C&SIG

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA AO RISCO SÍSMICO NO CONCELHO DE VILA FRANCA DO CAMPO (AÇORES)

Contributo para a construção de uma comunidade resiliente

Valter Nuno Brito Martins

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica

Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação
da Universidade Nova de Lisboa

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA AO RISCO SÍSMICO NO CONCELHO DE VILA FRANCA DO CAMPO (AÇORES)

CONTRIBUTO PARA A CONSTRUÇÃO DE UMA COMUNIDADE RESILIENTE

Dissertação orientada por

Professor Doutor Pedro da Costa Brito Cabral

Setembro de 2010

«Today, humans are playing too large a role in natural disasters for us to go on calling them 'natural'»

Wijkman e Timberlake, (1984, *cit in* Hewitt, 1997)

AGRADECIMENTOS

Nas próximas linhas presto o meu agradecimento a várias pessoas e instituições que contribuíram para esta dissertação.

Ao Professor Pedro Cabral pelo profissionalismo exemplar ao longo desta jornada, tanto no esclarecimento das dúvidas que acompanharam o processo de investigação, como na disponibilização de bibliografia e, finalmente, pelas palavras de permanente incentivo que transmitiu ao longo do último ano.

À Delta Sousa e Silva, "Kamarada" de luta no projecto "Gestão e Governação do Risco: o caso do Risco Sísmico nos Açores". É difícil traduzir por palavras a gratidão que tenho para contigo, mas é de salientar a confiança que soubeste depositar em mim, a abertura de novos horizontes de investigação, e pela liberdade criativa e benesses concedidas no desenvolvimento da dissertação. Por fim é de salientar as palavras de amizade nos momentos mais duros. Temos de pensar em novos projectos a médio prazo!

Ao Centro de Estudos Sociais da Universidade dos Açores na pessoa da sua directora, a Professora Doutora Gilberta Rocha, pelas condições óptimas que proporcionou para o desenvolvimento da investigação no âmbito do projecto da "Gestão e Governação do Risco Sísmico nos Açores". No Centro de Estudos Sociais uma palavra de agradecimento à minha amiga e colega Sofia Moniz, pela forma agradável e simpática como me recebeu aquando do meu ingresso na referida instituição.

Ao meu amigo Eduardo Ferreira, um indivíduo de qualidades humanas singulares, fundamentais para proporcionar um excelente ambiente de trabalho e pelo apoio prestado a título pessoal ao longo do último ano. Espero que de futuro tenhamos mais tempo para conversar no bar da praia do Pópulo ou almoçar no Rotas da ilha verde.

Ao Disaster Research Center da Universidade de Delaware (EUA) na pessoa do Professor Doutor Benigno "Ben" Aguirre, agradeço a disponibilização de múltiplos recursos aquando do estágio académico que tive a oportunidade de frequentar naquela instituição. À Pat Young, coordenadora da biblioteca E.L. Quarantelli, uma palavra de grande apreço pelo auxílio prestado durante as pesquisas bibliográficas que desenvolvi.

Ao Serviço Regional de Estatística dos Açores pela disponibilização de informação estatística. Fico eternamente agradecido aos técnicos, Dr. Manuel Melo e o Sr. António Barbosa, pela paciência em atender a todos os meus pedidos.

À Direcção Regional do Ordenamento do Território e Recursos Hídricos da Secretaria Regional do Ambiente e do Mar pela disponibilização de informação de cariz documental e georreferenciada, indispensável à prossecução da tese.

À Direcção de Serviços de Cartografia e Informação Geográfica da Secretaria Regional da Ciência, Tecnologia e Equipamentos na pessoa da Eng.ª. Marlene Assis, o meu agradecimento pela partilha de informação georreferenciada.

À Câmara Municipal de Vila Franca do Campo na pessoa do seu presidente o Sr. António Cordeiro, pela forma célere como deliberou a cedência de informação. Ao Dr. João Medeiros pela disponibilização da informação documental e georreferenciada.

