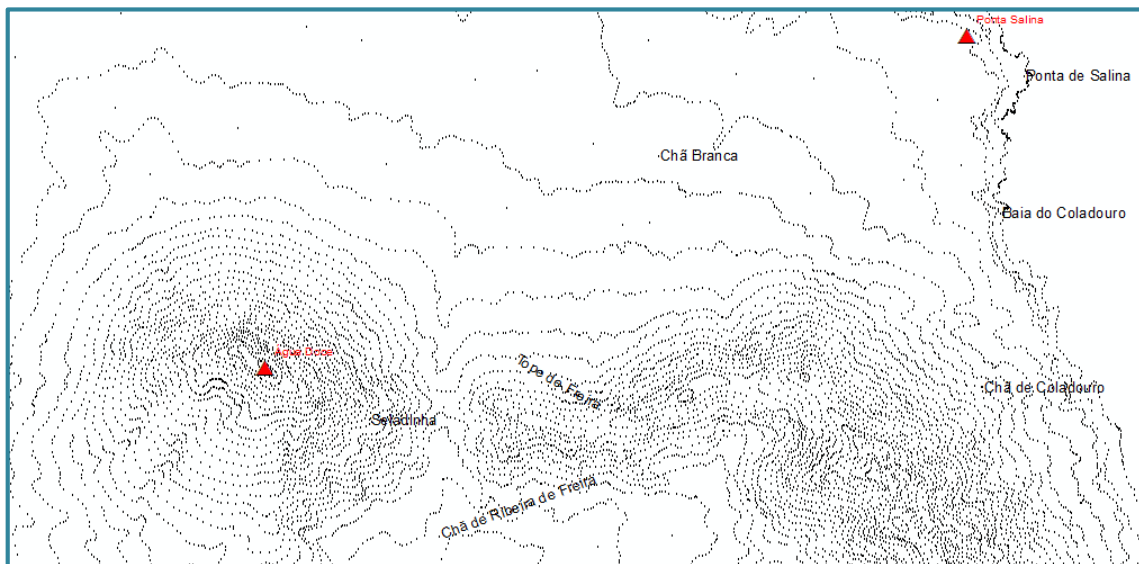


Figura 4.12: Conversão das curvas de nível em pontos

### 4.5.3. Métodos de Interpolação

Existem muitos fenómenos que se distribuem de modo não aleatório, ou seja, apresentam uma estrutura bem definida no espaço. Entre eles podemos destacar os recursos geológicos, recursos hídricos, solos ou a pluviometria de uma região.

No entanto, o estudo desses fenómenos efectua-se normalmente através da recolha de amostras pontuais, discretas, e obviamente insuficientes para cobrir toda a superfície de intervenção. Por esta razão, os resultados de estudo estão sempre

associados a uma certa ideia de incerteza. Segundo Soares (2006), os erros ocorridos durante o desenvolvimento de um SIG originam-se essencialmente devido a três factores:

- Qualidade do material utilizado (Registos de campo, imagens de satélite e imperfeições dos instrumentos utilizados);
- Processamento dos dados no SIG (Codificação, entrada, armazenamento, manuseamento e apresentação de dados);
- Métodos e técnicas utilizadas.

Porém, os erros ocorridos durante a representação dos dados geográficos num SIG podem ser classificados em dois tipos: erros inerentes e erros operacionais. O primeiro resulta da própria natureza dos dados geográficos, ou seja, tendo em conta a escala da superfície, as amostras recolhidas são sempre incompletas e insuficientes. Os erros operacionais, por sua vez, ocorrem principalmente devido às imperfeições nos instrumentos ou nas técnicas utilizadas durante a recolha e processamento dos dados.

A criação de uma superfície por interpolação é um processo que permite fazer a inferência de dados relativos a um determinado fenómeno, que cobre uma determinada superfície geográfica, estimando valores desconhecidos a partir dos dados de uma amostra real, o que faz deste processo uma técnica muito poderosa utilizada na produção e análise de superfícies. Segundo Soares (2006), para a quantificação das características de um recurso natural ou de um fenómeno espacial é necessário dispor de modelos que permitem inferir sobre as grandezas ou fenómenos no espaço não amostrado, a partir das informações disponíveis.

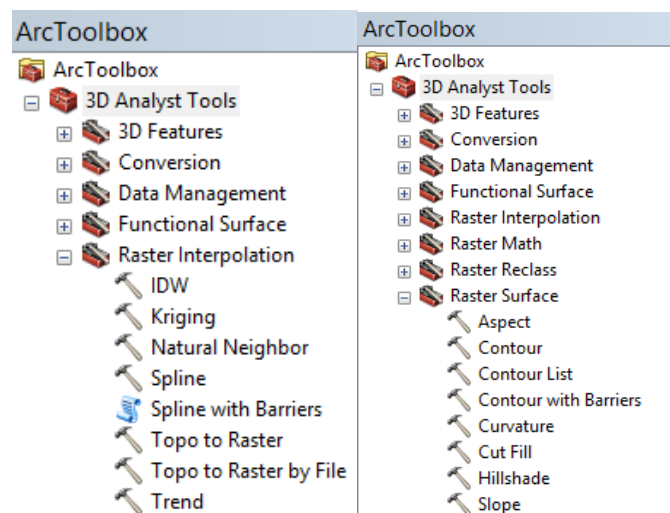
Geralmente os métodos de interpolação de dados espaciais são divididos em dois grupos: métodos determinísticos e métodos probabilísticos, sendo que ambos utilizam uma matriz parcialmente preenchida com determinados valores de amostras recolhidas, tendo como finalidade a obtenção de valores para o preenchimento das outras células sem nenhum valor (Matos, 2008). No entanto, para o mesmo conjunto de dados de amostras, a superfície de interpolação obtida pode ser diferente consoante o método utilizado, ou seja, cada método pode produzir melhores ou piores resultados, conforme o tipo de aproximação aplicado para a inferência e distribuição espacial dos dados.

As opções de interpolação disponibilizadas pelo *ArcGIS*: “ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Raster Interpolation” permitem criar o MDT, utilizando o ficheiro com os dados altimétricos da ilha “Pontos\_Altimétricos” (Figura 4.13). Com a aplicação dessas ferramentas, pode-se escolher diferentes métodos de interpolação, nomeadamente o *IDW (Inverse Distance Weighting)*, *Krigagem*, *Topo to Raster* e *Natural Neighbor (NN)*, cada uma utilizando uma variedade de parâmetros, produzindo resultados diferentes

para os mesmos dados de amostra introduzidos. Contudo, recomenda-se, neste caso, a predefinição do tamanho da célula ou valor de “output cell size” = 10 metros, melhorando a resolução da imagem *raster* e a visualização/análise da superfície representada.

Quando se efectua a digitalização ou transformação de um ficheiro do formato vectorial para o formato *raster* o utilizador deve definir o tamanho do *pixel*, que determina, de certa forma, a precisão e o nível de detalhes da imagem criada, tendo em consideração a escala de trabalho. Normalmente nas imagens com valor de *pixel* muito pequeno é mais difícil de se efectuar o armazenamento e manipulação de dados, tornando o processamento mais lento, mas com melhor resolução e precisão na localização espacial das entidades.

A escolha do método de interpolação mais adequado e o tamanho das células desempenha um papel fundamental na qualidade do modelo. Cada método apresenta um modelo diferente, sendo que cada um pode se adaptar melhor a determinados tipos de dados.



**Figura 4.13:** Selecção dos métodos de interpolação e dos principais modelos derivados do MDT

À semelhança do que acontece com o modelo TIN, os diferentes métodos de interpolação produzem modelos de superfície que permitem a projecção e caracterização do relevo, designadamente através dos modelos de elevação, declive, exposição e a simulação do relevo sombreado. A descrição que se apresenta a seguir, na, mostra a aplicação de alguns dos métodos de interpolação utilizados neste processo e a representação dos respectivos modelos.

#### **4.5.3.1. Inverso de distância**

A fórmula utilizada no método IDW determina os valores das células usando uma combinação linear ponderada de um conjunto de amostras, dentro de um raio específico, sendo que todos os pontos são utilizados para prever o valor de saída para cada local sem amostragem (Burrough e McDonnell, 1988. Neste método, o valor estimado nos nós da superfície a interpolar é calculado ponderando cada um dos valores observados pelo inverso da distância.

Os valores interpolados nunca excedem o máximo nem são inferiores ao mínimo dos dados observados. Por exemplo, não é possível criar sulcos ou vales na superfície se esses extremos não estiverem representados na amostra, por isso, costuma apresentar bons resultados quando os dados da amostra são densos ou distribuídos de forma regular pela superfície, caso contrário o resultado não é o desejado, ou seja, quando as amostras são mais dispersas o relevo apresenta alguma desconformidade e um aspecto pouco realista (Watson e Philip, 1985).

#### **4.5.3.2. Krigagem**

Trata-se de um método geostatístico que considera a dependência espacial da variável. Este método produz modelos espaciais com base em técnicas que permitem construir modelos probabilísticos necessários para determinar se uma região geográfica pertence ou não a um determinado objecto ou classe.

A krigagem é considerada o método mais adequado para a manipulação de dados relacionados com o estudo do solo, do relevo e da geologia em geral. Contudo, a sua aplicação prática é um processo complexo que exige conhecimentos de estatística para permitir que os resultados se ajustem à realidade. Uma das maiores dificuldades relaciona-se com a necessidade de modelar adequadamente o variograma.

#### **4.5.3.3. Interpolação pelo método *Topo To Raster***

O *Topo to Raster* é uma ferramenta que possibilita a interpolação de dados de contorno e a criação de modelos digitais de elevação, permitindo uma análise hidrologicamente correcta da superfície representada (Huchinson e Dowling, 1991).

Este método apresenta uma combinação das características dos métodos de interpolação locais (*IDW* e *Natural Neighbor*) e globais (*Krigagem* e *Spline*), utilizando técnicas computacionais capazes de representar, de uma forma mais coerente as diferenças de elevação da superfície, nomeadamente as descontinuidades de terreno,

os rios e as cordilheiras. O *Topo To Raster* admite algumas restrições na interpolação dos dados, que permitem a identificação dos máximos e mínimos locais das curvas de nível e das áreas de maior inclinação, produzindo um modelo de superfície com padrões de drenagem conectados e preservando/tolerando a ocorrência de cristas e das depressões, ao contrário do que acontece com o método *IDW* e *Krigagem*.

#### **4.5.3.4. Vizinho natural (Natural Neighbor)**

Método que faz a interpolação dos dados através da média ponderada dos valores dos pontos vizinhos. Sendo que as suas coordenadas definem a influência que cada ponto da amostra terá sobre a superfície de interpolação.

À semelhança do que acontece com o *IDW* a superfície representada é limitada pelos valores dos dados de amostra e normalmente não produz no relevo os picos, sulcos e vales se os respectivos valores não estiverem incluídos nas amostras de entrada.

Este método de interpolação suporta um grande número de dados ou pontos de amostras, funcionando de forma eficiente, quando esses se encontram distribuídos regular ou irregularmente, mesmo quando as amostras têm uma dispersão agrupada ao longo da superfície (Watson 1992).

### **4.6. Apresentação dos Resultados**

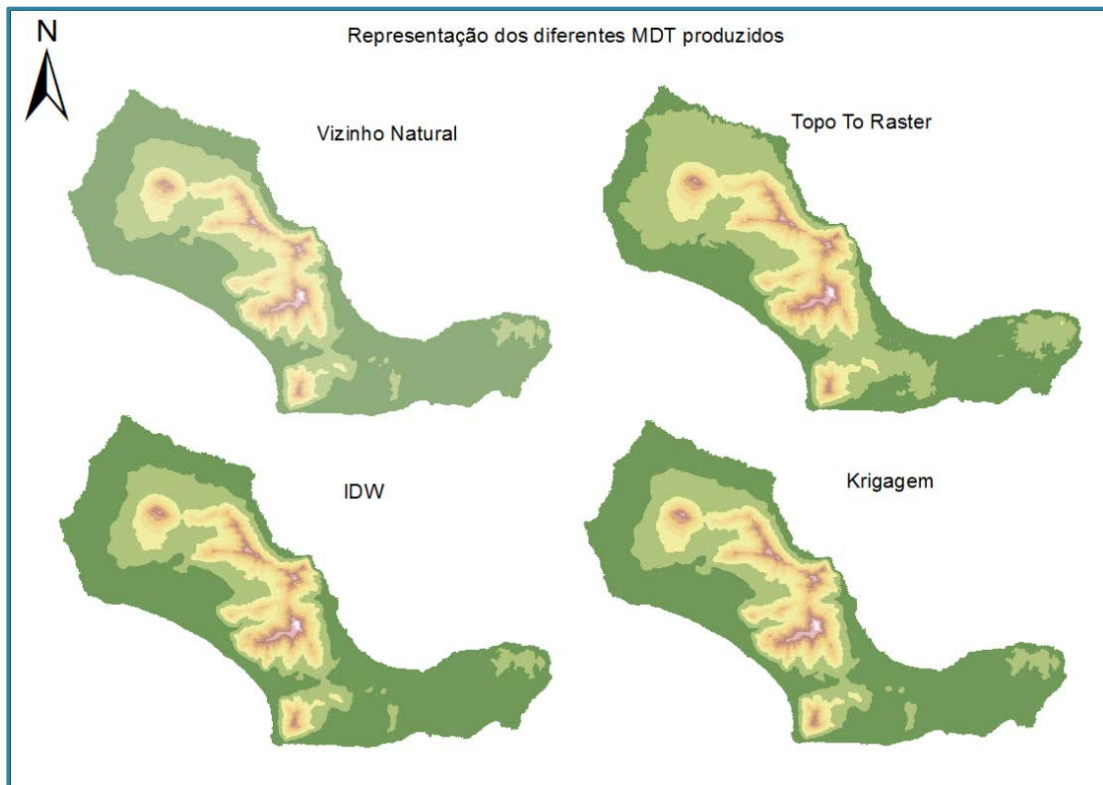
#### **4.6.1. O Modelo digital de terreno ou de elevação**

Todos os modelos de elevação apresentam geralmente alguma divergência na representação das informações relativamente aos dados do terreno, independentemente dos critérios utilizados para a recolha das amostras, tendo em conta as características da região e o tipo de estudo que se pretende realizar. Como se pode verificar em seguida, através de uma análise visual qualitativa dos diferentes modelos produzidos, os resultados são relativamente diferentes para o mesmo conjunto de amostras, tendo em conta a fórmula ou algoritmo utilizado na interpolação, em função da densidade de distribuição das amostras.

As cartas hipsométricas são formas de representação do relevo criadas com o objectivo de diferenciar as zonas ou classes de altitude, que normalmente são representadas por cores diferentes, facilitando a análise da superfície e a legibilidade do resultado final.

A estrutura do MDT está intimamente ligada à forma como as curvas de nível se apresentam, designadamente deve-se verificar a horizontalidade das curvas de nível (situações em que os vértices não ocorrem no mesmo plano), respeitar os valores da equidistância natural e evitar que as curvas se interceptem. A distribuição dos dados altimétricos, que podem ser apenas pontos cotados, fornece uma estrutura que possibilita a derivação de modelos de sombra e declives, permitindo a análise de consistência e a detecção de potenciais incorrecções no modelo produzido.

Depois de gerar os diferentes modelos procede-se à sua análise comparativa, tendo em conta a sua qualidade e a precisão dos dados representados. Entretanto, como se pode verificar na Figura 4.14, para o conjunto de dados de amostra disponíveis neste estudo, a comparação dos diferentes modelos de elevação não fornece informações suficientes para se chegar a uma conclusão sobre a sua qualidade e dos métodos utilizados, com excepção da região leste da ilha (Monte Creoulo) onde evidenciam-se algumas diferenças na interpolação dos dados.



**Figura 4.14:** MDT gerados com diferentes métodos de interpolação

Pelo contrário, a análise dos outros modelos produzidos, designadamente o modelo de sombras e de orientação das vertentes fornecem mais informações sobre a qualidade e eficiência das técnicas utilizadas para a sua produção.

#### 4.6.2. O Modelo Digital de Sombra ou de Luminosidade

Este modelo permite a observação de uma determinada superfície de relevo, a partir da sua sombra, numa perspectiva tridimensional, tendo em conta a posição do sol. Esta constitui uma das técnicas mais realistas de representação de uma superfície matricial, atribuindo determinados valores de iluminação para cada célula em função da posição da fonte luminosa utilizada, que pode até ser imaginária.

A determinação do Azimute e da Altitude são fundamentais na qualidade do modelo de sombras, porque controlam a posição do sol e a produção de sombras, tornando mais evidentes e reconhecíveis determinados aspectos da topografia, nomeadamente o declive e a orientação das vertentes, ajudando na análise geomorfológica da superfície.

O azimute corresponde à direcção angular do sol medida em sentido horário ( $90^\circ$  - Este e  $180^\circ$  - Oeste). A alteração do valor do azimute expõe células diferentes à luz, modificando assim o aspecto da sombra. Por outro lado, a altitude representa o ângulo de iluminação da superfície em relação ao horizonte:

- $0^\circ$  - Nível do horizonte, logo de manhã;
- $90^\circ$  - Zénite, por volta do meio-dia;
- $180^\circ$  - Nível do horizonte, no final da tarde.

A variação da altitude modifica a forma como a superfície é iluminada e, dependendo da posição real do sol e da geomorfologia da região representada, torna a sombra mais longa ou mais curta. Normalmente os valores de iluminação de cada célula, numa superfície *raster*, variam entre 0 e 255, sendo que às células matriciais em sombra se atribui um valor 0 (zero), porque não se encontram iluminados. As regiões que se encontram expostas ao sol reflectem muita luz, por isso, representam as áreas mais claras, enquanto as encostas não iluminadas geralmente não reflectem a luz e aparecem no modelo como áreas mais escuras e sombrias, sendo este resultado também influenciado pela orientação do declive relativamente à fonte de iluminação.