À Luísa "Jinha" Pereira por partilhares amizade e cumplicidade comigo, desde aquele dia no cais da marina do Funchal. As tuas palavras e companhia, embora distantes (demasiado), foram uma permanente fonte de incentivo e de recuperação de ânimo e lucidez.

À Raquel Medeiros, a responsável pela minha vinda para os Açores (pois é Kelinhas!). Não esquecerei o teu gesto de amizade para comigo e de tudo o que me tens proporcionado em São Miguel. Aos pais da Raquel, o Sr. António e a Dona Leonor, agradeço a generosidade com que me acolheram em S. Miguel.

Ao Rui Pires, o meu camarada da luta desde os tempos da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, por teres tido a perspicácia e o bom senso de me encaminhar para o mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica.

Aos meus amigos Carlos Pereira, Luís Ângelo, João Neto e Ricardo Teixeira pela amizade e companhia em diferentes etapas da minha vida pessoal.

Aos Manic Street Preachers, Joy Division, The Clash e Editors pela excelente música que produziram e que tornou os meus períodos de investigação bem menos solitários.

À minha família, Ana Bela "Belinha", Bárbara, Andreia, Diogo, José Manuel "Zé" e Luís, que embora distantes estão presentes nos meus pensamentos.

Por fim, ao pai Valter e à mãe Elisabete, a quem dedico esta dissertação. Por serem dois seres humanos extraordinários que souberam colocar o bem-estar dos filhos no topo das suas prioridades, proporcionando-me uma vida feliz, sã e tranquila. Peço desculpa à minha mãe pelo meu feitio, por vezes intratável, agradecendo-lhe a paciência em cuidar do meu cão, o Matias. Ao meu pai agradeço os sacrifícios dispendidos nos últimos anos em prol da minha formação académica. Aos dois em particular, muito obrigado!

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA AO RISCO SÍSMICO NO CONCELHO DE VILA FRANCA DO CAMPO (AÇORES)

CONTRIBUTO PARA A CONSTRUÇÃO DE UMA COMUNIDADE RESILIENTE

RESUMO

O aumento da frequência de desastres decorrentes da actividade sísmica conduz à necessidade de avaliação do risco associado aos indivíduos e às unidades sociais. A conceptualização do risco através de modelos teóricos permite a identificação dos factores de vulnerabilidade, sendo um importante contributo na aferição dos níveis de resiliência e de capacidade adaptativa dos elementos em risco.

A exposição do concelho de Vila Franca do Campo ao perigo sísmico, consubstanciando segundo o seu enquadramento geoestrutural e registo histórico de desastre, torna indispensável a conceptualização de um modelo integrado de risco suficientemente flexível para identificar e avaliar os factores de vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico, e de considerar as estratégias adaptativas desenvolvidas pelo município, para o incremento dos seus níveis de resiliência.

Na presente dissertação desenvolvem-se dois modelos georeferenciados: o primeiro direccionado à avaliação da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico no concelho de Vila Franca do Campo com recurso à Análise Multicritério, e; o segundo, com o objectivo de espacializar as dinâmicas territoriais neste município no período entre 1994 e 2020, através de um modelo de alteração do uso e ocupação do solo, o Geomod.

O primeiro modelo evidencia os padrões de vulnerabilidade da área de estudo, primando por valores de vulnerabilidade média moderada, sendo de distinguir a maior vulnerabilidade associada às dimensões, ambiente construído e exposição ao perigo sísmico. O modelo de alteração de uso do solo demonstra a acentuada expansão urbana entre 1994 e 2005, sendo que o cenário preditivo para 2020 antevê a diminuição dessa tendência, devido à acção eficiente dos instrumentos de gestão territorial.

EVALUATION OF THE SOCIAL-ECOLOGICAL VULNERABILITY TO SEISMIC RISK IN VILA FRANCA DO CAMPO MUNICIPALITY (AZORES)

CONTRIBUTION FOR THE CONSTRUCTION OF A RESILIENT COMUNITY

ABSTRACT

The increasing frequency of disasters triggered by the seismic activity worldwide turns imperative the evaluation of the risk related to the human being and the social units. The conceptualization of risk with the resource to theoretical models allows the recognition of the vulnerability index, but it is also important to be acquainted with the levels of resilience and adaptative capacity from the elements at risk.