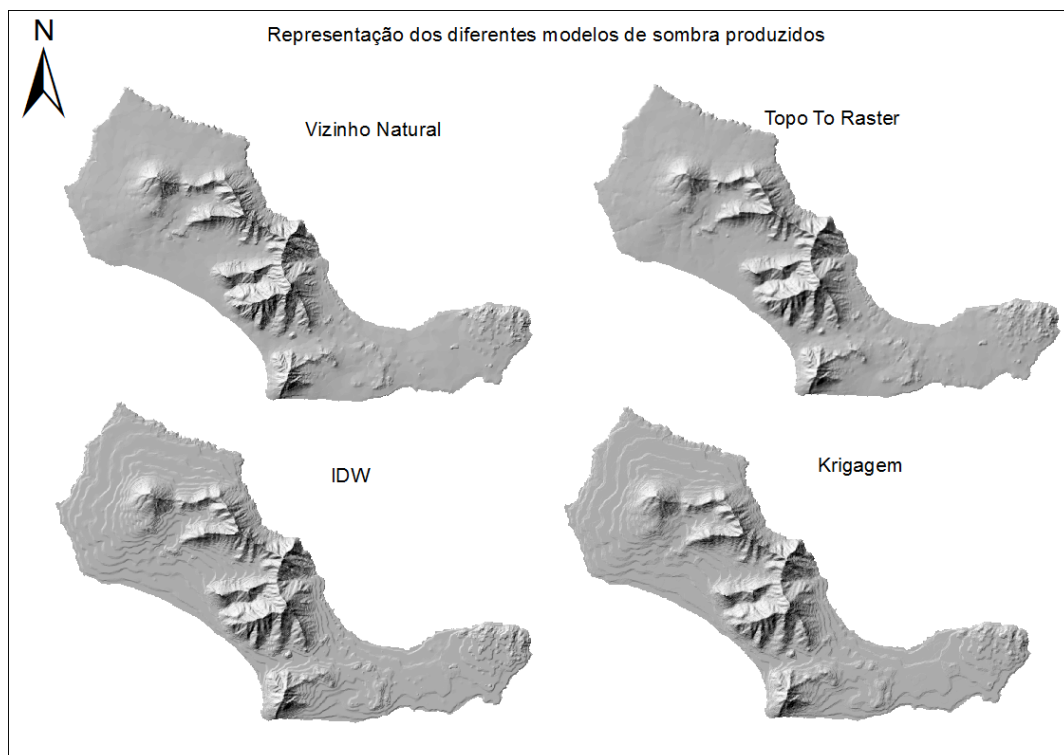
De acordo com o padrão utilizado no ArcGIS, a maioria dos modelos de sombreamento gerados para fins cartográficos devem sempre ter o sol posicionado a noroeste, ou seja, com valores padrão de azimute  $315^\circ$  e altitude  $45^\circ$ . Entretanto, se a fonte luminosa estiver numa outra posição diferente pode-se criar um efeito visual anómalo, que faz com que alguns morros ou cristas das elevações pareçam buracos no modelo de sombras representado.

A produção do modelo de sombras faz-se com a ferramenta: “3D Analyst > Raster Surface > Hillshade”. Este modelo melhora consideravelmente a visualização e análise morfológica da superfície em estudo, produzindo o efeito 3D, por esta razão, é muitas

vezes utilizado como imagem de fundo, sobreposto por outros modelos *raster*, com alguma transparência.

A apreciação visual dos modelos produzidos permite-nos efectuar uma confrontação directa entre modelos, determinando um modelo de referência que pode ser utilizado em operações de análise espacial ou para um determinado objectivo. O modelo digital de sombras é aquele que oferece melhores condições para se efectuar a análise de qualidade externa e comparada entre os diferentes modelos produzidos. Deste modo, pode-se verificar que os modelos métodos de interpolação *Natural Neighbor* e *Topo To Raster* apresentam melhor qualidade, apresentando resultados gráficos muito interessantes, com uma projecção mais realista dos aspectos geomorfológicos e estruturais da superfície representada. Por outro lado, os métodos *IDW* e *Krigagem* apresentam uma margem de erro relativamente grande na interpolação dos dados (Figura 4.15).

A análise desses modelos mostra que os erros de interpolação estão localizados mais ou menos na mesma região da ilha, por isso pode-se concluir que a sua ocorrência está relacionada provavelmente com a distribuição das amostras. Nos métodos *IDW* e *Krigagem*, geralmente os erros são maiores e mais frequentes nos sítios com menor densidade de amostra, tendência que se torna cada vez mais significativa em áreas caracterizadas pelas morfologias mais simples (Godone e Garnero, 2013).



**Figura 4.15:** Modelos digitais de sombra, gerados com diferentes métodos de interpolação

### 4.6.3. Mapa de declives

O modelo digital de declive corresponde a um mapa que representa a inclinação ou percentagem de inclinação de uma determinada superfície em relação ao plano horizontal. O declive de uma fracção de terreno é inversamente proporcional à distância entre as curvas de nível e compreende duas componentes essenciais:

- Gradiente ou nível máximo de variação de altitude e;
- Orientação que corresponde à sua direcção.

Geralmente obtém-se, pelo cálculo da taxa máxima de variação/alteração dos valores de cada célula em relação aos seus vizinhos. Este modelo pode ser produzido através da ferramenta: “3D Analyst > Raster Surface > Slope”.

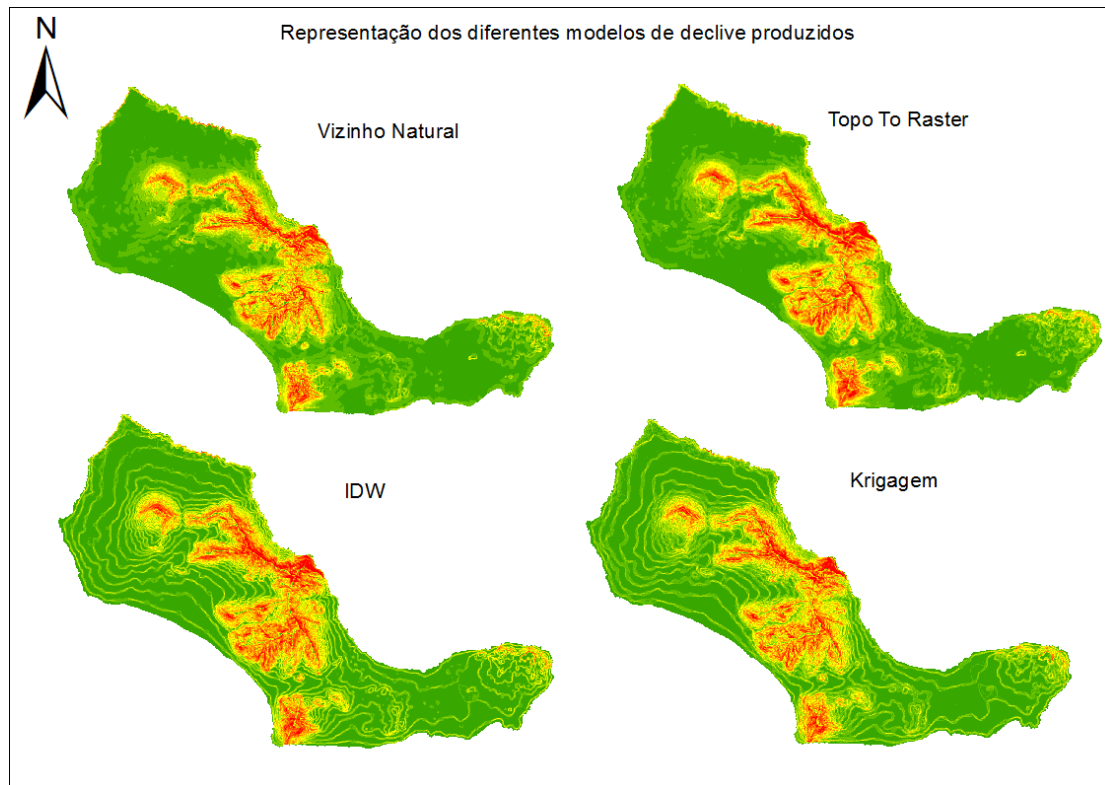
Convencionalmente, como se pode verificar na legenda da Figura 4.16, as células de cor verde correspondem às regiões de relevo mais suave e aplanado que evoluem até às de cor vermelha, que representam as áreas mais inclinadas e escarpadas.

Por outro lado, a interpretação do histograma de declives (Figura 4.17) permite-nos dividir o território da ilha de Santa Luzia em classes, conforme a percentagem de inclinação correspondente. Deste modo pode-se considerar 6 classes de declive:

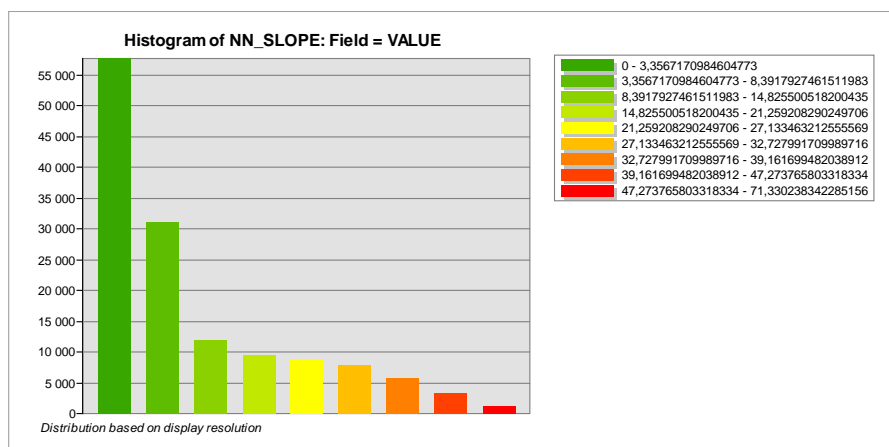
- 0 a 8% - Declive fraco a moderado
- 8 a 15% – Declive moderado
- 15 a 21% – Declive moderado a forte
- 21 a 27% – Declive forte
- 27 a 39% – Declive muito forte
- > 39% – Declive extremamente forte

Depois de analisar esses dados, pode-se verificar que o relevo da ilha de Santa Luzia é dominado pela ocorrência de formas aplanadas, com declive fraco a moderado. No entanto, as formas de relevo mais inclinadas e com declives mais acentuados se localizam preferencialmente no centro da ilha, onde se destaca uma cordilheira de formações montanhosas.

Habitualmente, este tipo de mapa é sempre muito útil em estudos relacionados com a topografia. Contudo, também pode ser utilizado na análise e monitorização das precipitações, da erosão, condições de acesso e até mesmo em estudos de base para a ocupação do solo e ordenamento do território.



**Figura 4.16:** Mapas de declives, gerados com os diferentes métodos de interpolação



**Figura 4.17:** Representação das classes de declive em percentagem (Histograma)

#### 4.6.4. Exposição

O modelo de exposição corresponde a um mapa que representa as medições de orientação da declividade de uma determinada superfície em relação ao norte.

Para a produção do modelo de orientação em ArcGIS utiliza-se a ferramenta: “3D Analyst > Raster Surface > Aspect”, que permite identificar a exposição e orientação ou

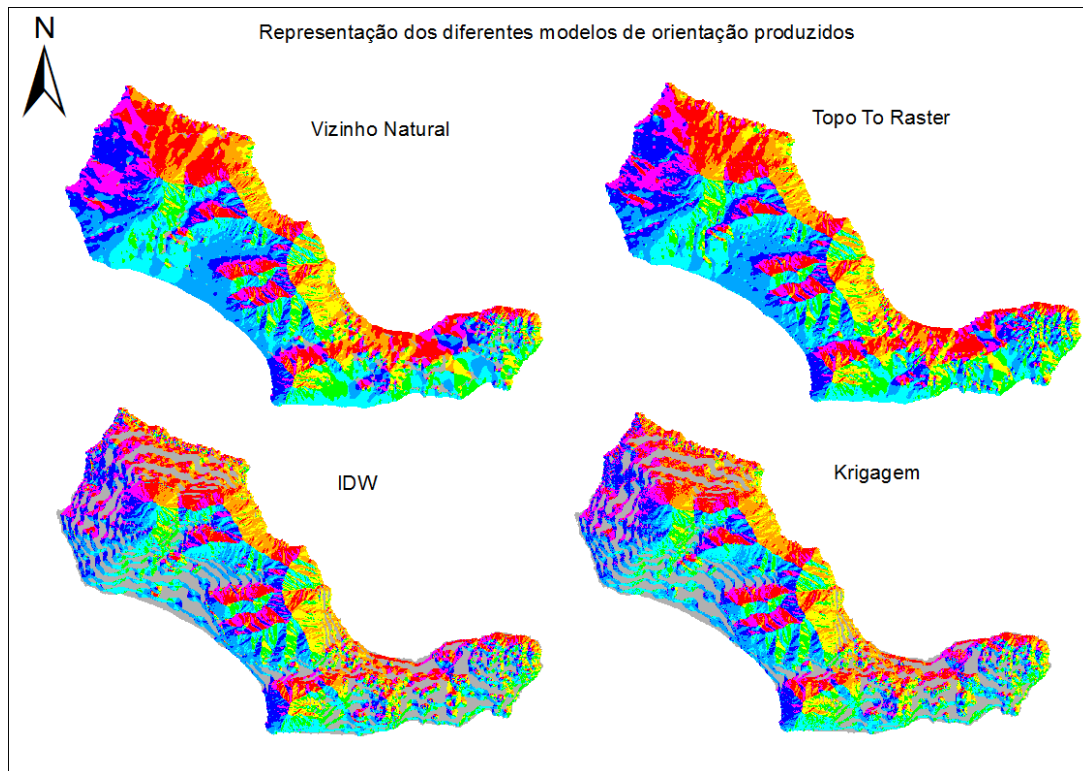
direcção das encostas, tendo em conta os valores da elevação e a inclinação (declive) do terreno, produzindo um mapa, que representa a direcção do declive de cada uma das células em relação aos seus vizinhos (Figura 4.18).

Numa carta de orientação das vertentes normalmente são determinadas nove classes de orientação, designadamente para N, NE, E, SE, S, SW, W, NW e terreno plano, com os respectivos valores associados (Figura 4.19). Os valores de exposição de cada célula são direcções angulares que variam entre 0 e 360°, em sentido horário, sendo que 0° corresponde ao norte, 90° a leste, 180° ao sul e 270° a oeste. No entanto, quando o mapa apresenta regiões com declive nulo (0° em áreas planas) atribuem-se-lhes um valor de exposição igual a -1 (Flat (-1)).

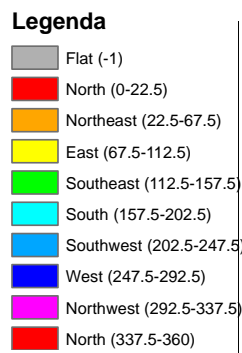
A carta da exposição permite determinar a irregularidade topográfica e deduzir o impacto dos factores climáticos nalgumas características biofísicas do território, a partir da análise da orientação dos declives. Este mapa permite a visualização do grau de exposição das vertentes, o que nos pode auxiliar em análises e estudos relacionados principalmente com o índice de insolação (variação da exposição aos raios solares) ou mesmo compreender os processos erosivos das encostas, provocadas pela exposição ao vento e às precipitações. Contudo, deve-se considerar a influência da direcção predominante do vento e das chuvas.

Geralmente a exposição/orientação das vertentes em relação aos ventos dominantes e a altitude constituem elementos fundamentais para a caracterização do clima de uma região. Por esta razão, normalmente no hemisfério norte e em Cabo Verde em particular, as vertentes com orientação a norte e a nordeste estão expostas aos ventos alísios de nordeste, o que favorece a ocorrência de um clima relativamente fresco e com alguma humidade, contrariamente, às regiões com vertentes inclinadas a sul, que encontram-se directamente expostas aos ventos quentes e secos, provenientes da região subsaariana, favorecendo a ocorrência de climas bastante áridos nessas encostas. Contudo, a ilha de Santa Luzia, de um modo particular, possui um clima muito árido, provavelmente por causa da sua pequena dimensão, do seu relevo relativamente aplanado e sobretudo das fracas precipitações que ocorrem na região.

De todos os modelos de interpolação produzidos, pode-se finalmente concluir que os modelos de orientação e de sombras são os que melhor servem para fazer um estudo comparativo entre os diferentes métodos utilizados, sendo os erros localizados preferencialmente nas regiões da área de estudo onde a declividade ou inclinação do terreno muda rapidamente, para além das zonas com densidade de amostra baixa.



**Figura 4.18:** Mapas de Exposição das vertentes, gerados com diferentes métodos de interpolação



**Figura 4.19:** Legenda das oito (8) principais direções de orientação das vertentes

Entretanto, os métodos que apresentam melhores resultados são o *Natural Neighbor* e *Topo To Raster*, apresentando uma superfície mais ou menos contínua e sem grandes irregularidades, considerando-se a amostra utilizada. Deste modo, pode-se observar que, nos modelos de sombra, declive e de exposição produzidos através desses métodos, as principais estruturas geomorfológicas e de drenagem encontram-se mais ou menos bem definidas, principalmente no método do vizinho natural, em que o modelo produzido apresenta uma qualidade muito boa e equivalente ao disponibilizado na página do Ministério do Ambiente Habitação e Ordenamento do Território de Cabo Verde, na internet. Esses modelos são relativamente estáveis e possuem um comportamento homogêneo neste tipo de estudo, apresentando resultados muito próximos da realidade, comprovando que as técnicas computacionais

aplicadas com esses dois métodos são mais eficientes para a interpolação dos dados, sem perder a continuidade da superfície representada.

Por outro lado, os métodos IDW e krigagem apresentam piores resultados, o que demonstra alguma incapacidade para modelar superfícies irregulares, sobretudo em regiões montanhosas e de declive acentuado, ou em locais onde a amostra é limitada, resultando na produção de mapas que não representam de forma realista a superfície em estudo.

Apesar de tudo, esses modelos podem funcionar bastante bem, mas só devem ser aplicados quando o conjunto de dados de amostra for suficientemente denso, de modo a permitir a captação de todas as informações necessárias para a análise da superfície. O facto de as amostras serem mal distribuídas no espaço ou insuficientes sobre o relevo poderá conduzir a discrepâncias consideráveis nas zonas de maior variação de forma do relevo.

#### **4.7. Rede de Drenagem**

A rede de drenagem corresponde a um sistema de canais formado por todos os cursos de água mais ou menos organizados de uma região. Geralmente essas linhas de água encontram-se conectadas entre si, permitindo a drenagem ou escoamento à superfície de toda a água proveniente das chuvas, das regiões mais elevadas para as mais baixas, desaguando em lagos ou no mar.

A formação e evolução da rede drenagem é um processo que leva milhares de anos, sendo geralmente acompanhado por vários processos geológicos, com destaque para a acção das águas pluviais na modelação do relevo. A formação de um sistema de drenagem é de importância fundamental para o escoamento das águas superficiais, garantindo a estabilidade dos solos e das formações geológicas, e diminuindo a aceleração dos processos erosivos ao longo dos tempos. Entretanto, nos casos em que as precipitações são torrenciais, a movimentação de corpos sólidos pelas águas aumentam a capacidade de erosão e desregulam os padrões de drenagem, podendo mesmo provocar a ocorrência de fenómenos como os deslizamentos e desmoronamentos de terras.

No caso concreto da ilha de Santa Luzia, as suas características climáticas, do tipo árido com episódios de chuva torrenciais, associadas ao forte declive das vertentes e a ausência de vegetação influenciam directamente os processos de erosão, infiltração e a regulação da velocidade de escoamento superficial, determinando e modelando a forma da rede hidrográfica da região em que dominam os sistemas de leque aluvial pouco canalizados e os extensos mantos de depósitos de vertente.

No presente estudo, para aumentar o rigor da representação da rede de drenagem, utilizaram-se as ferramentas de análise hidrológica do ArcGIS 10.1, a partir do MDT anteriormente construído.

#### **4.7.1. Procedimento**

Todo o processo de análise hidrológica faz-se utilizando o MDT, criado anteriormente, e as ferramentas: “Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Direction”, que permitem modelar as principais direcções de fluxo ou movimentação da água numa imagem *raster* (Anexo V).

A direcção de fluxo de cada célula em relação às oito (8) células vizinhas é calculada em percentagem (%), tendo em conta a variação máxima de elevação entre as células. Segundo Jenson e Domingue (1988) este procedimento normalmente segue o modelo das oito direcções (8D), ou seja, o modelo padrão que codifica a direcção de escoamento ou fluxo de uma superfície.

No entanto, muitas vezes ocorrem erros na digitalização/interpolação do MDT que produzem pequenas depressões ou pias, dificultando a análise hidrológica da superfície. Contudo, essas anomalias podem ser identificadas, utilizando a ferramenta “Sink” e “Fill”, para corrigir, resultando num MDT “sem depressões” mais funcional do ponto de vista da análise hidrológica.

A delimitação das bacias hidrográficas é um procedimento que também pode ajudar na análise hidrológica de superfície, criando um *raster* que identifica todas as células ou conjunto de células ligadas entre si e que apresentam o mesmo sentido de escoamento.

Utilizando o ficheiro *raster* de entrada “Flow Direction” e a ferramenta “Hydrology > Basin” pode-se delimitar todas as bacias hidrográficas da Ilha, ou seja, todas as áreas geograficamente limitadas, onde todos os cursos de água fluem para o mesmo local. Geralmente o fluxo de drenagem ocorre das zonas mais altas e acumula-se nas regiões de menor elevação, nomeadamente no rio principal e no mar.

O fluxo acumulado de uma superfície *raster* determina-se, calculando a soma acumulada de todas as células que fluem numa determinada direcção. Normalmente as células com elevado valor de fluxo acumulado representam as áreas que identificam os talwegues, enquanto as com um escoamento acumulado reduzido ou mesmo nulo representam os interflúvios.

A utilização da ferramenta “Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Accumulation (Input-Flow Direction)” permite criar, por processos automáticos, o mapa de fluxo acumulado da Ilha, apresentando os principais planos de acumulação e drenagem de água.

A obtenção das linhas de drenagem propriamente ditas passa pela utilização do mapa de fluxo acumulado e a ferramenta “Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator” onde podemos definir as propriedades e as condições pretendidas para a criação da rede de drenagem. Para isso é necessário utilizar a ferramenta “Stream To Feature”, que permite converter os resultados do fluxo acumulado numa rede linear de escoamento, utilizando fórmulas que abrangem apenas as células com um valor de escoamento acumulado acima de um determinado valor, por exemplo 120, ignorando todas as células com valores inferiores a este limite.

Depois de definida a rede de drenagem, a ferramenta “Stream order” permite classificar cada segmento da rede, atribuindo um valor hierárquico numérico a cada linha de água. Normalmente são utilizados dois métodos de hierarquização distintos:

1. Método proposto por Strahler (1952), em que um dado segmento de canal é considerado de primeira ordem quando não tem nenhum outro canal afluente. Uma linha de água de primeira ordem só aumenta para a segunda quando cruza com uma outra da mesma ordem, ou seja, a intersecção de uma linha de primeira ordem e outra de segunda ordem resulta numa nova linha de segunda ordem, em vez de criar uma nova linha de terceira ordem.
2. Método de fluxo ordenado por magnitude, proposto por Shreve (1967): todas as linhas de água sem afluentes são consideradas de primeira ordem. No entanto, segundo o mesmo autor, quando estas linhas se cruzam com uma de segunda ordem, as magnitudes são adicionadas, formando uma linha de terceira ordem.

A análise dos resultados da rede de drenagem, produzida em ArcGIS, mostra que este não seria o melhor procedimento para a produção da rede de drenagem desta ilha, provavelmente pelo facto dos dados altimétricos utilizados não terem uma boa distribuição, ou seja, não fornecem elementos suficientes para uma boa representação do sistema de drenagem da ilha de Santa Luzia, como se pode verificar na Figura 4.20. Por esta razão procedeu-se à vectorização da rede de drenagem da ilha directamente do ortofotomapa, tomando como base de trabalho a Carta Militar, à escala 1:25.000 (Figura 4.21).



O estudo da rede de drenagem e das bacias hidrográficas tem um papel muito importante porque ajuda na compreensão de vários processos activos envolvidos na modelação e evolução da paisagem (Christofolletti, 1980).

No caso de Santa Luzia, pelo facto de esta ser uma ilha desértica e desabitada, o impacto da perigosidade de inundações e cheias é baixo. Contudo, o seu estudo é relativamente importante para a análise geomorfológica e para a compreensão dos fenómenos erosivos que modelaram a superfície da ilha ao longo dos tempos. O estudo do comportamento ou configuração da rede de drenagem da ilha de Santa Luzia serve como base, podendo ajudar na análise da estrutura geológica e geomorfológica da região.



# Capítulo 5

## 5. Construção da Cartografia Geológica

### 5.1. Introdução

As cartas geológicas são uma ferramenta científica fundamental para o conhecimento dos recursos geológicos de uma determinada região, fornecendo as informações necessárias, que facilitam a decisão das estratégias de utilização e ordenamento de território, constituindo também um documento estratégico para o desenvolvimento sustentado, com implicações na economia (Rebelo, 1999).

As informações mais relevantes que se destacam numa carta geológica são:

- Litologia, idade relativa e localização das diferentes formações geológicas;
- Estruturas relacionadas com a actividade tectónica da região (falhas, filões, dobras e inclinação das camadas);
- Informações de base cartográfica que servem de apoio à produção da cartografia geológica (curvas de nível e pontos altimétricos);
- Informações sobre a rede de drenagem.

Todas as cartas geológicas devem apresentar uma coluna cronostratigráfica, que relaciona as várias unidades geológicas em termos cronológicos, evidenciando o contacto entre elas e a eventual existência de descontinuidades. É também frequente a representação de perfis, traçados segundo determinadas direcções, que facilitam a interpretação das principais estruturas geológicas existentes (Rebelo, 1999).

Neste tipo de documento, normalmente faz-se a representação gráfica de todas as formações geológicas. Quando as cartas são de natureza digital, nos atributos, adicionam-se algumas informações complementares, nomeadamente a descrição das unidades geológicas cartografadas, sequência cronológica (idade relativa), cortes geológicos e outras informações com interesse sobre a região. Todas as informações adicionais, que não fazem parte da legenda, são apresentadas num documento à parte, sob a forma de uma “Notícia Explicativa” da carta geológica.

Apesar do aumento na produção de cartas digitais, a utilização de cartografia impressa em papel, como instrumento de medida e análise de dados, continua a ser uma ferramenta muito importante sobretudo para estudos e trabalhos de campo. Entretanto, os produtos cartográficos em formato SIG são mais versáteis do que um mapa produzido por técnicas tradicionais, porque a cartografia digital tem maior flexibilidade na exploração e actualização dos dados.

Neste caso de estudo e como já foi referido anteriormente, os dados de campo que serviram como principal suporte para a construção do mapa geológico da ilha de Santa Luzia, foram recolhidos durante a “Missão (PLINT, 2008). Refere-se que, na impossibilidade de se efectuar a datação absoluta das amostras recolhidas, foram os critérios de campo (vulcânicos, geomorfológicos, petrográficos, entre outros) que permitiram definir com relativa clareza os limites entre as diferentes unidades geológicas, a serem cartografadas.

Todo o processo de construção da cartografia geológica digital consistiu essencialmente num trabalho de gabinete, onde toda a informação geológica foi integrada; para além dos dados de campo utilizaram-se também os dados obtidos através da detecção remota (fotointerpretação de imagens de satélite e ortofotomapas). Deste modo, criou-se uma base de dados georreferenciada, que também inclui os dados sobre o modelo digital de terreno, cujo processo de construção foi apresentado no capítulo anterior. Essas informações foram processadas, de modo a serem utilizadas no ArcGIS, com o objectivo principal de auxiliar na vectorização dos diferentes elementos, permitindo a construção da cartografia geológica digital da ilha de Santa Luzia.

## **5.2. Digitalização e georreferenciação das minutas de campo**

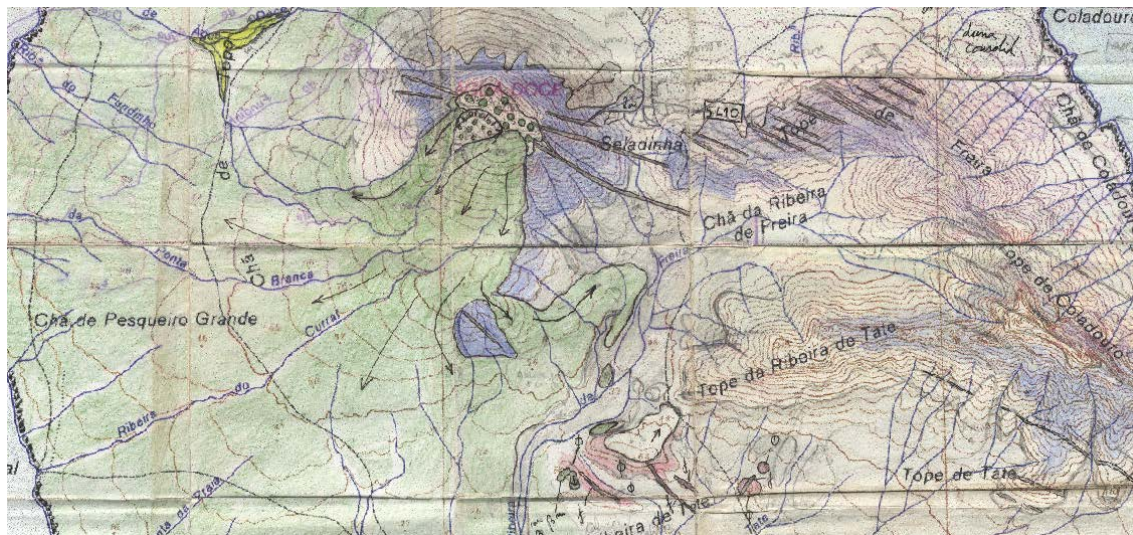
O processo de digitalização corresponde a toda e qualquer técnica que permite a transformação de um documento analógico, em papel, para um meio digital, ou seja, a conversão de todos os elementos de um mapa convencional para um formato compatível com a utilização em meio computacional.

Geralmente o método mais utilizado é a digitalização de um documento através da utilização de um *scanner*, que consiste num processo de geração de uma imagem em formato matricial ou *raster*. Neste caso, as minutas de campo, à escala de 1:10.000, foram digitalizadas por um *scanner*, que não tinha a capacidade de capturar imagens completas das folhas. Por esta razão, as diversas imagens obtidas foram agrupadas utilizando a ferramenta “Autophootomerge” integrada no *Photootoshop* (Adobe). Deste modo, obteve-se uma única imagem *raster*, que representa o esboço geológico da ilha de Santa Luzia, que foi georreferenciado em ArcGIS e utilizado como base de trabalho para a construção do mapa geológico da ilha.

Este mecanismo de digitalização apresenta a vantagem de garantir a produção de um documento digital de boa qualidade, a baixo custo e sem despender muito tempo.

A georreferenciação das minutas de campo (Figura 5.1) foi feita utilizando-se o mesmo procedimento que o usado anteriormente para a Carta Militar (no capítulo 4). Ao

terminar todo o processo de digitalização e georreferenciação das minutas de campo, procedeu-se à vectorização individual das entidades que contêm informações relacionadas com cada uma das formações geológicas, de modo a transformar esse esboço geológico numa carta geológica digital.



**Figura 5.1:** Excerto de uma das minutas de campo da ilha de Santa Luzia.

### **5.3. Criação de uma base de dados geológica**

Uma base de dados em SIG corresponde a uma estrutura que permite organizar, analisar e armazenar todas as informações, gráficas e alfanuméricas, correspondentes a um determinado objecto, numa determinada área geográfica.

A sua constituição integrada num SIG está relacionada com a criação de diferentes entidades, que constituem um projecto, e dos seus atributos organizados numa tabela. Através da base de dados é possível estabelecer relações específicas entre as informações disponíveis na tabela de atributos, de acordo com os objectivos de estudo propostos. Normalmente, todos os dados representados em SIG possuem duas componentes indissociáveis, onde cada representação espacial corresponde a uma descrição alfanumérica de um determinado elemento geográfico.

A construção de uma base de dados é um processo que requer a definição de uma estrutura de dados bem organizados. O tipo de base de dados mais utilizados em SIG é o modelo relacional, onde os dados são representados sob a forma de tabelas, correspondendo ao modo mais elementar de armazenamento de informações numa base de dados. Numa tabela relacional, uma linha é constituída por um conjunto de atributos que caracterizam cada uma das entidades representadas, e uma coluna permite estabelecer uma relação comparativa entre cada linha de dados

correspondentes a um determinado atributo. Refere-se que num sistema de informação geográfica, a informação deve estar organizada de forma a não haver sobreposição, nem em termos gráficos nem alfanuméricos.

No caso em estudo, a base de dados geológicas da ilha de Santa Luzia apresenta uma estrutura bastante simples, com poucos campos na tabela de atributos, tal como se apresenta nas tabelas seguintes (Tabela 5, Tabela 6, Tabela 7 ). Mesmo assim constitui um elemento importante porque Estabelece ligação entre as informações gráficas e alfanuméricas, Facilitando a manipulação e visualização das informações.

**Tabela 5:** Entidades do tipo pontos representados na base de dados geológica

Entidades do tipo pontos	Atributos
Pontos cotados	Cota
Toponímia	Nome
Vértices geodésicos	Nome

**Tabela 6:** Entidades do tipo linhas representados na base de dados geológica

Entidades do tipo linhas	Atributos
Drenagem	Nome de algumas ribeiras
Curvas de Nível	Cota
Crateras	.....
Falhas	Comprimento
Filões	Comprimento

**Tabela 7:** As principais formações vulcânicas (polígonos) representados na base de dados geológica

Unidades Sintémicas	Unidades Litossomáticas	Unidades Litoestratigráficas (Formações e Membros)	Símbolos
Sintema de Água Doce	Vulcão de Água Doce	Formação de Água Doce: Membro de Pesqueiro Grande	mPGpicβ mPGpidβ mPGβ
		Formação de Água Doce: Membro de Ponta Salina	mPSβ
		Formação dos Penedos (Domos e Coullées)	FmPn
Sintema de Penedos	Edifício Subaéreo de Penedos e Tate	Formação dos Penedos (Domos e Coullées)	FmPn
Sintema de Topona	Edifício Subaéreo de Topona	Formação de Topona: Membro de Monte de Penedos	mMP
		Formação de Topona: Membro de Topona e Espia	mTE
Sintema de Rocha Negra	Edifício Subaéreo de Rocha Negra	Formação de Rocha Negra	FmRN
Sintema de Monte Creoulo	Edifício Submarino de Santa Luzia	Formação de Monte Creoulo	FmMC

**Tabela 8:** Representação dos depósitos sedimentares (polígonos) na base de dados geológicos

Formações sedimentares (Polígonos)	Símbolos
Depósitos de Vertente	dv
Depósitos de Leques Aluviais	la
Depósitos de Aluviões	a
Depósitos Eólicos (Dunas consolidadas e activas)	de
Praias de areias e cascalheiras actuais	ap
Praias Antigas dos 0 metros	pa <sub>1</sub>
Praias Antigas dos 3-5 metros	pa <sub>2</sub>
Praias Antigas dos 12-15 metros	pa <sub>3</sub>
Praias Antigas dos 21-26 metros	pa <sub>4</sub>

#### **5.4. Vectorização dos Elementos Geológicos**

O processo de vectorização dos diferentes elementos geológicos foi efectuado de forma interactiva, a partir do esboço geológico de campo e ortofotomapas devidamente georreferenciados, e consistiu basicamente em desenhar as linhas ou polígonos, que representam as respectivas entidades geológicas, usando diferentes ferramentas de edição vectorial.

As minutas de campo apresentavam-se em mau estado de conservação, pelo facto de terem sofrido algum desgaste durante os trabalhos de campo, o que contribuiu para a ocorrência de alguns erros (por exemplo, distorção) durante os processos de digitalização e georreferenciação.

Devido às más condições de acesso a alguns locais da ilha (por exemplo, em zonas de forte declive), bem como ao reduzido tempo de permanência em Santa Luzia, algumas áreas não puderam ser cartografadas com o rigor pretendido. Nesse sentido, a fotointerpretação ganha um grande protagonismo, favorecendo a identificação dos elementos geológicos, com rapidez e versatilidade, garantindo a sua correcta localização. Como exemplo, salienta-se o caso da cartografia da rede filoniana, extremamente difícil de realizar no terreno e que, através da fotointerpretação nos ortofotomapas foi efectuada com extremo rigor.

No processo de produção da carta geológica, encontraram-se algumas dificuldades, nomeadamente, a grande quantidade de depósitos sedimentares que cobrem uma boa parte da superfície da ilha e que dificultam a definição dos limites geológicos exactos entre as principais formações vulcânicas por eles encobertos.

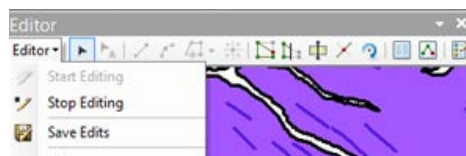
Como já foi referido anteriormente, o primeiro passo na construção do Sistema de Informação Geográfica da ilha de Santa Luzia, foi a definição do Sistema de

Coordenadas do Projecto (ou *Data Frame*). Neste caso optou-se pelo Sistema de Coordenadas Projectadas UTM (“WGS\_1984\_UTM\_Zone\_26N”).

Seguiu-se a criação, no ArcCatalog, de novas *shapefiles*, que representam cada uma das classes de entidades. É vantajoso garantir que todos os ficheiros com dados geográficos a serem trabalhados estejam armazenados na mesma pasta ou *geodatabase*, para que possam ser editados simultaneamente, sendo também importante que todos tenham o mesmo sistema de coordenadas.

Normalmente, logo depois da criação de uma entidade deve ser-lhe atribuída uma simbologia, de modo a melhorar a apresentação e organização do trabalho. Por isso, para além da geometria da entidade, deve-se escolher bem as designações, cores e símbolos que reflectam de forma clara a realidade, minimizando a confusão entre as diferentes entidades representadas. Para cartografar as manchas das diferentes litologias (padrões de afloramentos) deve-se atribuir às entidades a geometria do tipo polígono, determinando assim as principais ferramentas de construção a utilizar e a forma como podem ser editadas e armazenadas na *geodatabase*.

Quando se inicia uma sessão de edição, a barra de ferramentas do Editor disponibiliza um conjunto de comandos e ferramentas que permitem a realização de diferentes tipos de trabalhos de edição, designadamente iniciar e parar a sessão de edição, criar novas entidades, modificar as já existentes e guardar todas as alterações efectuadas durante a edição (Figura 5.2).

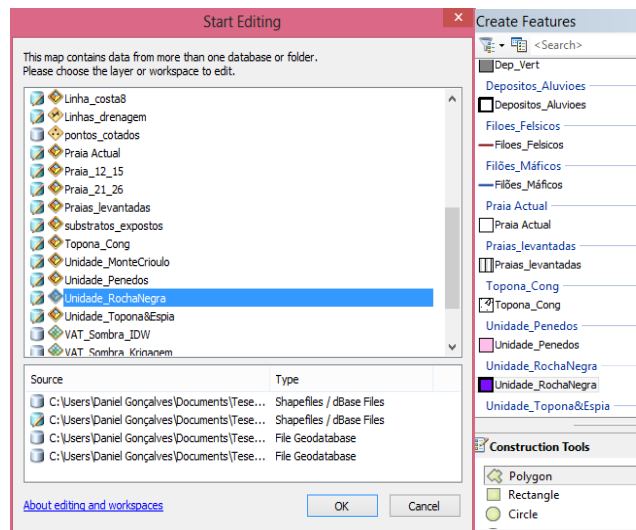


**Figura 5.2:** Barra de ferramentas do Editor

Geralmente os comandos da barra de ferramentas do Editor estão sempre activados mas, por vezes, estão ocultados e só ficam disponíveis para serem utilizados quando estiverem reunidas todas as condições para isso, ou seja, dependendo das características da entidade seleccionada, activam-se automaticamente as ferramentas de construção padrão, com especificidades apenas para a determinadas tarefas de edição de linhas ou de polígonos.