The exposure from Vila Franca Campo municipality to the seismic hazard, which is determined by the geoestrutural context and historical disaster´s profile from the region, makes obligatory the conceptualization of a flexible model of risk, allowing the identification and evaluation from the social-ecological vulnerability factors to seismic risk, as well as the definition of adaptative strategies which should be adopted by the Vila Franca do Campo municipality to enhance its resilience levels.

In this thesis, two georeferenced models were generated: the first aiming at evaluating the social-ecological vulnerability to seismic risk in Vila Franca do Campo municipality with the introduction of a set of Multicriteria analysis methodologies, and; a second model which major purpose is to ascertain the territory dynamics in the period between 1994 and 2020 with the implementation of a land use and cover change model, the Geomod.

The first model shows the vulnerability patterns of the study area, which is characterized by moderate average vulnerability. It is also worthwhile mention the high vulnerability linked to the built environment and to seismic hazard exposure dimensions. The land use cover change model recognized the major increase from the urban areas between 1994 and 2005, but the predictive scenario to 2020 confirms its decrease, due to the effectiveness of the land use planning rules system.

PALAVRAS-CHAVE

Análise multicritério

Capacidade adaptativa

Geomod

Modelos de alteração do uso e ocupação do solo

Resiliência

Risco sísmico

Vulnerabilidade Socioecológica

KEYWORDS

Multicriteria analysis

Adaptative capacity

Geomod

Land use and cover change models

Resilience

Seismic risk

Social-ecological vulnerability

ACRÓNIMOS

AC – Autómatos Celulares

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

AMC – Análise Multicritério

ASCII – *American Standard Code for Information Interchange*

BGRI – Base Geográfica de Referenciação de Informação

CA MARKOV – *Cellular Automata MARKOV*

CAOP – Carta Administrativa Oficial de Portugal

CES-UA – Centro de Estudos Sociais da Universidade dos Açores

CLC – *Corine Land Cover*

EUA – Estados Unidos da América

EMM – Escala *Mercalli* Modificada

IGP – Instituto Geográfico Português

IGT – Instrumentos de Gestão Territorial

INE – Instituto Nacional de Estatística

LUCC – *Land Use and Cover Change*

OWA – *Order Weighted Average*

PC – Pontos de Controlo

PDM – Plano Director Municipal

PMOT – Plano Municipal de Ordenamento do Território

POOC – Plano de Ordenamento da Orla Costeira

PP – Plano de Pormenor

PROTA – Plano Regional de Ordenamento do Território dos Açores

PU – Plano de Urbanização

RAA – Região Autónoma dos Açores

RGB – *Red*, *Green*, *Blue*

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SLEUTH – *Slope – Land use – Exclusion – Urban extent – Transportation – Hillshade*

SSE – Sistema Socioecológico

UMC – Unidade Mínima Cartográfica

WLC – *Weighted Linear Combination*

ÍNDICE DO TEXTO

AGRADECIMENTOS ..... **iv**

RESUMO ..... **vi**

ABSTRACT ..... **vii**

PALAVRAS-CHAVE ..... **viii**

KEYWORDS ..... **viii**

ACRÓNIMOS ..... **ix**

ÍNDICE DO TEXTO ..... **xi**

ÍNDICE DE TABELAS ..... **xv**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **xvi**