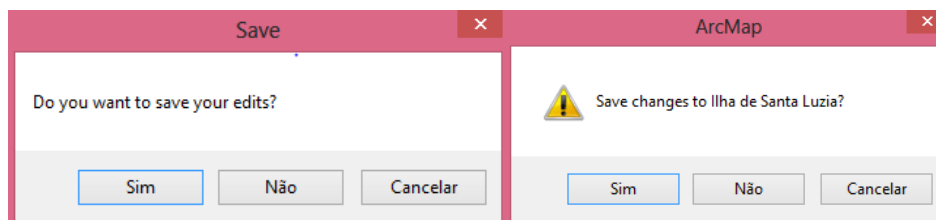
Quando se pretende criar e editar uma nova entidade no mapa, o primeiro passo a seguir é iniciar a edição, na barra de ferramentas do *Editor* > “Start Editing” e, depois de seleccionar a entidade com a qual pretendemos trabalhar, através da ferramenta do Editor “Create Feature” (Figura 5.3) faz-se uma rápida localização e selecção da entidade a ser editada, definindo automaticamente um modelo padrão de construção e a forma como as informações serão armazenadas na tabela de atributos, conforme

se trata de um modelo de linhas ou de polígonos. Porém a escolha adequada das ferramentas de construção economiza tempo e melhora a precisão do esboço produzido.



**Figura 5.3:** Seleção das entidades e das ferramentas mais adequadas para a edição

Durante a edição das informações em ArcMap é sempre aconselhável gravar frequentemente todas as alterações, de modo a garantir que os dados sejam armazenados de forma permanente na *geodatabase* “Editor > Stop Editing > Save Editing” (Figura 5.4).



**Figura 5.4:** Funcionalidades que permitem guardar as alterações de edição em ArcMap

Na produção de um mapa geológico deve-se assegurar que as linhas de fronteira entre as diferentes entidades geológicas devem coincidir, sendo por isso necessário utilizar as técnicas de edição mais adequadas, de modo a evitar que os diferentes polígonos se sobreponham ou que haja vazios entre eles e garantir que os dados representados formem uma estrutura contínua.

Como foi referido anteriormente, utilizando as informações de base disponíveis e as ferramentas adequadas de edição, pode-se iniciar a construção do mapa, sendo muito importante verificar se as camadas a serem editadas se encontram activas na tabela de conteúdos e manter activadas as opções de ajuste do “Snapping”.

A construção de um polígono novo pode ser feita utilizando a ferramenta padrão de construção, nomeadamente a ferramenta “Polygon”, que permite desenhar os limites

de polígonos que não tenham fronteiras adjacentes com nenhum outro. Contudo, sempre que necessário, podemos também utilizar as outras ferramentas de construção ou as ferramentas adicionais existentes na barra de ferramentas do Editor, para remodelar o polígono, e quando estiver satisfeito com a forma do esboço deve-se finalizar a sua construção, pressionando a tecla F2, fazendo duplo clique ou então com a ferramenta “Finish Sketch” do Editor, que também se pode encontrar no menu de contexto, para isso basta clicar o botão direito do rato. Porém, muitas vezes antes de iniciar a vectorização das manchas, é aconselhável a utilização da simbologia transparente “No color” ou de alguma transparência, facilitando assim a visualização dos limites entre as diferentes formações geológicas.

Logo depois de marcar o primeiro vértice, aparece uma pequena barra de ferramenta, flutuante e semi-oculta, que facilita o acesso a algumas das ferramentas mais utilizadas durante a edição, com destaque para a barra de construção de polígonos “Feature Construction” e a barra de edição de vértices “Edit Vertices” (Figura 5.5), aumentando assim a produtividade dos trabalhos realizados.



**Figura 5.5:** Barras de ferramentas de construção e de edição de vértices

Quando se pretende construir um polígono que partilha as suas fronteiras com um outro polígono já existente, podem-se utilizar outras ferramentas de construção ou edição de polígonos, que permitem não só a criação de novos polígonos como também a remodelação e alteração de polígonos já existentes.

Neste contexto, a ferramenta “Auto-Complete Polygon” permite a digitalização de um polígono adjacente não sobreposto, traçando automaticamente o segmento que estabelece o limite entre os dois polígonos. O procedimento consiste em seleccionar o polígono, activar a ferramenta “Auto-complete Polygon” e só depois desenhar o limite não coincidente do polígono, tendo sempre em atenção que este deve interceptar a fronteira coincidente entre os polígonos em dois pontos (no início e no fim). Esta ferramenta é utilizada para desenhar polígonos adjacentes, que representam a mesma classe de entidades, não sendo obrigatório iniciar e concluir a construção do polígono nas zonas de intersecção, pois a fronteira em comum é reconhecida automaticamente, formando uma estrutura contínua e o polígono novo é traçado a partir desta referência, evitando assim a digitalização da mesma fronteira duas vezes.

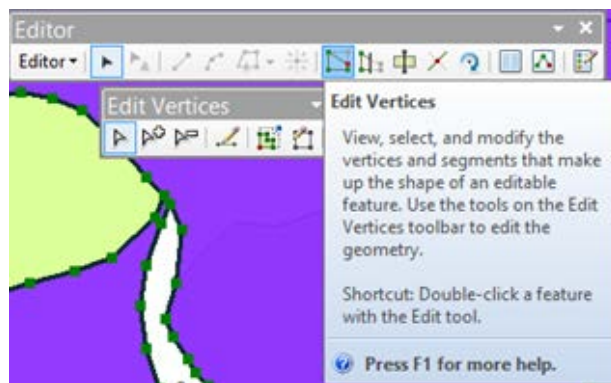
Neste caso, o polígono adjacente criado pode corresponder a uma extensão dos limites do polígono anterior e em alguns casos também pode corresponder à integração de buracos, ou vazios, existentes no mapa. Nessas situações, quando os polígonos se sobrepõem ou partilham limites e que pertencem à mesma classe de

entidades, torna-se necessário fundir as fronteiras existentes entre os polígonos adjacentes, utilizando a ferramenta “Merge”, que junta as duas entidades num único polígono, preservando apenas um dos seus atributos.

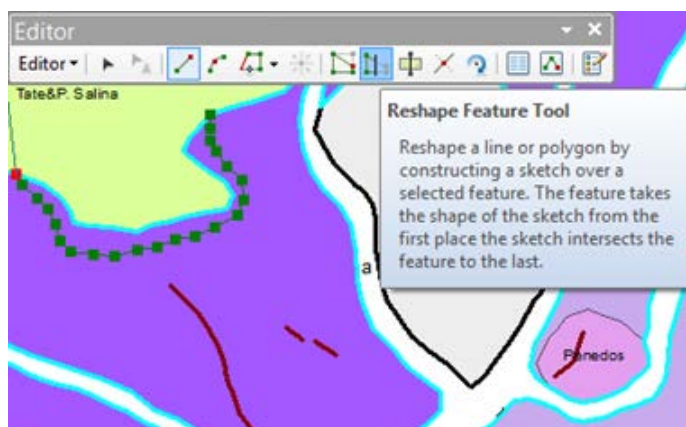
Durante a produção cartográfica, depois da construção dos polígonos, muitas vezes, surge a necessidade de modificar os seus limites, de modo a que o modelo representado se adapte melhor à realidade. Para isso, encontram-se na barra de ferramentas do Editor uma diversidade de soluções e métodos, nomeadamente a ferramenta “Trace”, O editor de vértices, a ferramenta de remodelação de entidades “Reshape Feature Tool” e a ferramenta de corte de polígonos, que permitem a alteração da forma dos polígonos, mantendo o ajuste dos limites coincidentes e a representação de uma superfície continua no mapa.

Um dos métodos utilizados para alterar a forma dos polígonos é através da edição dos seus vértices. Com a ferramenta de edição “Edit Tool”, selecciona-se o polígono a editar, fazendo um clique sobre ele no mapa, ou então um duplo clique para editar os seus vértices, podendo esses vértices ser simplesmente seleccionados através da ferramenta do Editor “Edit Vertices” (Figura 5.6). No entanto, utilizando a barra de ferramentas “Edit Vertices”, pode-se arrastar, eliminar ou introduzir novos vértices, sendo também possível seleccionar vários vértices em simultâneo, podendo ser arrastados para outro local ou então eliminados quando for necessário, alterando ou redefinindo assim a forma do polígono seleccionado.

Existem outros métodos de edição e remodelação de polígonos que, utilizam ferramentas específicas de edição e permitem redefinir completamente uma aresta, alterando assim a forma do polígono já existente. Nessas situações, a ferramenta de edição mais utilizada é “Reshape Feature Tool” (Figura 5.7), que possibilita a criação de um novo esboço para substituir uma parte da entidade existente. O procedimento, que normalmente é utilizado para a remodelação de linhas e polígonos individualmente, consiste em seleccionar a ferramenta de remodelação e iniciar a vectorização da nova linha, certificando-se de que esta intercepta em pelo menos dois pontos o polígono seleccionado. Ao terminar o processo, automaticamente modifica-se a forma do polígono, substituindo a aresta localizada entre os pontos de intersecção.

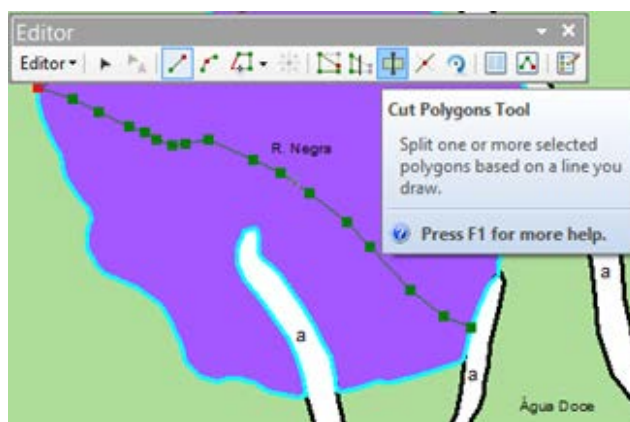


**Figura 5.6:** Ferramentas utilizadas para editar vértices



**Figura 5.7:** Utilização da ferramenta “Reshape Feature Tool” para remodelação de polígonos

Muitas vezes, quando se pretende eliminar uma parte de um polígono, cujos limites ultrapassam a área de interesse, pode-se utilizar a ferramenta de corte “Cut Polygons Tool”. Esta ferramenta permite essencialmente cortar um polígono seleccionado, dividindo-o em dois e preservando os atributos originais nos polígonos resultantes, sendo que a secção de corte deve ser feita utilizando qualquer ferramenta de construção, desde que se mantenha o “Snapping” activado para garantir que a linha de corte inicie e termine em zonas de intersecção com o polígono (Figura 5.8).



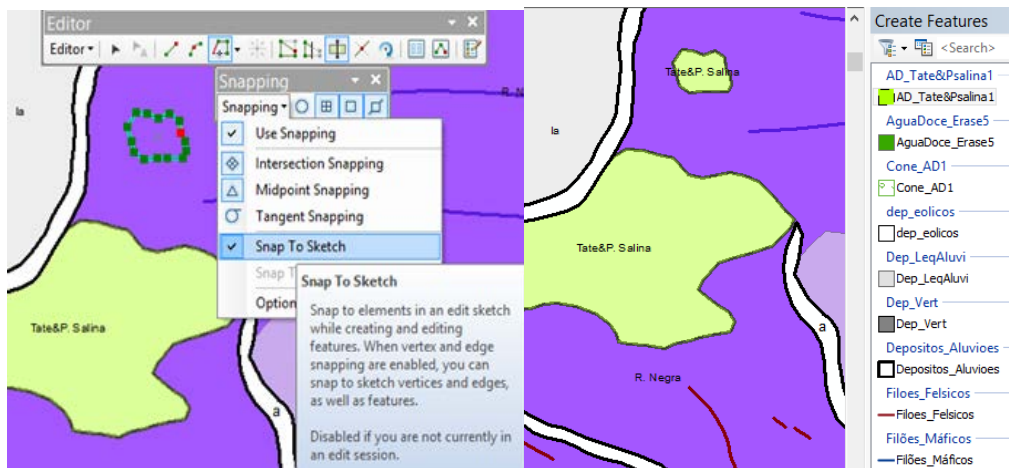
**Figura 5.8:** utilização da ferramenta de corte de polígonos “Cut Polygons Tool”

Nessas situações, depois da divisão do polígono, utiliza-se a ferramenta de edição “Edit Tool” para seleccionar e eliminar o polígono localizado à margem do limite da entidade e que não interessa para o estudo. Contudo, também é possível utilizar esta ferramenta para cortar dois ou mais polígonos em simultâneo, mesmo que sejam de classes de entidades diferentes, utilizando uma única linha de corte, desde que estejam todos seleccionados.

A ferramenta “Cut Polygons Tool” também pode ser utilizada para a criação de vazios em polígonos pré-existentes. Nessa perspectiva, esta ferramenta de edição de polígonos apresenta uma grande importância, porque permite desenhar um polígono interno que funciona como molde de recorte, possibilitando a realização da operação pretendida.

Para iniciar a execução deste procedimento, deve-se activar o alinhamento de pontos “Point Snapping” e a ferramenta de esboço de alinhamento “Snap to Sketch” da barra de ferramentas do “Snapping”/alinhamento, garantindo assim que a operação de corte seja bem-sucedida. Deste modo, depois de seleccionar o polígono externo, utiliza-se a ferramenta de corte de polígonos, para desenhar o esboço da área que se pretende remover, certificando-se de que o último vértice coincide com o primeiro, de modo a garantir a criação de um polígono fechado. Ao terminar o processo passa-se a ter dois polígonos, e para criar o buraco pretendido deve-se utilizar a ferramenta de edição “Edit Tool” para seleccionar e eliminar o polígono interno. Entretanto esses buracos correspondem a zonas de discordância, que representam a ocorrência de fenómenos geológicos diferentes que, naturalmente devem ser preenchidos por novos polígonos representando outras formações geológicas ou, em alguns casos, depósitos sedimentares que sobrepõem, em resultado do trabalho da erosão ao longo dos tempos. Para a criação deste novo polígono interior, deve-se seleccionar a classe de entidade correspondente e aproveitar os limites coincidentes do buraco criado anteriormente, utilizando a ferramenta “Trace” da barra de ferramentas do Editor, para desenhar o polígono de preenchimento do buraco que, no caso exemplificado, na Figura 5.9, corresponde à formação de Tate e Ponta Salina.

Por outro lado, também é possível modificar a simbologia do polígono interno utilizando a ferramenta “Edit > Cut > Paste”, seleccionando-se a entidade que se pretende representar.



**Figura 5.9:** Criação de buracos em polígonos utilizando a ferramenta “Cut Polygons Tool”

Existe uma outra técnica que permite construir directamente um polígono com um buraco no meio, não havendo necessidade de recortar. Esta técnica consiste na construção de uma entidade multipartes, que deve ser criada por partes, ou seja só depois de concluída a construção de todos os polígonos é que se deve concluir o esboço.

Para iniciar o procedimento, deve-se seleccionar a classe de polígono, escolher a ferramenta de construção a utilizar e começar a vectorização inicial do polígono, o seu limite exterior, que no entanto não deve ser finalizado, por isso, com o BDR deve-se dar um clique em “Finish Part”. De seguida, escolhe-se o local mais indicado para desenhar o contorno interior, que funciona como polígono de recorte e assim sucessivamente, até que todas as partes estejam concluídas. Ao terminar o processo de construção “Finish Sketch”, constata-se que os dois polígonos representam os limites externo e interno da mesma entidade, formando automaticamente um único polígono com um buraco no meio.

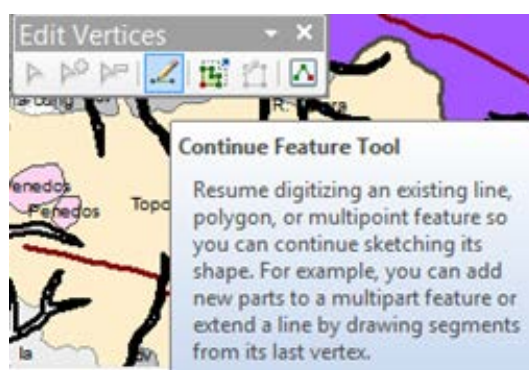
Esta técnica é a mais indicada para construir directamente os polígonos que possuem vazios. No entanto, à semelhança do que vimos anteriormente estes devem ser sempre preenchidos porque este tipo de mapa representa uma superfície contínua e por isso não pode conter nenhum vazio.

Quando dois polígonos se sobrepõem, pode-se utilizar a ferramenta “Editor > Clip” para eliminar a superfície de sobreposição, sendo que o polígono usado no corte preenche automaticamente o buraco criado, formando uma superfície contínua.

Na barra de ferramentas de edição de vértices “Edit Vertices” existe uma ferramenta que facilita a alteração do esboço de vértices já construído, permitindo a remodelação da forma do polígono. Esta ferramenta “Continue Feature Tool” utiliza-se quando for

necessário retomar a vectorização de parte de uma entidade, que não foi concluída anteriormente, a partir da integração de novos vértices (Figura 5.10).

Deste modo, pode-se utilizar a ferramenta “Edit Vertices” para seleccionar todos os vértices e, com qualquer ferramenta de construção activa, o “Continue Feature Tool” permite a remodelação dos limites ou arestas de um polígono, executando uma função semelhante à da ferramenta “Reshape Feature Tool”. Por outro lado, a ferramenta de modificação de esboço de vértices também permite a criação de buracos em polígonos já existentes, de forma simples, adicionando um polígono interior para remodelar uma entidade constituída por várias partes.



**Figura 5.10:** Ferramenta “Continue Feature Tool” que permite retomar a construção de um esboço

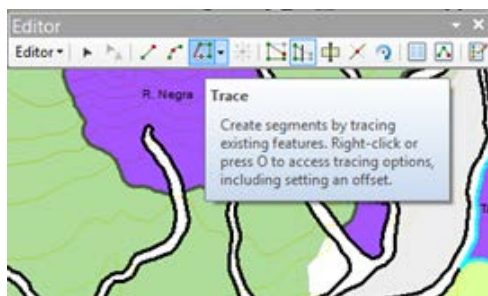
Durante uma sessão de edição existem ainda outras ferramentas adicionais, nomeadamente o “Trace”, que por si só não constitui uma ferramenta de construção de polígonos mas, que pode ser utilizado, em combinação com qualquer outra ferramenta, para facilitar e garantir a precisão com que a vectorização ou remodelação dos limites de qualquer polígono é feito.

A ferramenta de edição “Trace”, existente na barra do Editor, é uma ferramenta de grande utilidade que permite aproveitar todos os limites dos polígonos adjacentes, para desenhar automaticamente o contorno de um determinado polígono ou parte dele, reproduzindo todos os vértices da secção coincidente dos polígonos, mesmo quando estes não se encontram activados (Figura 5.11).

Para isso deve-se activar a ferramenta antes de começar o procedimento, iniciando a vectorização exactamente a partir do último ponto marcado, de modo a evitar a ocorrência de pequenos erros, por vezes difíceis de detectar, no mapa.

Para a construção de polígonos adjacentes, neste caso, pode-se seleccionar a ferramenta “Trace”, marcar um ponto em comum e automaticamente, só com a movimentação do cursor pode-se copiar toda a secção do segmento adjacente que pretendemos representar e, de seguida, para construir os limites não coincidentes selecciona-se qualquer ferramenta de construção, que permite marcar os vértices

correspondentes e para finalizar o processo faz-se um duplo clique ou então, opta-se pelo “Finish sketch”. Esta ferramenta, para além de evitar a criação de vazios entre as entidades, apresenta uma grande vantagem, porque permite utilizar todos os limites de polígonos adjacentes para a criação de uma nova entidade, sendo mesmo a técnica mais utilizada para desenhar arestas coincidentes de polígonos, sobretudo para casos de *layers* diferentes.



**Figura 5.11:** Utilização da ferramenta “Trace” da barra de ferramentas do Editor

A ferramenta “Trace” representa uma maneira rápida e precisa de criar novos segmentos a partir da duplicação de partes de entidades construídas anteriormente, desde que estejam dentro do limite de tolerância definido nas opções do “Snapping”. Contudo, quando se deseja duplicar ou traçar apenas os limites de uma entidade seleccionada deve-se manter pressionada a tecla “Control” antes de iniciar o processo de vectorização do segmento que se pretende traçar.

De um modo geral, todo o processo de construção e edição de polígonos, descrito anteriormente, utiliza ferramentas e técnicas que permitem criar e efectuar alterações nos limites de cada um dos polígonos individuais, que devem ser identificados e caracterizados com atributos únicos, de modo a não se confundirem entre si.

Nos casos mais complexos, em que dois ou mais polígonos compartilham as suas fronteiras, as coordenadas da secção coincidente dos polígonos encontram-se duplamente representadas, por isso, deve-se ter algum cuidado com a edição e alteração dos seus limites, porque quando mudamos a forma de um dos polígonos os limites do polígono adjacente não se alteram, desajustando-se e criando um espaço vazio ou sobreposição entre eles.

No entanto, sempre que for necessário actualizar múltiplas formas de entidades, que compartilham fronteiras, deve-se utilizar as ferramentas de edição de topologia, que são ideais para alterar e corrigir a forma dessas entidades, permitindo modificar simultaneamente a geometria das entidades com fronteiras coincidentes, sem criar vazios ou sobreposições.

No estudo presente, como se trata de um mapa geológico, os polígonos que representam as formações geológicas devem partilhar obrigatoriamente as suas

fronteiras, representando uma superfície contínua, não devendo existir sobreposições ou espaços vazios entre eles. Nesse sentido, para definir a relação espacial desejada e manter a integridade entre todas as entidades que participam na construção do mapa, é necessário efectuar as correcções dos erros gerados durante a sua elaboração, criando uma topologia de mapa.

### **5.5. Criação da Topologia**

A topologia é um conjunto de regras, técnicas e ferramentas de edição que permitem definir com maior precisão as relações geométricas entre os diferentes dados geográficos. Esta funcionalidade é utilizada para trabalhar com entidades que compartilham geometrias coincidentes, garantindo a sua integridade espacial. Esta funcionalidade inclui um conjunto diverso de ferramentas que possibilitam fazer a detecção e correcção de erros quer após a finalização da edição de dados, quer durante a edição dos mesmos.

Para trabalhar com entidades com geometria coincidente ou compartilhada deve-se criar uma topologia de mapa ou de *geodatabase*, que permitem modificar e actualizar os limites coincidentes dos polígonos, utilizando as ferramentas de edição de topologia. Considera-se que duas entidades apresentam uma geometria coincidente quando ocupam o mesmo espaço no mesmo plano, partilhando uma superfície em comum, ou seja, com coordenadas coincidentes. Para os ficheiros do tipo linhas, em caso de adjacência, a geometria coincidente é representada por um segmento de recta e quando há conectividade entre dois polígonos esta é representada por uma área, criando sobreposições ou lacunas que devem ser corrigidas.

Refere-se que, um mapa de topologia é um conjunto temporário de relações topológicas entre as partes coincidentes das entidades que o compõem e, nesse sentido, todas as alterações realizadas devem ser guardadas durante a sessão de edição.

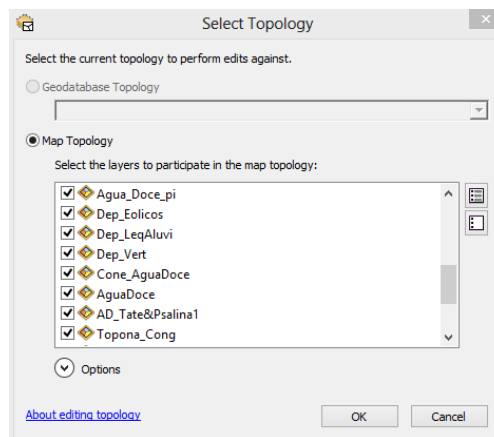
As diferentes classes de entidades que fazem parte de uma topologia de mapa devem ser guardadas juntas, para que sejam geradas relações topológicas entre as partes coincidentes: as entidades de linhas e polígonos transformam-se em segmentos topológicos, enquanto as entidades de pontos ao coincidirem com os outros ficheiros manifestam-se sob a forma de nós. Deste modo, as características que se sobrepõem ou se tocam no ArcMap podem ser editadas simultaneamente, com as ferramentas de edição de topologia, preservando a geometria compartilhada.

Na correcção de erros de topologia, dependendo das características dos dados com os quais se trabalha, uma ferramenta pode ser mais adequada do que a outra.

No que respeita às ferramentas para minimizar os erros durante a edição dos dados, refere-se o “Align Edge Tool” que foi recorrentemente utilizada por permitir verificar de forma rápida a geometria de limites que se querem coincidentes.

Esta ferramenta é importante quando existem buracos ou sobreposições entre polígonos, ou seja, quando duas ou mais entidades não se encontram alinhadas ou devidamente ajustadas “Editor > Start Editing > Select Topology > Align Edge Tool”. Para utilizá-la é preciso ter uma secção de edição activa/iniciada e na barra de ferramentas de topologia selecciona-se a ferramenta “Select Topology”, e na caixa que se abre seleccionam-se todas as camadas com as quais se pretende trabalhar/editar, sendo alinhadas como parte da topologia activa (Figura 5.12). Deste modo, seleccionam-se todas as entidades de polígonos, que compartilham limites, de modo a que sejam editadas e actualizadas simultaneamente, formando uma superfície contínua. Se eventualmente algumas das entidades não for seleccionada a superfície espacial fica incompleta, podendo ocultar alguns erros como buracos, sobreposições em polígonos e outros problemas de alinhamento.

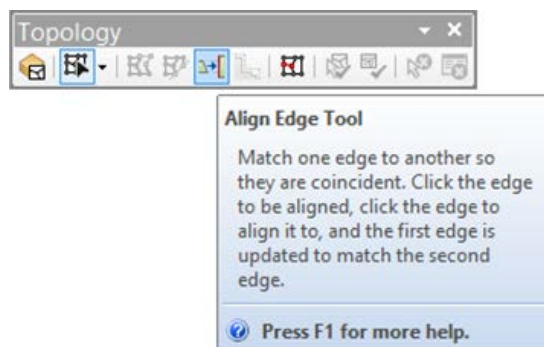
Ao seleccionar a ferramenta de alinhamento de arestas “Align Edge Tool” (Figura 5.13), quando se move o cursor sobre o mapa, verifica-se que as arestas coincidentes apresentam o aspecto de uma linha tracejada. No entanto, quando existem erros de alinhamento de arestas, buracos ou sobreposições, esta linha parece interrompida ou dividida em partes.



**Figura 5.12:** Selecção dos ficheiros que participam na topologia de mapa

Ao detectar essas discontinuidades deve-se aplicar um *zoom* para certificar o tipo de erro ocorrido e com um clique pode-se ver que a região do erro apresenta duas linhas. Clique sobre as linhas para ajustar/editar e o limite passa a ser uma única linha contínua. Clicar 1º na aresta a ser ajustada e depois na outra com a qual a 1ª deve se

ajustar. Deste modo uma das arestas é imediatamente arrastada para o sítio adequado, eliminando o buraco ou sobreposição existente.



**Figura 5.13:** Ferramenta utilizada para corrigir erros de vectorização no mapa

Quando se utiliza este método para corrigir os erros de topologia, deve-se ter alguma atenção, sobretudo quando as entidades são muito pequenas ou apresentam formas muito irregulares, arestas destorcidas, e nos limites com outras entidades, dificultando a observação dos erros. Nessas situações, deve-se aplicar uma ampliação adequada para se poder constatar/destacar os erros, porque pequenos erros por vezes tornam-se difíceis de detectar mesmo com uma ampliação elevada.

#### Construção de perfis topográficos e de cortes geológicos

Um perfil topográfico corresponde a uma representação gráfica de um corte vertical de terreno, sobre uma carta topográfica, com o objectivo principal de representar o comportamento altimétrico da superfície, segundo uma direcção previamente definida.

Tradicionalmente são construídos através de uma técnica cartesiana de representação gráfica (Y-Altitude; X-Distância), onde se faz a intersecção de um plano vertical e horizontal com as curvas de nível, permitindo compreender a morfologia do relevo, a duas dimensões, nesta secção de corte. Geralmente a linha de corte deve ser traçada o mais perpendicular possível à direcção das camadas e às estruturas geológicas representadas pelas curvas de nível.

A escala permite representar a realidade a uma dimensão reduzida, mantendo a sua proporção. Por esta razão, é preciso ter algum cuidado com a escala utilizada, de modo que a topografia e a estrutura geológica representada sejam a mais próxima possível da realidade. Embora alguns autores consideram que a sobrelevação dos valores de altitude melhora a representação de alguns detalhes do relevo, na representação de perfis topográficos e geológicos, é conveniente a utilização de uma escala natural. A escala vertical (colocada no eixo dos Y) é calculada tendo em conta a relação entre a

equidistância natural (10 metros) e a escala do mapa (1:25.000), enquanto a escala horizontal (no eixo dos X) corresponde às distâncias de intersecção entre as curvas de nível e a linha de corte.

Entretanto, para além dessas informações, os perfis devem conter um sentido de orientação, alguns pontos cotados e a toponímia das principais localidades atravessadas pelos cortes.

Por sua vez, um corte geológico corresponde a uma representação gráfica, num plano vertical, de estruturas geológicas do terreno, fornecendo informações acerca da distribuição e natureza das rochas existentes à superfície e em profundidade. A sua construção normalmente é feita a partir do perfil topográfico, onde são marcados os limites de intersecção entre a linha de corte (Figura 5.14) e as diferentes formações geológicas existentes na carta geológica, sendo cada uma das respectivas camadas desenhadas segundo a sua inclinação e preenchidas com cores características que identificam cada tipo de rocha.

Os cortes geológicos constituem um importante complemento aos mapas geológicos, na medida em que facilitam a sua interpretação, permitindo uma melhor compreensão da evolução geológica e da Vulcano-estratigrafia da região em estudo.

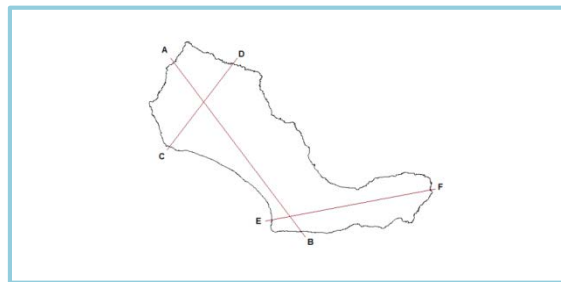


Figura 5.14: Limites da ilha e as linhas onde foram efectuados os cortes geológicos.

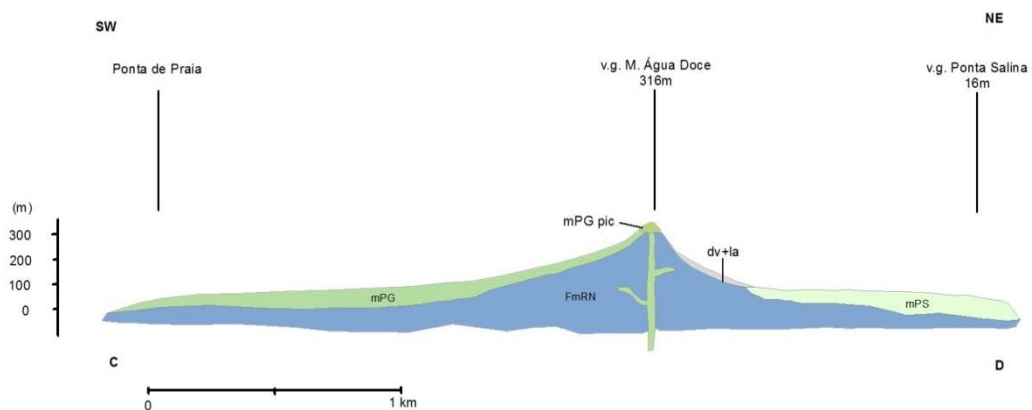


Figura 5.15: Corte geológico, que atravessa a formação de Água Doce

# Capítulo 6

## 6. Produção Cartográfica Digital

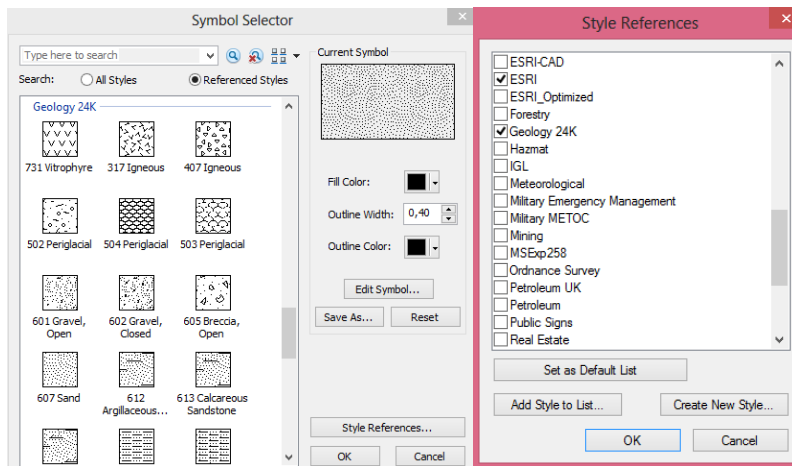
### 6.1. Criação do Catálogo de Símbolos

Esta fase de produção cartográfica consiste em adoptar um conjunto de símbolos, cores e etiquetas, em cada uma das camadas que participam na construção do mapa, de modo a melhorar a sua aparência e facilitar a leitura, mesmo antes da configuração para impressão. Trata-se de uma etapa extremamente importante, porque as diferentes entidades geográficas representadas no mapa são catalogadas com símbolos apropriados, definindo a sua caracterização e relacionamento espacial, de modo que o seu aspecto de apresentação final seja o mais próximo possível da realidade.

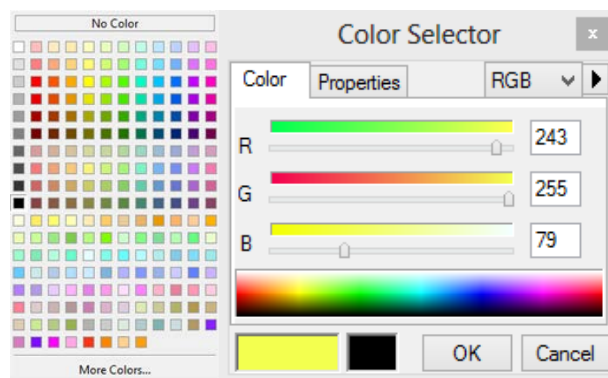
Dependendo do tipo de geometria, os elementos gráficos ou símbolos utilizados podem ser do tipo marcador, para entidades de pontos; linhas, para entidades lineares ou limites de polígonos; e de preenchimento para entidades de polígonos. Contudo, todos esses símbolos podem sempre ser rotulados com etiquetas ou anotações de texto, que facilitam a sua caracterização e identificação.

A simbologia de cada nível de camada pode ser definida ou alterada através dos elementos gráficos representados na tabela de conteúdos, onde com um único clique abre-se a janela “Symbol Selector” (Figura 6.1) que permite escolher a cor de preenchimento ou então definir um estilo padrão de referência, de acordo com as opções predefinidas no ArcGIS. Neste caso, no “Style Reference”, escolheu-se as opções “ESRI” e “Geology 24K” que oferecem símbolos que melhor se adaptam para a representação das diferentes formações geológicas.

Entre as propriedades dos símbolos a cor destaca-se como uma das características mais importantes para simbolizar e representar todos os elementos constituintes do mapa. Entretanto, a cor do estilo de preenchimento escolhido pode ser alterada na opção: “Fill Color” > “More Colors” > “Color Selector” (Figura 6.2), onde se pode escolher entre as cores disponíveis a mais indicada para cada caso, ou então escolher um modelo de cores, nomeadamente o RGB, CMYK ou HSV, que permite introduzir um código específico para uma determinada cor.

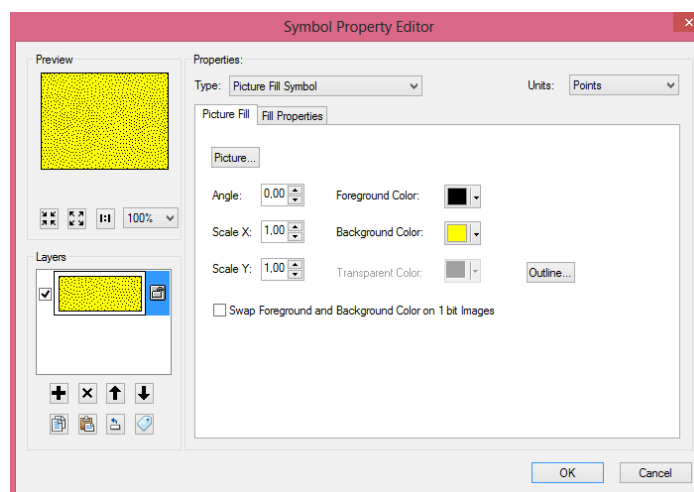


**Figura 6.1:** Selecção de estilos e símbolos para as diferentes entidades



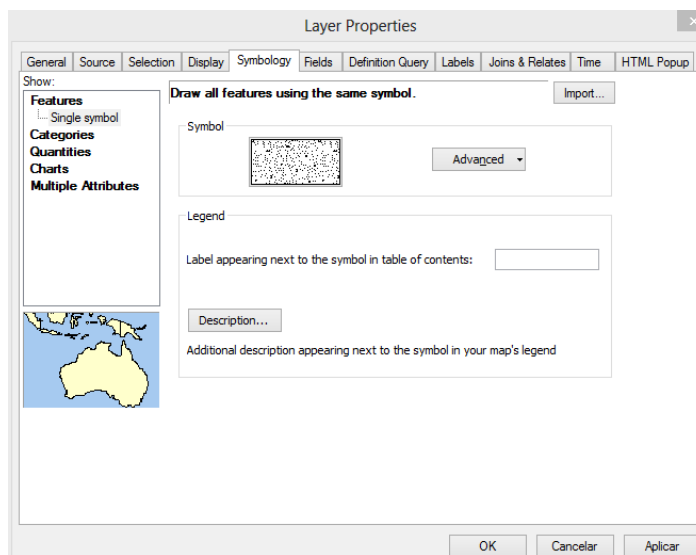
**Figura 6.2:** Selecção de cores para o preenchimento das camadas

Quando o símbolo pretendido não se encontra disponível nas opções predefinidas, é sempre possível a criação de um novo símbolo para a representação das entidades. Neste caso, tomando como exemplo os depósitos eólicos, na opção “Edit Symbol”, do selector de símbolos, é possível definir a cor de fundo e todas as propriedades de simbologia que caracterizam esta formação (Figura 6.3).