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO **1**

1.1. ENQUADRAMENTO TEÓRICO 1

1.2. OBJECTIVOS 3

1.3. PREMISSAS/HIPÓTESES DE INVESTIGAÇÃO 4

1.4. METODOLOGIA GERAL 5

1.5. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO 6

CAPÍTULO II – MODELO CONCEPTUAL DE RISCO, VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA E RESILIÊNCIA **8**

2.1. APRESENTAÇÃO 8

2.2. SISTEMA SOCIOECOLÓGICO 8

2.3. DESASTRE, RISCO, VULNERABILIDADE E RESILIÊNCIA 9

2.3.1. Vulnerabilidade: Perigosidade, Exposição e Sensibilidade 11

2.3.2. Resiliência: Adaptação, Capacidade Adaptativa e Capacidade de Resposta 12

2.4. FORMULAÇÃO DO MODELO DE ANÁLISE 14

2.4.1. Enquadramento Conceptual 14

2.5. VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA AO RISCO SÍSMICO 16

2.6. RESILIÊNCIA À PERIGOSIDADE SÍSMICA: A GESTÃO DO RISCO 19

2.7. SÍNTESE 21

CAPÍTULO III – RISCO SÍSMICO NO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES: O CASO DO CONCELHO DE VILA FRANCA DO CAMPO 23

3.1. APRESENTAÇÃO 23

3.2. RISCO SÍSMICO NOS AÇORES: 500 ANOS DE HISTÓRIA 23

3.2.1. Localização Geral do Arquipélago dos Açores 24

3.2.2. Enquadramento Geoestrutural da Região 24

3.2.3. Registo Histórico de Desastre nos Açores 25

3.3. RISCO SÍSMICO: O CASO DO CONCELHO DE VILA FRANCA DO CAMPO 27

3.3.1. Localização Geral de Vila Franca do Campo 27

3.3.2. Caracterização Sociodemográfica 28

3.3.3. Caracterização Socioeconómica 30

3.3.4. Caracterização do Edificado 31

3.3.5. Enquadramento Geotectónico 34

3.3.6. Registo Histórico de Desastre 35

3.4. SÍNTESE 36

CAPÍTULO IV – MODELAÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA AO RISCO SÍSMICO COM RECURSO À ANÁLISE MULTICRITÉRIO 38

4.1. APRESENTAÇÃO 38

4.2. ANÁLISE MULTICRITÉRIO: ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO 38

4.2.1. Processo Hierárquico Analítico (AHP) 40

4.2.2. Média Ponderada Ordenada (OWA) 41

4.3. MODELAÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA AO RISCO SÍSMICO 42

4.3.1. Estrutura Hierárquica do Modelo de Vulnerabilidade 43

4.3.1.1. Geoprocessamento dos Factores de Vulnerabilidade 50

4.3.1.2. Normalização dos Factores de Vulnerabilidade 50

4.3.2. Avaliação do Peso dos Factores de Vulnerabilidade 52

4.3.2.1. Avaliação dos Factores de 3º Nível 53

4.3.2.2. Avaliação dos Factores de 2º Nível 55

4.3.3. Regra de Decisão: Combinação dos Critérios de Vulnerabilidade 57

4.3.3.1. Critérios de Decisão de 3º Nível 58

4.3.3.2. Critérios de Decisão de 2º Nível 61

4.3.3.3. Critérios de Decisão de 1º Nível 64

4.4. SÍNTESE 65

CAPÍTULO V – SIMULAÇÃO DA EVOLUÇÃO DAS ÁREAS URBANAS NO CONCELHO DE VILA FRANCA DO CAMPO 66

5.1. APRESENTAÇÃO 66

5.2. MODELOS DE ALTERAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (LUCC) 66

5.2.1. Os Autómatos Celulares: Método de Análise Espacial 68

5.2.2. Técnicas de Validação de Modelos LUCC 69

5.2.3. Modelo Geomod: Enquadramento Metodológico 70

5.3. SIMULAÇÃO DA EXPANSÃO DAS ÁREAS URBANAS NO CONCELHO DE VILA FRANCA DO CAMPO COM RECURSO AO MODELO GEOMOD 72

5.3.1. Produção dos Mapas de Uso do Solo de 1994 e 2005 73

5.3.2. Concepção do Mapa de Aptidão para as Áreas Urbanas 74

5.3.3. Validação e Desenvolvimento dos Cenários de Expansão Urbana 78

5.4. SÍNTESE 81

CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO 82

6.1. MODELO DE VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA AO RISCO SÍSMICO 82

6.2. MODELO DE SIMULAÇÃO DA EXPANSÃO DE ÁREAS URBANAS 87

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 90

ANEXOS 100

ANEXO 1 – MEDIDAS E ACÇÕES DE MITIGAÇÃO DO RISCO SÍSMICO 101

ANEXO 2 – NORMALIZAÇÃO DOS FACTORES DE VULNERABILIDADE 102

ANEXO 3 – IMAGENS DE 2º NÍVEL RESULTANTES DO CÁLCULO DOS INDICADORES ATRAVÉS DAS VARIÁVEIS PRESENTES NA BGRI 110

ANEXO 4 – SÍNTESE DOS CENÁRIOS DEFINIDOS PARA A COMBINAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE 2º NÍVEL POR OBJECTIVO 111

ANEXO 5 – CENÁRIOS DE 1º NÍVEL RELATIVOS AOS QUATRO OBJECTIVOS DA ESTRUTURA HIERÁRQUICA DE VULNERABILIDADE 113

ANEXO 6 – MAPAS BINÁRIOS DE USO DO SOLO REFERENTES AOS ANOS DE 1994 E 2005. 117

ANEXO 7 – SÍNTESE DAS PLANTAS DE CONDICIONANTES DOS IGT DE NATUREZA REGULAMENTAR EM VIGOR NA ÁREA DE ESTUDO 118

ANEXO 8 – MAPAS DE USO DO SOLO URBANA E NÃO URBANO REFERENTES AO ANO DE 2005 (REAL E SIMULADO) 121

ANEXO 9 – VULNERABILIDADE DO OBJECTIVO AMBIENTE CONSTRUÍDO 122

ANEXO 10 – VULNERABILIDADE DO OBJECTIVO POPULAÇÃO 123

ANEXO 11 – VULNERABILIDADE DO OBJECTIVO EXPOSIÇÃO AO PERIGO SÍSMICO 124

ANEXO 12 – VULNERABILIDADE DO OBJECTIVO SOCIOECONÓMICO 125

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Códigos atribuídos aos *objectivos* e *factores* da estrutura hierárquica do modelo de vulnerabilidade, indicação do nível da hierarquia, e processo metodológico na origem dos *factores* de vulnerabilidade. 49

Tabela 2 – Síntese das funções de normalização e indicação dos pontos de controlo associados à normalização dos *factores* de vulnerabilidade socioecológica..... 51

Tabela 3 - Estatísticas derivadas das frequências dos valores de vulnerabilidade das imagens de 2º nível. 60

Tabela 4 – Critérios de normalização dos *factores* potenciadores de aptidão para o uso do solo urbano. 77

Tabela 5 - Evolução da área ocupada pelas categorias de uso do solo não urbano e urbano no concelho de Vila Franca do Campo, no período entre 1994 e 2020..... 81

Tabela 1.1 - Medidas e acções de mitigação do risco sísmico. Fonte: Berke e Beatley, 1992..... 101

Tabela 4.1 - Tabela síntese dos seis cenários definidos para a combinação dos *critérios* de 2º nível, referentes ao *objectivo* População..... 111

Tabela 4.2 - Tabela síntese dos seis cenários definidos para a combinação dos *critérios* de 2º nível, referentes ao *objectivo* Socioeconómico. 111

Tabela 4.3 - Tabela síntese dos seis cenários definidos para a combinação dos *critérios* de 2º nível, referentes ao *objectivo* Ambiente Construído. 112

Tabela 4.4 - Tabela síntese dos seis cenários definidos para a combinação dos *critérios* de 2º nível, referentes ao *objectivo* Exposição ao Perigo Sísmico. 112

Tabela 7.1 - Elementos presentes na Planta de Condicionantes do POOC Costa Sul da ilha de S. Miguel. Fonte: Relatório síntese do POOC costa sul da ilha de S. Miguel (DROTRH/SRAM, 2007b). 119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema síntese do SES, com a inclusão dos subsistemas, processos, componentes e condições que influenciam a sua evolução interactiva no tempo e no espaço. 9