**Figura 6.3:** Edição das propriedades de simbologia

A partir das propriedades de simbologia “Properties > Symbology” (Figura 6.4) é possível editar e alterar, de forma rápida e simples, a estrutura de visualização de cada informação espacial ou layer representado. Geralmente esta encontra-se predefinida no ArcGIS com a opção por *Feature*, atribuindo para cada entidade uma simbologia única, por exemplo, num mapa de valores únicos cada cor representa um atributo específico, um tipo ou categoria de entidade, e no caso em estudo, em que se pretende produzir um mapa geológico, cada cor representa uma formação rochosa diferente.



**Figura 6.4:** Definição de simbologia única para cada formação

Uma outra forma de identificação das camadas que constituem o mapa é através da atribuição de etiquetas (*labels*). Para marcar esta característica deve-se seleccionar as camadas nas quais se pretende colocar as etiquetas (BDR) > Propriedades > Labels. Na caixa de diálogo que se abre deve-se escolher, no campo “Label Field” a informação da tabela de atributos que se pretende representar como etiqueta. Entretanto, para que esta apareça no mapa, deve-se activar a opção “LABEL FEATURE IN THIS LAYER”.

Se eventualmente for necessário mudar o aspecto das etiquetas, selecciona-se a opção “Symbology” e na caixa de diálogo que se abre pode-se efectuar as modificações de simbologia das etiquetas, nomeadamente a sua cor, tipo de letra, tamanho, sombreado, etc. Ao concluir o processo todas essas informações etiquetadas aparecem associadas aos respectivos campos no mapa.

Segundo (Matos, 2011), para facilitar a leitura da carta é conveniente utilizar na simbologia as opções padrão estabelecidas convencionalmente e na escolha das cores deve-se utilizar um mínimo grau de contraste, facilitando a legibilidade da carta.

## 6.2. Toponímia

Etimologicamente a palavra toponímia deriva dos termos gregos “Topos” (lugar) + “Ónoma” (nome), ou seja, em termos práticos significa a designação do nome de um lugar.

O nome das localidades é atribuído pelas autoridades competentes (serviços municipais), sendo a sua origem naturalmente relacionada com estudos históricos e valores culturais da região. No caso em estudo, adoptou-se a toponímia definida na Carta Militar da ilha de Santa Luzia (1:25000). No entanto, sendo este um território desabitado, não existem avenidas, ruas, bairros ou números de edifícios, por isso, a designação toponímica das referências geográficas está provavelmente relacionada com as poucas pessoas que habitaram a ilha, ou com ocorrências marcantes no passado.

Para a representação cartográfica dessas informações, no ArcGIS 10.1, criou-se uma nova *shapefile* “Toponímia”, do tipo pontos, que faz corresponder cada ponto marcado ao nome de uma determinada localidade. Porém, para que esses topónimos sejam visualizados no mapa, criou-se um novo campo “Nomes”, na tabela de atributos, onde se indica a designação das localidades e de seguida definem-se as propriedades do *label* para que apareçam como etiquetas no mapa.

Normalmente o programa define uma orientação padrão para essas legendas do *label*, o que, por vezes, provoca conflitos entre as diferentes informações existentes/representadas. Entretanto, em alguns casos, torna-se necessário redefinir a posição e o ângulo de rotação de cada topónimo e, para isso, criou-se um novo campo na tabela de atributos “Rotação”, onde são indicadas os ângulos de cada legenda em relação a uma determinada referência - “Properties > Labels > Placement Properties > Place label at an angle specified by a field > Rotation field (Escolher o campo com os ângulos de rotação) > ok” (Figura 6.5).

Deste modo, efectuou-se o ajustamento de todos os nomes à posição das respectivas localidades, de acordo com as orientações estabelecidas no mapa de base (carta militar 1:25000), sendo os pontos de referência ocultados porque não têm nenhum interesse no mapa. No entanto, a posição de cada topónimo pode ser corrigida com a utilização da ferramenta de rotação do Drawing. Para isso deve-se transformar as etiquetas em anotações (“Convert Labels to Annotation”) e executar o procedimento.

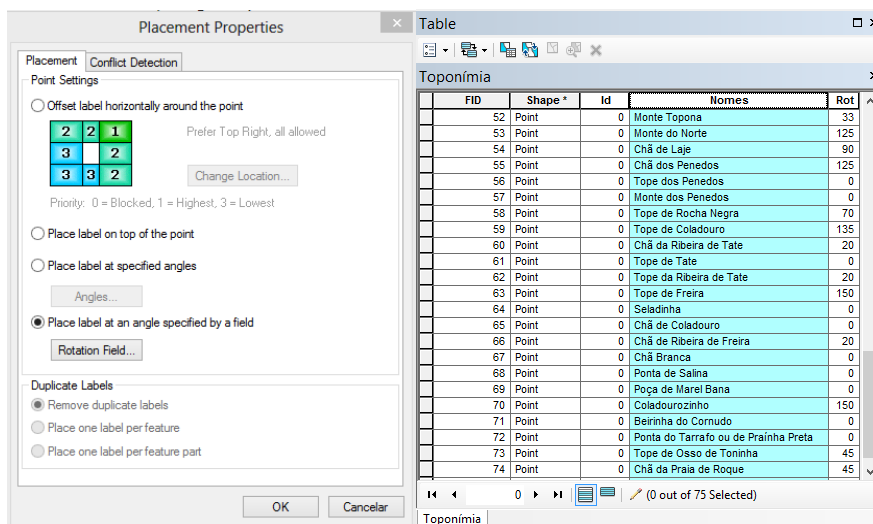


Figura 6.5: Definição dos ângulos de orientação das etiquetas de toponímia

### 6.3. Criação do Esquema de Página

A configuração do esquema de página do mapa corresponde a um projecto que representa a última fase de produção cartográfica, no qual são inseridos um conjunto de elementos gráficos, em formato digital, com o objectivo principal de imprimir o mapa e representa-lo em formato de papel.

Para iniciar a configuração do esquema de páginas deve-se activar o *layout* no “View > Layout View” ou simplesmente clicar no ícone de *layout* localizado no canto inferior da página de visualização e todas as informações contidas no georreferencial a orientação da folha do mapa (vertical ou horizontal) e especificar o tamanho da pagina, fazendo corresponder a dimensão de visualização ao tamanho da folha de impressão, tendo em consideração a escala e as características da impressora “File > Page and Print Setup” (Figura 6.6).

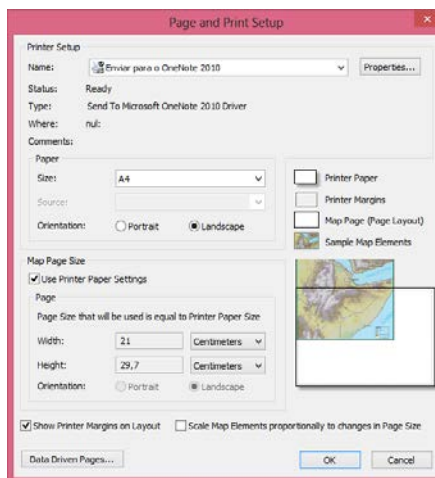


Figura 6.6: Configuração da página de Layout do mapa

De um modo geral, praticamente todos os procedimentos de construção do mapa são feitos no modo de visualização do ArcMap “Data View”, onde se efectua a adição e geoprocessamento de todas as informações necessárias para o efeito. Porém, é nesta etapa que se realiza a formatação das informações e a introdução dos principais elementos de identificação como o título, escala, orientação, legenda, fonte, data, sistema de coordenadas e o autor, que são fundamentais para a interpretação e utilização do mapa.

O espaço utilizado para a formatação do *layout* corresponde à folha de impressão do mapa final, que pode ser alterado conforme o interesse de estudo. Utilizando a barra de ferramentas do layout ou simplesmente com a manipulação do rato, pode-se configurar o tamanho de cada *Data Frame* contido no layout, permitindo o seu ajustamento ao tamanho desejado para o mapa final. Entretanto, nesta fase é conveniente a fixação de uma escala de visualização para cada *Data Frame* utilizado, de modo a evitar a ocorrência de possíveis alterações involuntárias na escala durante a formatação do mapa.

A utilização das ferramentas de geoprocessamento do ArcMap facilita todo o processo de construção/formatação da página de *layout*. Para inserir os componentes de saída gráfica selecciona-se a ferramenta “Insert” e aparecem as opções que permitem adicionar ao mapa os principais elementos de identificação, melhorando o seu aspecto final para a visualização e impressão.

### 6.3.1. O Título

O título representa o primeiro elemento de identificação do mapa, sendo por isso indispensável em qualquer tipo de mapa.

Para inserir o título do mapa, basta clicar em “Insert > Title” (Figura 6.7) e automaticamente se abre uma janela na parte superior do *layout*, apresentando um campo de texto, com a designação “Enter Map Title”, onde se pode alterar o nome ou introduzir um novo título ao mapa. Por outro lado, para formatar o texto do título deve-se seleccionar a opção “Change Symbol”, que permite modificar o tipo de letra, tamanho e estilo, entre outras características ao título do mapa.

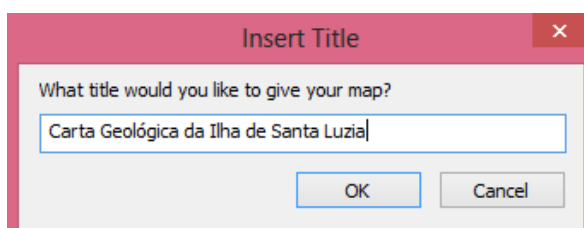


Figura 6.7: Inserir título no layout do mapa

### 6.3.2. O “Norte” (Orientação)

Trata-se de um elemento muito importante que permite a orientação da posição do mapa em relação ao norte geográfico. Neste caso, quando o mapa é rodado o elemento indicador do norte gira com ele, mantendo a sua conexão com os dados representados em relação ao globo terrestre.

Seguindo o mesmo procedimento utilizado anteriormente, para inserir o sentido de orientação ou a seta do norte ao mapa deve-se clicar em “Insert > North Arrow” (Figura 6.8). Nesta sequência, abre-se uma nova janela, indicando várias opções, com diferentes estilos de norte, que podem ser inseridas no mapa. Depois de seleccionar uma delas, na opção “Properties” pode-se efectuar a formatação do norte escolhido, tendo em conta o tipo (fonte), cor e tamanho. Ao concluir este procedimento, o símbolo do norte vai aparecer na página de *layout*, sendo necessário arrastá-lo com o rato até ao local desejado no mapa.

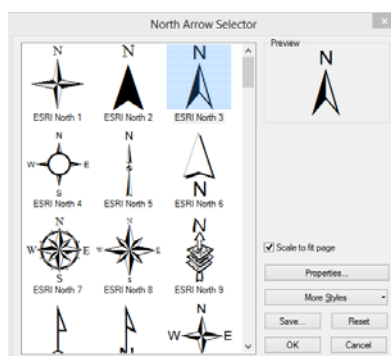


Figura 6.8: Inserir o norte ou orientação no mapa

### 6.3.3. A Legenda

A legenda de um mapa consiste num conjunto de símbolos ou sinais convencionais, com etiquetas que contenham um texto explicativo, indicando ao utilizador do mapa o significado dos símbolos usados para a representação de cada uma das entidades. Esses símbolos são fundamentais para a identificação e interpretação de todos os fenómenos representados no mapa.

A adição da legenda do mapa pode ser feita de forma muito rápida e fácil, através da configuração do assistente de legendas “Insert > Legend” (Figura 6.9), passando pelas seguintes etapas:

- 1ª – Escolher as camadas (entidades) que participam na legenda e definir o número de colunas;
- 2ª – Criar e simbolizar um título da legenda;
- 3ª – Criar e simbolizar a borda e o fundo;
- 4ª – Personalizar a forma e o tamanho da legenda;

5ª – Definir o espaçamento entre os elementos da legenda, e concluir o processo.

No entanto, nem todas as entidades precisam ser representadas na legenda, por isso, qualquer uma das camadas listadas pode ser removida ou reordenada na legenda pelo utilizador, sendo que esta alteração não afecta as camadas da tabela de conteúdos nem a estrutura do mapa.

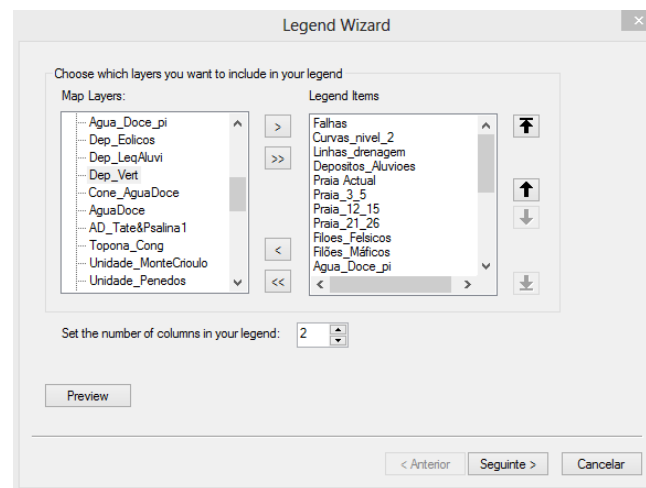


Figura 6.9: Inserir a legenda do mapa

#### 6.3.4. A Escala do Mapa

Todos os mapas devem ter obrigatoriamente uma escala que representa a relação de grandeza entre a medida do mapa e a medida real. A escala do mapa garante o rigor geométrico e a integridade dos dados. Por isso, esta deve ser determinada em função da quantidade de dados adicionados, pois se a escala for demasiado pequena provoca congestionamento e conflito de informações, dificultando a análise e interpretação do mapa.

Para inserir a escala ao *layout* do mapa, deve-se primeiro activar o *Data Frame* que se deseja representar a essa escala, pois, como sabemos, o mesmo *layout* pode conter vários *Data Frames*, podendo cada um deles representar os dados espaciais em escalas diferentes. Para isso, é aconselhável que se proceda à fixação das escalas, em cada caso, para evitar a ocorrência de alterações indesejáveis na escala, quando se utilizam as ferramentas de (*Zoom*) para a aproximação e distanciamento das imagens. A fixação da escala pode ser feita, tanto no modo “*Data View*” como no “*Layout View*”, utilizando o BDR, no *Data Frame* desejado, e escolher as opções “*Properties > Data Frame*”. A partir daí basta seleccionar a opção “*Fixed Scale*” e definir o valor de escala

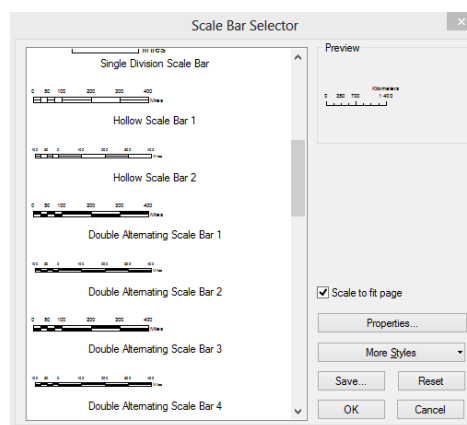
a ser utilizado, sendo que este pode ser alterado sempre que necessário, seguindo o mesmo procedimento.

Em cartografia geralmente são utilizados dois tipos de escala, a gráfica e a numérica.

A escala gráfica corresponde a uma barra com indicação visual do tamanho ou as distâncias entre as entidades representadas no mapa.

Para introduzir a escala gráfica no layout do mapa deve-se seleccionar a opção “Insert > Scale Bar” (Figura 6.10), e escolher o modelo de representação de escala mais adequado para o seu mapa, sendo que na mesma janela, a opção “Properties” permite definir as principais características da escala a ser inserida no layout. Nesta sequência, abre-se uma nova janela que ajuda a configurar as propriedades da escala, sendo que a primeira opção “Scale and Units” permite introduzir alguns dados à escala, nomeadamente o valor real do intervalo, número de divisões e subdivisões e a unidade de medida.

Depois de finalizada a definição de todas as propriedades da escala, esta será inserida no *layout*, onde deverá ser reposicionada com o rato para o local mais indicado no mapa. Este tipo de escala é muito importante porque mesmo que se aplique um zoom ao mapa (ampliando ou reduzindo), a barra de escala continua acertada.



**Figura 6.10:** Inserir escala gráfica no mapa

A escala numérica ou escala de texto mostra ao utilizador quantas unidades do terreno correspondem a uma unidade do mapa. Por exemplo, numa escala de 1/15 000, uma unidade no mapa corresponde a 15 000 da mesma unidade no terreno.

Este tipo de escala apresenta valores absolutos, podendo os utilizadores interpreta-los para qualquer unidade de medida. Contudo, esta apresenta a desvantagem de, em caso de duplicação ou cópia impressa numa outra escala (reduzida ou ampliada), o valor da escala utilizada fica logo errado, ao contrário do que acontece com a escala

gráfica. Por esta razão, muitos mapas apresentam os dois tipos de escala em simultâneo, ou seja, têm tanto a escala gráfica como a escala numérica.

### 6.3.5. Texto

Para inserir um texto no mapa utiliza-se a ferramenta do ArcMap “Insert > Text”, que permite introduzir no layout uma pequena caixa de texto, a partir do qual são adicionada todas as informações necessárias, para complementar a parte gráfica do mapa, nomeadamente a fonte, data de elaboração e o autor do mapa. Para alterar a formatação do texto introduzido, basta seleccionar a opção “Change Symbol” e proceder.

### 6.3.6. A Grelha de Coordenadas (Grid)

A grelha de coordenadas é uma quadrícula que representa as coordenadas de um determinado mapa, em função das coordenadas estabelecidas para o *Data Frame*. Esta representação permite enquadrar espacialmente as informações representadas, em coordenadas geográficas ou, como se procedeu neste caso, em coordenadas cartográficas.

Normalmente, uma grelha de coordenadas só é inserida no mapa depois de se activar o respectivo *Data Frame*, seguindo a opção “Properties > Grids > New Grids” para escolher o tipo de grelha a ser utilizado no mapa (Graticulate; Measured Grid; e Reference Grid”).

O passo seguinte fornece as opções para a representação para a representação da grelha de coordenadas (“Labels Only”; “Tick Marks and Labels”; e “Grid and Labels”). Ao avançar, pode-se configurar a forma como a grelha e as suas subdivisões serão apresentadas no *layout* e para finalizar, pode-se escolher uma borda para se colocar à beira da grelha do mapa (“Place a Simple Border at Edge of Graticule” ou “Place a Calibrate Border at Edge of Graticule”).

Se eventualmente for necessário alterar a coordenação da grelha de coordenadas (formatação), deve-se seleccionar o *Data Frame* correspondente ao mapa e seguir as opções “Properties” > “Grids” > “Properties”, para modificar as propriedades da grelha de coordenadas.

# Carta Geológica da Ilha de Santa Luzia (República de Cabo Verde)

A. Bium da Silveira<sup>1,2</sup>, J. Madera<sup>1</sup>, J. Mata<sup>1</sup>, D. Gonçalves<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, <sup>2</sup> Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

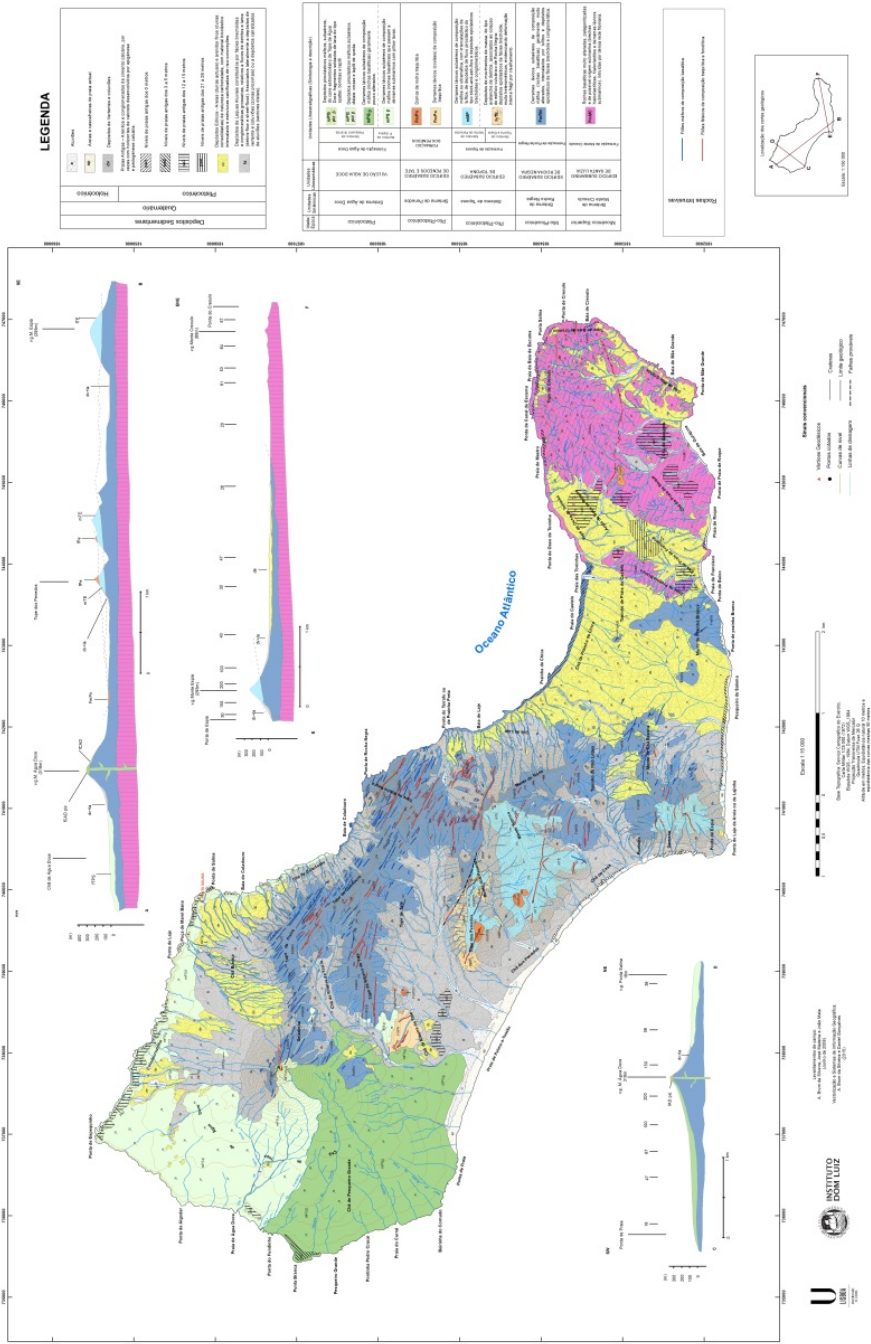


Figura 6.11: Mapa Geológico da ilha de Santa Luzia na sua versão final.



# Capítulo 7

## 7. Conclusões

A cartografia digital, integrada num Sistema de Informação Geográfica, representa um avanço tecnológico importante no processamento dos dados espaciais, nomeadamente da informação geológica, e é considerada como uma ferramenta fundamental na produção de Mapas Geológicos. Assim, considera-se que um “bom geólogo de campo” deve, também, ter conhecimentos de SIG de modo a poder antecipar dificuldades nas fases de produção cartográfica, a organizar eficazmente toda a informação de campo e representar os dados de forma precisa e clara.

A utilização de um *software* moderno (ArcGIS 10.1) permitiu o desenvolvimento de uma base de dados geológica sobre a região em estudo, possibilitando a georreferenciação, análise e apresentação de dados, integrados num sistema de informação geográfica. Esta base de dados serviu como suporte para a produção do MDT e da carta geológica da ilha de Santa Luzia (Figura 6.11), resultando em documentos que podem ser muito importantes para o planeamento e ordenamento do território, permitindo uma gestão integrada dos recursos naturais existentes na região.

Por outro lado, o desenvolvimento deste trabalho permitiu efectuar uma boa caracterização fisiográfica da ilha de Santa Luzia, nomeadamente nos aspectos relacionados com a geologia e geomorfologia. No entanto, apesar de constituir um desafio muito interessante, tendo em consideração as particularidades geográficas e geológicas da ilha, durante a sua execução foram vários os constrangimentos que, de certa forma, limitaram o processo de desenvolvimento normal desta tese. As principais dificuldades encontradas relacionam-se com:

- Escassez de publicações bibliográficas sobre este território, sobretudo no que diz respeito à geologia.
- O facto de o autor da dissertação não ter participado no trabalho de campo também criou algum embaraço na análise e interpretação dos dados disponíveis, contribuindo para atrasar o ritmo de trabalho;
- Limitação a nível financeiro, que tornou impossível a realização de um trabalho complementar de campo e a aquisição da material cartográfico, mapas e ortofotomapas, com reflexo no tempo e na qualidade do material produzido;

A análise dos resultados produzidos/alcançados durante a realização deste trabalho/tese permite concluir que todo o procedimento dos sistemas de informação geográficas, utilizado para a produção do MDT e do Mapa Geológico digital de Santa

Luzia, favorece a integração de informações provenientes de várias fontes, criando, de forma interactiva, novas informações, cujos resultados são representados sob a forma de mapas, em conformidade com os objectivos do estudo realizado.

A aplicação de geotecnologias apresenta ainda uma outra vantagem, porque possibilita a realização de análises flexíveis dos dados, permitindo, no futuro, a integração de novos elementos na perspectiva de se aproveitar a mesma base de trabalhos para melhorar a qualidade ou actualizar o modelo construído. Esta vertente é de importância fundamental, porque a mesma base cartográfica pode ser adaptada e utilizada para a realização de estudos em qualquer outra área de conhecimento, sobre esta região geográfica.

No caso em estudo, pelo facto de a ilha de Santa Luzia ser um território desértico e desabitado, pode-se pensar que este trabalho poderá ter pouco interesse no planeamento e gestão dos riscos geológicos deste pequeno território de Cabo Verde. No entanto, consideramos que, para além de ajudar na caracterização fisiográfica, este trabalho pode ser bastante útil em estudos relacionados com a história geológica da ilha e com a preservação da biodiversidade endémica desta região. A metodologia seguida neste caso de estudo poderá ser aplicada facilmente noutras ilhas do arquipélago.

De um modo geral, esta tese constitui um trabalho de domínio científico e um contributo para um melhor conhecimento da evolução geológica (vulcânica, geomorfológica, etc.) deste território, preenchendo assim uma grande lacuna que existia relativamente ao estudo da geologia do arquipélago de Cabo Verde.

## Referências Bibliográficas

- Abranches, M.C., K.M. Storetvedt, A. Serralheiro, e R. Lovlie. "The Palaeomagnetic Record of the Santiago Volcanics (Republic of Cape Verde): Multiphase Magnetization and age Consideration." *physical Earth Planet International*, 1990: Nº 64, pp.290-302.
- Ali, M.Y., A.B. Watts, e I. Hill. "A Seismic Reflection Profile Study of Lithospheric Flexure in the Vicinity of the Cape Verde Islands." *J. Geophysical Research*, 2003: Nº 108.
- Almeida, G. "Cabo Verde: Viagem pela História das Ilhas - Fotografias de Salvador, J.A." *Mindelo, Ilhéu Editora*, 2004.
- Alves, C.A., R.J. Macedo, L.C. Silva, A. Serralheiro, e A.F. Faria Peixoto. "Estudo Petrológico e Vulcanológico da Ilhas de Santiago (Cabo Verde)." *Garcia da Horta; Serviços Geológicos de Lisboa*, 1979.
- Amaral, I. "Santiago de Cabo Verde: A Terra e os Homens." *Lisboa*, 1964.
- Anderson, D.L., T. Tanimoto, e Y.S. Zhang. "Plate Tectonics and Hot-Spots: The third Dimension." *Science*, 1992: pp. 1601-1732.
- Aronoff, S. "Geographic Information System: A Management Perspective." *WDL Publication; Ottawa, Canada*, 1989.
- Assunção, C.F.T., F. Machado, e R.A.D. Gomes. "On the Occurrence of Carbonates in the Cape Verde Islands." *Bol. Soc. Geol. Portugal*, 1965: Nº 16, pp. 179-188.
- Azéma, J., E. Fourcade, e P. De Wever. "Découverte de Valanginien Inferieur à Calpionelles à Maio (Republique du Cap Vert): Discussion de l'age des Sediments Associés aux laves de type MORB de ce Secteur de l'Atlantique Central." *C.R. Acad. Science*, 1990: Série II, Nº 310, pp. 277-283.
- Bebiano, J.B. "A Geologia do Arquipélago de Cabo Verde." *Departamento das Comunidades dos Serviços Geológicos de Portugal*, 1932.
- Bernard-Griffiths, J., M. Cantagrel, C.A.M. Alves, F. Mendes, A. Serralheiro, e J.R. Macedo. "Gèochronologie: Donnèe Radiométriques Potassium-Argon sur Quelques Formations Magmatiques des Îles de L'archipel du Cape Vert." *C.R. Seances Academy Science*, 1975: Nº 280 (D), pp. 2429-2432.
- Beynon-Davies, P. "Relational Database System." *Basingstoke, McGraw-Hill*, 1991.
- Bosse, V., R. Doucelance, M. Fornari, e J. Mata. "Temporal Evolution of the Cabo Verde Archipelago: New Constrains from 40Ar-39Ar Data." *Geochem. Cosmochem.*, 2007: Nº 71 (155), A110.
- Branca, S., M. Coltelli, G. Gropelli, e F. Lentini. "Geological Map of Etna Volcano, 1:50.000 Scale." *Italian Journal of Geosciences*, 2011: Nº 130, pp. 265-291.

- Burrough, P.A., e R.A. McDonnell. "Principles of Geographical Information Systems." *Oxford University Press*, 1998.
- Christofolletti, A. "Geomorfologia." *São Paulo: Edgar Blucher*, 1980.
- Courtney, R.C., e R.S. White. "Anomalous Heat Flow for Dynamic Support from a Thermal Plume in the Mantle." *Geophysical Journal R. Astron. Society*, 1986: Nº 87, pp. 815-867.
- Crough, S. "Thermal Origin of Mid-plate Hot-Spot Swells." *Geophysical Journal International*, 1978: Nº 55 (2), pp. 451-469.
- Dahs, B., M. Ball, G. King, L. Butler, e P. Rona. "Geophysical Investigation of the Cape Verde Archipelago." *Journal of Research (Solid Earth)*, 1976: Nº 81 (29), pp. 5249-5259.
- Davies, G.F., M.J. Norry, D.C. Gerlach, e R.A. Cliff. "A Combined Chemical and Pb-Sr-Nd Isotope Study of the Azores and Cape Verde Hot-Spots: The Geodynamic Implication in Magmatism in the Ocean Basins." *Geol. Soc. Spec.*, 1989: Nº 42, pp. 231-255.
- De Peape, P., J. Klerkx, J. Hertogen, e P. Plinke. "Oceanic Tholeiites on the Cape Verde Islands: Petrochemical and Geochemical Evidence." *Earth Planet Science Letter*, 1974: Nº 22, pp. 347-354.
- Duprat, H.I., J. Friis, P.M. Holm, T. Grandvuiet, e R.V. Sorensen. "The Volcanic and Geochemical Development of São Nicolau, Cape Verde Islands: Constrains from Field and <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar Evidence." *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2007: Nº 162, pp. 1-19.
- Dyhr, C., e P. Holm. "A Volcanological and Geochemical Investigation of Boa Vista, Cape Verde Islands: <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar Geochronology and Field Constrains." *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2010: Nº 189 (1-2), pp. 19-32.
- Faugeres, J.C., P. Legigan, N. Maillet, e C. Latouche. "Pelagic, Turbiditic and Contouritic Sequential Deposits on the Cape Verde Plateau (Leg. 108, Site 659, North Africa): Sediment Record During Neogene Time." *In Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 1989: Nº 108, pp. 311-328.
- Foeken, J.P.T., S. Day, e F.M. Stuart. "Cosmogenic <sup>3</sup>He Exposure Dating of the Quaternary Basalts from Fogo, Cape Verde: Implication for Rift Zone and Magmatic Reorganization." *Quat. Geochronology*, 2009: Nº 4, pp. 37-49.
- Freksa, C., e J.A. Gaspar. "Cartas e Projecções Cartográficas." *3ª Edição, LIDEL - Edições Técnicas Lda, Lisboa*, 2005.
- Friedlaender, I. "Subsídios para o Conhecimento das Ilhas de Cabo Verde: Resultado de uma Viagem no Verão de 1912." (*Traduzido por A.J. Garcia - 1914*) - Lisboa, 1913.

- Gerlach, D.C., C.A. Cliff, G.R. Davies, M.J. Norry, e N. Hodgson. "Magma Sources of the Cape Verde Archipelago: Isotopic and Trace Element Constraints." *Geochem. Cosmochem.*, 1988: Nº 52, pp. 2979-2992.
- Godone, D., e G. Garnero. "The Role of Morphometric Parameters in Digital Terrain Models Interpolation Accuracy: A Case Study." *European Journal of Remote Sensing*, 2013: 44, pp.198-214.
- Grevemeyer, I., G. Helffrich, B. Faria, G. Booth-Rea, M. Schnabel, e W. Weinrebe. "Seismic Activity at Cadamosto Seamount Near Fogo Island, Cape Verde Formation of a New Ocean Island?" *Geophysical Journal International*, 2010: Nº 180, pp. 552-558.
- Gripp, A.E., e R.G. Gondon. "Young Tracks of Hot-Spots and Current Plate Velocities." *Geophysical Journal International*, 2002: Nº 150, pp. 321-361.
- Groppelli, G., e L. Viereck-Goette. "Stratigraphy and Geology of Volcanic Areas." *Geological Society of America Special Paper*, 2010.
- Grunau, H.R., P. Lehner, M.R. Cleintaur, P. Allenbach, e G. Bakker. "New Radiometric Ages and Seismic Data from Fuerteventura (Canary Islands), Maio (Cape Verde Islands) and São Tomé (Gulf of Guinea) in Progress in Geodynamics." *Royal Academy of Arts and Science Amsterdam*, 1975: pp. 90-118.
- Hayes, D.E., e P.D. Rabinowitz. "Mesozoic Magnetic Lineations and the Magnetic Quiet Zone off Northwest Africa." *Earth Planet Science Letter*, 1975: Nº 28, pp. 105-115.
- Hoernle, K., G. Tilton, M.J. Le Bas, S. Duggen, e D. Garbe-Schonberg. "Geochemistry of Oceanic Carbonatites Compared With Continental Carbonatites: Mantle Recycling of Oceanic Carbonatites." *Contrib. Mineral. Petrol.*, 2001: Nº 142, pp. 520-542.
- Holm, P.M., et al. "Sampling the Cape Verde Mantle Plume: Evolution of Melt Compositions on Santo Antão Island." *J. Petrology*, 2006: Nº 47, pp. 145-189.
- Holm, P.M., T. Grandvuinet, J. Friis, J.R. Wilson, A.K. Barker, e S. Plesner. "An <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar Study of the Cape Verde Hot-Spot: Temporal Evolution in a Semistationary Plate Environment." *Journal of Geophysical Research*, 2008: Nº 113.
- Huchinson, M.F., e T.I. Dowling. "A Continental Hydrological Assessment of a New Grid-based Digital Elevation Model of Australia." *Hydrological Process*, 1991: 5 pp. 45-58.
- Jenson, S.K., e J.O. Domingue. "Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1988: 54(11) pp. 1593-1600.
- Jorgensen, J.O., e P.M. Holm. "Temporal Variation and Carbonatite Combination in Primitive Ocean Islands from São Vicente, Cape Verde Islands." *Chem. Geology*, 2002: Nº 192, pp. 249-267.

- Klerks, J., e P. De Peape. "The Main Characteristics of the Magmatism of the Cape Verde Islands." 1976: Nº 99, pp. 347-357.
- Kogarko, L.N., V.A. Ryabukhin, e M.P. Volynets. "Cape Verde Islands Carbonatite Geochemistry." *Geochem. International*, 1992: Nº 29, pp. 62-74.
- Lancelot, J.R., e C.J. Allègre. "Origin of Carbonatitic Magma in the Light of the Pb-U-Th Isotope." *Earth Planet Science Letter*, 1974: Nº 22, pp. 233-238.
- Lancelot, Y., E. Seybold, e J.V. Gardner. "Cape Verde Rise." *US Government Printing office, Washington DC; in unit Rep. DSDP*, 1978: Nº 41; pp. 2326-233.
- Lancelot, Y., et al. "Cape Verde Basin: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project." 1977.
- Madeira, J., et al. "Volcano-stratigraphic and Structural Evolution of Brava Island (Cape Verde) based on <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar, U-Th and Field Constraints." *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2010: Nº 196, pp. 219-235.
- Madeira, J., J. Munhá, C.C.G. Tassinari, J. Mata, A. Brum da Silveira, e S. Martins. "K-Ar Ages of Carbonatites from the Island of Fogo (Cape Verde)." *VIII Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Aveiro, Portugal*, 2005: pp. 475-478.
- Martins, S., et al. "Chemical and Mineralogical Evidence of the Occurrence of Mantle metasomatism by Carbonate-rich Melts in an Oceanic Environment (Santiago Island, Cape Verde)." *Mineral. Petrol.*, 2010: Nº 99, pp. 43-65.
- Masson, D.G., T.P. Le Bas, e I. Gravemeyer. "Flank Collapse and Large-scale Landsliding in the Cape Verde Islands, off West Africa." *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2008.
- Mata, J., M. Moreira, R. Doucelance, M. Ader, e L.C. Silva. "Noble Gas and Carbon Isotopic Signatures of Cape Verde Oceanic Carbonatites: Implications for Carbon Provenance." *Earth Planet Science Letter*, 2010: Nº 291 (1-4), pp. 70-83.
- Mata, J., P.C. Torres, J. Munhá, M.H. Mendes, e L.C. Silva. "Tectonic Controls on the Geochemistry of Sal Island (Cape Verde)." *European Union of Geosciences, Strasbourg, France*, 1999: Abstract Volume, pp. 348.
- Matos, J. "Fundamentos de Informação Geográfica." *3ª Edição, Lisboa*, 2011: .
- Matos, J. "Fundamentos Teóricos de Informação Geográfica." *Edições LIDEL, Lisboa*, 2008.
- McNutt, M. "Thermal and Mechanical Properties of the Cape Verde Rise." *Journal of Geophysical Research (Solid Earth)*, 1988: Nº 93 (B4), pp. 2784-2794.
- Millet, M.A., R. Doucelance, P. Schiano, K. David, e C. Bosq. "Mantle Plume Heterogeneity Versus Shallow-level Interactions: A case Study, the São Nicolau Island, Cape Verde Archipelago." *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2008: Nº 176 (2), pp. 265-276.