Figura 2 - Esquematização do modelo analítico de suporte à operacionalização do risco. .. 15

Figura 3 - Enquadramento geral do Arquipélago dos Açores. Fonte: CAOP, V2008.1 (IGP, 2008). 24

Figura 4 - Enquadramento geotectónico do arquipélago dos Açores (lado esquerdo), e principais sistemas de fracturas tectónicas presentes na região (lado direito). Fonte: Nunes, 1999. 25

Figura 5 - Mapa de epicentros e representação cartográfica das magnitudes registadas no período entre 1980 e 1998, essencialmente ao longo do *Rift* da Terceira. Fonte: Nunes *et al*., 2004. 26

Figura 6 – Danos ocorridos na cidade de Angra de Heroísmo, na ilha Terceira, em resultado do sismo de 1 de Janeiro de 1980. É visível a vulnerabilidade da construção em alvenaria de pedra. Fonte: Bruno e Forjaz (2005). 27

Figura 7 - Limites administrativos e subsecções estatísticas do concelho de Vila Franca do Campo. Fonte: base geográfica: CAOP, V2008.1 (IGP, 2008); BRGI (INE, 2001). 28

Figura 8 - Total de população residente nas freguesias do concelho de Vila Franca do Campo, em 1991 e 2001. Fonte: Censos 1991 e 2001 (INE). 28

Figura 9 - Estrutura etária da população residente no concelho de Vila Franca do Campo, em 1991 e 2001. Fonte: Censos 1991 e 2001 (INE). 29

Figura 10 - Dimensão das famílias clássicas nas freguesias do concelho de Vila Franca do Campo. Fonte: Censos 2001, INE. 29

Figura 11 - Indicadores socioeconómicos por freguesia, no concelho de Vila Franca do Campo. População empregada por sector da actividade em 2001, taxa de actividade em 2001, e taxa de variação por sector de actividade económica entre 1991 e 2001. Fonte: Censos 1991 e 2001 (INE). 30

Figura 12 - Número de edifícios e taxa de variação dos edifícios, nas freguesias de Vila Franca do Campo entre 1991 e 2001. Fonte: Censos 1991 e 2001, INE. 32

Figura 13 - Proporção de edifícios por tipologia de materiais de construção, por freguesia, no concelho de Vila Franca do Campo, segundo os Censos 2001. Fonte: INE. 33

Figura 14 - Carta de intensidades máximas históricas para a ilha de S. Miguel. Fonte: Silveira (2002). 34

Figura 15 - Escala quantitativa para derivação do peso dos *critérios* de avaliação com base na matriz de comparação. Fonte: Eastmann (2001) *in* Valente e Vettorazzi (2005). 40

Figura 16- Estrutura hierárquica do modelo de vulnerabilidade ao risco sísmico..... 45

Figura 17 - Matriz de comparação de *factores* par-a-par e escala contínua de valores que hierarquiza a importância dos *factores*. Legenda: 1 – igual importância; escala de maior importância entre pares de *factores*: 3 – moderada; 5 – forte; 7 – muito forte; 9 – extremamente; escala de menor importância entre pares de *factores*: 1/3 – moderada; 1/5 – forte; 1/7 – muito forte; 1/9 – extremamente. Fonte: Clark Labs©, (2006). 53

Figura 18 - Pesos atribuídos aos *factores* de vulnerabilidade de 3º nível e de 2º nível. 57

Figura 19 - Imagens de 2º nível resultantes do processo de combinação dos *critérios* de 3º nível. 59

Figura 20 - Localização dos seis cenários de vulnerabilidade no espaço estratégico de decisão. Fonte: Ramos e Mendes (2001), (Adaptado: Valter Martins, 2010). 61

Figura 21 - Imagens de 1º nível, derivadas da combinação dos *critérios* de vulnerabilidade de 2º nível. As imagens representam os cenários seleccionados no interior do espaço estratégico de decisão. 63