- Mitchell, J., M.L. Bas, J. Zielonka, e H. Furnes. "On Dating the Magmatism of Maio, Cape Verde Island." *Earth and Planetary Science Letters*, 1983: Nº 64 (1), pp. 61-76.
- Montelli, R., G. Nolet, F. Dahlen, e G. Masters. "A Catalogue of Deep Mantle Plumes: New Results from Finite-frequency Tomography." *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2006: Nº 7, Q11007.
- Mota Gomes, A. "Hidrologia e Recursos Hídricos da Ilha de Santiago (Cabo Verde) - Tese de Doutoramento." *Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro*, 2007.
- Mota Gomes, A., J.M. Pereira, J.A. Cabral, C.B. Afonso, e J.N. Carvalho. "Quadro Estratigráfico Comparativo da Geologia das Ilhas da República de Cabo Verde." *UNICV*, 2009.
- Mourão, C., et al. "Quaternary Extrusive Calcio-carbonatite Volcanism in Brava Island (Cape Verde): A Nephelinite-Carbonatite Volcanism immiscibility Product." *J. Afr. Earth Science*, 2010: Nº 56 (2-3), pp. 59-74.
- Parker, H.D. "The Unique Qualities of a Geografic Information System: A Commentary." *Photogrammetric Engeneering and Remote Sensing*, 1988.
- Patriat, M., e C. Labails. "Linking the Canary and Cape Verde Hot-Spots, Northwest Africa." *Marine Geophysical Researches, Volume 27, Nº 3/Ifremer, DCB/GM, BP70, 29280 Plouzané, France*, 2006.
- Pin, J., C. Pierce, A.B. Watts, J. Grevemeyer, e A. Krabbenhoeft. "Crustal Struture and Origin of the Cape Verde Rise." *Earth Planet Science Letter*, 2008: Nº 272; pp. 422-428.
- Pirotti, F., e P. Tarolli. "Suitability of LIDAR Point Density and Derived Landform Curvature Maps for Channel Network Extration." *Hidrological Process*, 2010: 24 (9), pp. 1187-1197.
- Piteri, M.A. "Triangulação de Delaunay e o Principio de Inserção Randomizado." *Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Presidente Prudente - SP*, 2007: pp. 9.
- Plesner, S., P.M. Holm, e J.R. Wilson. "40Ar-39Ar Geochronology of Santo Antão, Cape Verde Island." *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2003: Nº 120, pp. 103-121.
- PLINT, Missão GeoFCUL. "Brum da Silveira, A.; Madeira, J.; Mata, J.: Relatório de Investigação da Pluma-Litosfera em Cabo Verde." *Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa*, 2008.
- Ramalho, R. "Building the Cape Verde Islands: PhD Dissertation." *Department of Earth Sciences, University of Bristol, UK*, 2009.
- Ramalho, R., et al. "Why Have the Old Cape Verde Islands Remained Above Sea-level? Insights Field Data and Wave Erosion Modeling." ??????????, 2010a.

- Ramalho, R., G. Helffrich, M. Costa, D. Vance, D. Hoffmann, e D. Schmidt. "Episodic Swell Growth Inferred from Variable Uplift of Cape Verde Hot-Spot Islands." 2010b.
- Rebello, J.A. "As Cartas Geológicas ao Serviço do Desenvolvimento." *Edição: Instituto Geológico e Mineiro, com Apoio do PEDIP*, 1999.
- Ribeiro, O. "A Ilha do Fogo e as suas Erupções - Memórias (Série Geográfica I)." *Junta de Investigação do Ultramar, 2ª Edição, Lisboa Portugal*, 1960: pp. 319.
- Serralheiro, A. "A Geologia da Ilha de Santiago - Tese de Doutoramento." *Lisboa*, 1976.
- Serralheiro, A. "A Geologia da Ilha do Maio." *Junta de Investigação do Ultramar, Lisboa*, 1970.
- Shreve, R.L. "Infinite Topologically Random Channel Networks." *Journal of Geology*, 1967: Nº 77, pp. 397-414.
- Silva, L.C. "Alguns Aspectos da Geologia de Cabo Verde - Seminários." *Departamento de Geologia Marinha/INETI (Alfragide), Lisboa*, 2008.
- Silva, L.C., M.J. Le Bas, e A.H.F. Robertson. "An Oceanic Carbonatite Volcano on Santiago, Cabo Verde Island." *Nature*, 1981: Nº 294, pp. 644-645.
- Sleep, N. "Hot-Spots and Mantle Plumes: Some Phenomenology." *Journal of Geophysical Research (Solid Earth)*, 1990: Nº 95 (B5), pp. 6715-6736.
- Soares, A. "Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente - 2ª Edição." *Instituto Superior Técnico, Lisboa*, 2006.
- Stillman, C.J., H Furnes, M.J. Le Bas, A.H.F.E. Robertson, e J. Zileonka. "The Geological History of Maio, Cape Verde Island." *Journal of Geological Society of London*, 1982.
- Strahler, A.N. "Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography." *Bulletin of Geological Society of America*, 1952: Nº 63, pp. 1117-1142.
- Teixeira, A.J.S., e L.A.G. Barbosa. "A Agricultura do Arquipélago de Cabo Verde." *Junta de Investigação do Ultramar, Lisboa*, 1958.
- Torres, P.C., L.C. Silva, A. Serralheiro, C. Tassinari, e J. Munhá. "Enquadramento Geocronológico pelo Método K-Ar das Principais Sequências Vulcano-Estratigráficas da Ilha do Sal - Cabo Verde." *Garcia da Horta, Serviços Geológicos*, 2002: Nº 18, pp. 9-13.
- Watson, D.F. "Contouring: A Guide to the Analysis of Apacial Data." *Pergamon Press, Oxford, UK*, 1992.
- Watson, D.F., e G.M. Philip. "A Refinement of a Inverse Distance Weighted Interpolation." *Geoprocessing*, 1985: Nº 2, pp. 315-327.
- Williams, C., I. Hill, R. Young, e R. White. "Fracture Zones Across the Cape Verde Rise, NE Atlantic." *Journal of the Geological Society*, 1990: Nº 147 (5), pp. 851-857.

Williams, C.A., I.A. Hill, R. Young, e R.S. White. "Fracture Zones Across the Cape Verde Rise, NE Atlantic." *J. Geol. Soc.*, 1990: Nº 147, pp. 851-857.

Wilson, D.J., C. Peirce, A.B. Watts, e I. Grevemeyer. "Uplift at Lithospheric Swells - II: Is the Cape Verde Mid-plate Swell Supported by a Lithosphere of Varying Mechanical Strength?" *Geophysical Journal Internacional*, 2013: Nº 193, pp. 798-819.

Zhao, D. "Seismic Images Under 60 Hot-Spots: Search for Mantle Plumes." *Gondwana Research*, 2007: Nº 12, pp. 335-355.

### **Outras referências e sites consultados:**

Decreto-Lei 79/III/90 de 29 de Junho (República de Cabo Verde);

Decreto-Lei 40/2003 S. Luzia (República de Cabo Verde);

ArcGIS 10.1. Help (online);

Sit.gov.cv;

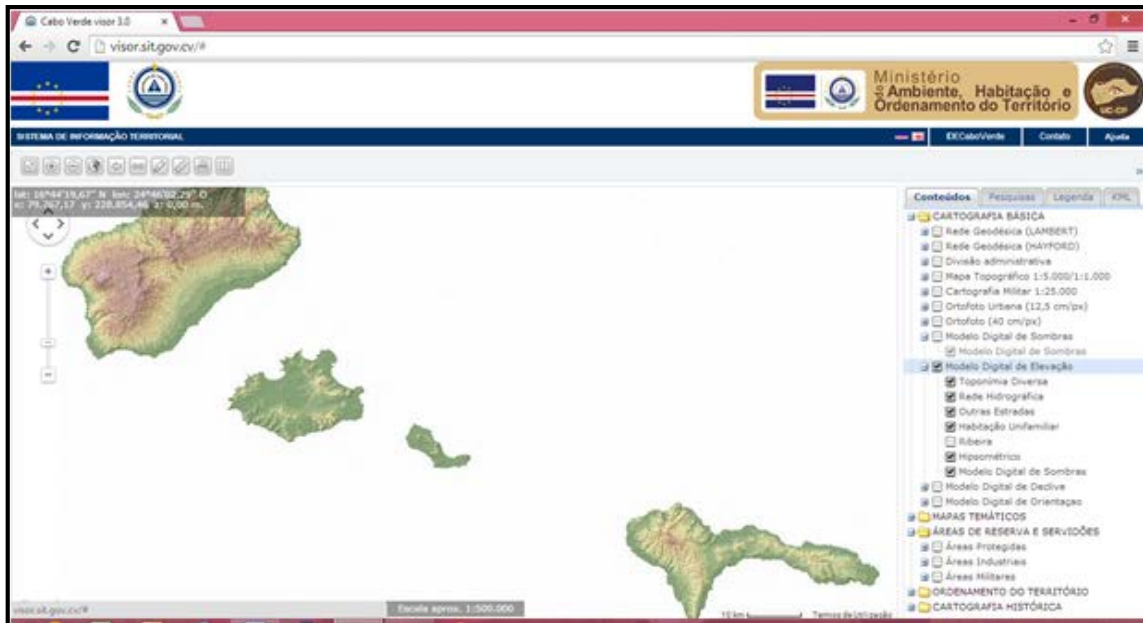
biosfera1.com (Associação para a defesa do meio ambiente de Cabo Verde);

reservasantaluzia.com (Associação Amigos do Calhau);

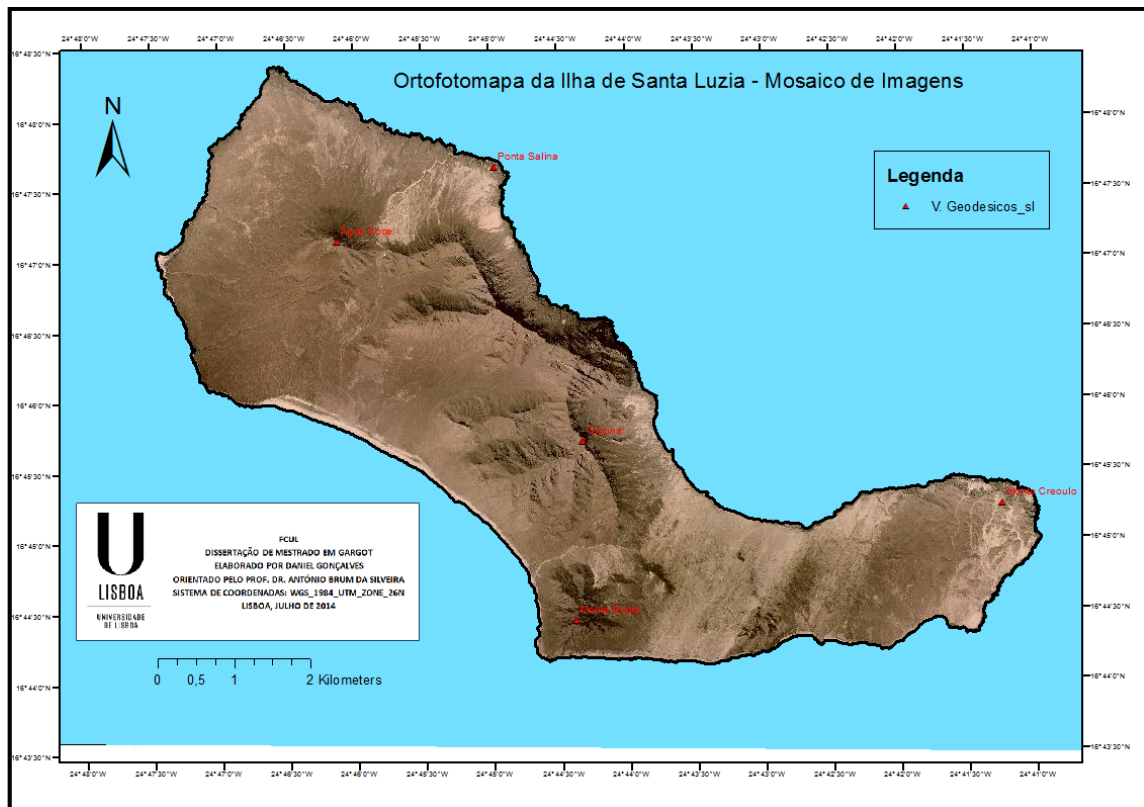
andersonmedeiros.com (consultor em geotecnologias);

Google Heart (imagens de satélite).

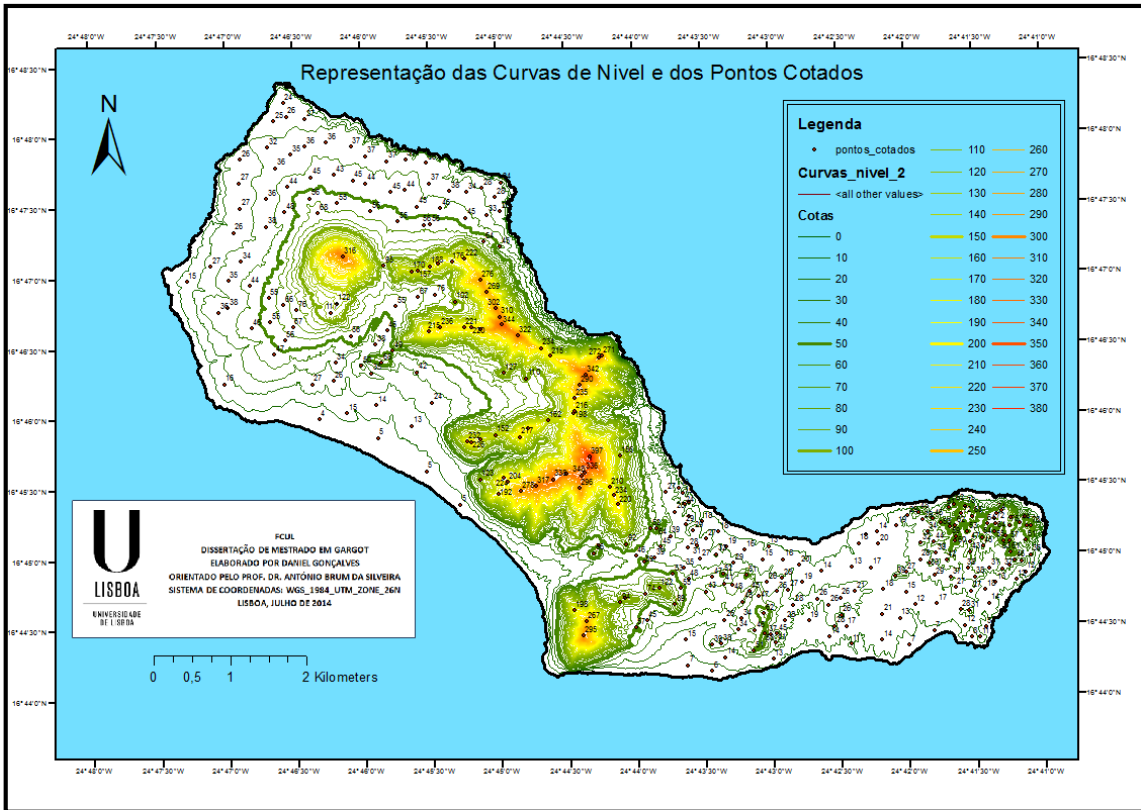
## ANEXOS:



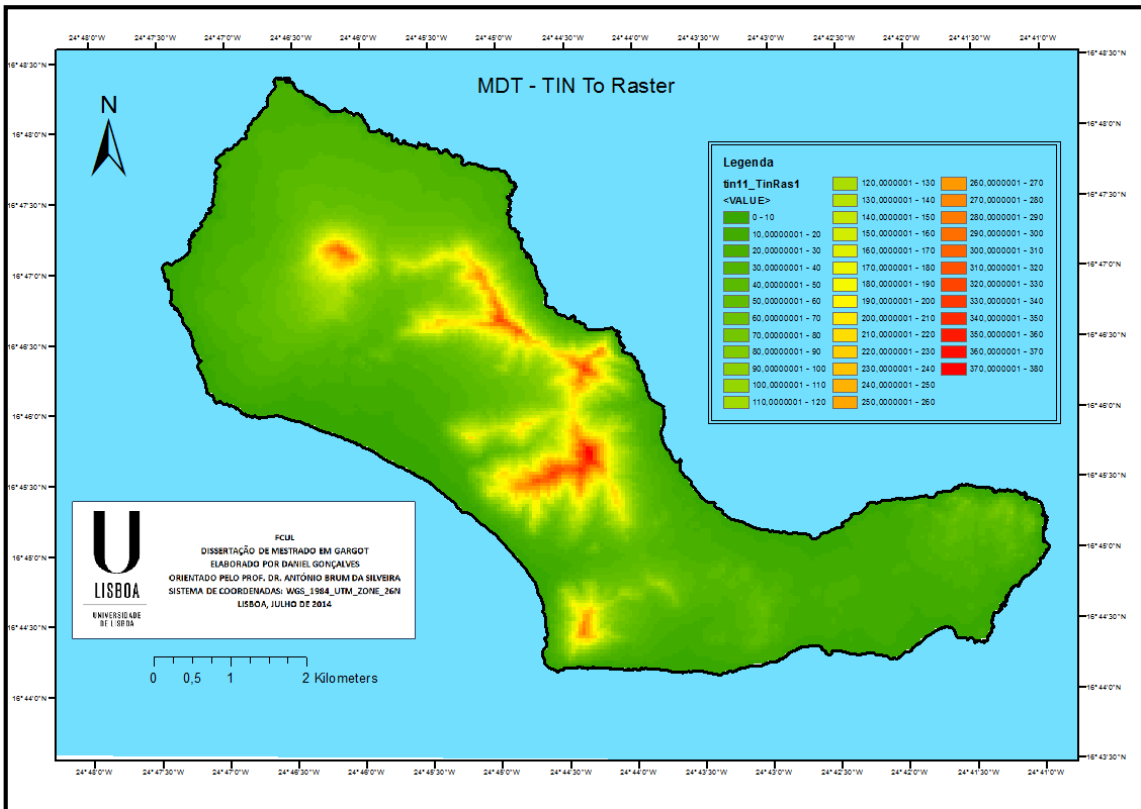
Anexo I: Visor da página do MAHOT-CV



Anexo II: Ortofotomapa da ilha de Santa Luzia; Mosaico de imagens georreferenciadas



Anexo III: Carta de representação das curvas de nível e dos pontos



Anexo IV: Conversão do Modelo TIN To Raster