Figura 22 - Mapa final de vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico, derivado da combinação dos *critérios* de 1º nível. 64

Figura 23 - Cartas de uso do solo do concelho de Vila Franca do Campo, para os anos de 1994 e de 2005..... 74

Figura 24 - *Factores* potenciadores e *exclusionários* para a derivação do mapa de aptidão de uso do solo urbano..... 76

Figura 25 - Mapa de aptidão para a passagem de uso do solo não urbano para urbano, no concelho de Vila Franca do Campo. 78

Figura 26 - Mapas de uso do solo não urbano e urbano no concelho de Vila Franca do Campo, referentes ao ano de 2005 (do lado esquerdo o mapa real e do lado direito o mapa simulado). 79

Figura 27 - Cenário de evolução de uso do solo (não urbano e urbano) para o ano de 2020. 80

Figura 28 - Valores de vulnerabilidade geral e das dimensões associadas, por freguesia, no concelho de Vila Franca do Campo. 82

Figura 29 - Evolução do uso do solo entre 1994 e 2020 em Vila Franca do Campo, considerando o ordenamento do território (PDM) e as áreas edificadas em zonas de risco (POOC). Fonte: CMVFC, 1997a; DROTRH/SRAM, 2007c. 87

Figura 3.1 - Imagens de 2º nível, não resultantes da introdução das regras de decisão, mas geradas através do cálculo dos indicadores das variáveis presentes na BGRI (P4; SE1; SE2; SE4; EPS1; EPS2; EPS3; EPS4). 110

Figura 5.1 - Imagens dos cenários de 1º nível, referentes à combinação dos *critérios* de vulnerabilidade do *objectivo* População. 113

Figura 5.2 - Imagens dos cenários de 1º nível, referentes à combinação dos *critérios* de vulnerabilidade do *objectivo* Socioeconómico. 114

Figura 5.3 - Imagens dos cenários de 1º nível, referentes à combinação dos *critérios* de vulnerabilidade do *objectivo* Ambiente Construído. 115

Figura 5.4 - Imagens dos cenários de 1º nível, referentes à combinação dos *critérios* de vulnerabilidade do *objectivo* Exposição ao Perigo Sísmico. 116

Figura 6.1 - Mapas binários de uso do solo (não urbano e urbano) referente aos anos de 1994 e 2005, no concelho de Vila Franca do Campo. 117

Figura 7.1 - Planta de Condicionantes presente no PDM do município de Vila Franca do Campo. Fonte: CMVFC, 1997a. 118

Figura 7.2 - Planta de Condicionantes do POOC Costa Sul da ilha da S. Miguel, considerando somente as condicionantes presentes no concelho de Vila Franca do Campo. Fonte: DROTRH/SRAM, 2007c. 120

Figura 8.1 - Mapas de uso do solo urbano e não urbano, referentes ao ano de 2005 (do lado esquerdo o mapa real e do lado direito o mapa simulado). 121

Figura 9.1 - Vulnerabilidade associada ao *objectivo* Ambiente Construído no concelho de Vila Franca do Campo. 122

Figura 10.1 - Vulnerabilidade associada ao *objectivo* População no concelho de Vila Franca do Campo. 123

Figura 11.1 - Vulnerabilidade associada ao *objectivo* Exposição ao Perigo Sísmico no concelho de Vila Franca do Campo. 124

Figura 12.1 - Vulnerabilidade associada ao *objectivo* Socioeconómico no concelho de Vila Franca do Campo. 125

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Na superfície terrestre é comum a ocorrência de fenómenos perigosos de génese natural cuja localização, frequência e magnitude podem abalar as estruturas sociais, económicas e políticas que evoluem no seio do Sistema Socioecológico (SSE). No início do ano de 2010, a ocorrência de um sismo de grau 7,0 na escala de Richter, em Port-au-Prince, capital do Haiti, provocou 222 mil vítimas mortais, um milhão e meio de desalojados e o colapso geral dos edifícios e infra-estruturas da capital haitiana (CRED, 2010). Ainda de acordo com o CRED (2010), e considerando apenas os desastres desencadeados por sismos nos últimos 50 anos, registaram-se 1,1 milhões de mortos, 21 milhões de desalojados, 137 milhões de afectados e prejuízos económicos avaliados em 452 mil milhões de dólares norte-americanos. Estes valores colidem com a ideia que temos do progresso das sociedades contemporâneas, que deveria ser sinónimo de uma maior capacidade de introduzir a gestão do risco nas políticas de governação pública. No último século, o aumento do número e da frequência de desastres devido à ocorrência de abalos sísmicos de magnitude elevada, evidencia porém, uma realidade distinta.

A análise do termo "desastre", e em particular, da aplicação quase imutável do conceito "desastre natural", merece ser revista, pois os desastres são eventos multidimensionais que entrecruzam vários aspectos da vida humana, e que incluem as condições ambientais, sociais, económicas e políticas (Oliver-Smith, 2004). A percepção do desastre enquanto processo deverá reconhecer que estes são manifestações que incidem no SSE. Segundo Blaikie *et al*. (1994), o SSE é constituído por duas componentes que se encontram em permanente e mútua interacção, o subsistema sociedade constituído pelo Homem e o subsistema ecológico, que compreende a dimensão biofísica do sistema, ou seja, o SSE é a conjugação do meio Humano com o Natural. Assim, a análise do processo de desastre não deverá circunscrever-se à identificação dos factores condicionantes e desencadeantes do processo geofísico causal, mas sim, possuir a faculdade de analisar as dimensões, os processos e relações que caracterizam o enquadramento social dos indivíduos, das sociedades, e do ambiente biofísico no qual se inserem.

O enquadramento dos desastres como eventos complexos e dinâmicos que ocorrem no intercâmbio do SSE antecede a ponderação das componentes que incorporam os modelos conceptuais de risco. O risco é um termo complexo e de difícil definição, dado que descreve uma sensação imaginária ou ilusória (Smith, 1996), embora seja uma propriedade intrínseca ao SSE. Entende-se por risco, a probabilidade de desencadeamento de uma perturbação ou stress, gerador de desregulações e/ou desequilíbrios num dado sistema. Assim, e considerando o risco presente no SSE, é necessário reconhecer que este deriva da combinação entre a vulnerabilidade e a exposição à perigosidade do agente sísmico, sendo o desastre, o produto dessa interacção (Smith, 1996). Introduziram-se três conceitos que são fundamentais na análise integrada de risco, ou seja, a vulnerabilidade, a perigosidade, e a exposição, uma vez que não existe risco em caso de presença da perigosidade mas ausência de vulnerabilidades, ou então, caso existam vulnerabilidades no SSE mas o agente de perigo não está presente ou activo (Blaikie *et al*., 1994). Contudo, de modo a completar o quadro conceptual de risco no SSE é necessário incorporar o conceito de resiliência, sendo a propriedade do SSE que determina a capacidade de absorção e resistência às perturbações geradas pelos agentes de perigo, e a capacidade em adaptar-se (capacidade adaptativa) a novos ambientes de regulação do sistema (Adger, 2005).

Os conteúdos apresentados nos últimos três parágrafos permitem estabelecer três pressupostos de análise:

- os desastres são processos complexos, derivando da conjugação entre o risco, a exposição ao perigo geofísico, as vulnerabilidades, e a resiliência e capacidade adaptativa construídas no SSE;
- o grau de vulnerabilidade dos indivíduos e das sociedades deriva das condições sociais, económicas, políticas e ambientais, sendo que a níveis elevados de vulnerabilidade, corresponderá maior impacte, dano e dificuldade em recuperar dos eventos danosos (Delica-Willinson e Willinson, 2004);
- o SES tem a particularidade de ser robusto e persistente aos distúrbios e perturbações dos agentes de perigosidade, e de aproveitar as oportunidades geradas por estes para optimizar as estruturas e processos, concretizar a renovação do sistema e garantir a emergência de novas trajectórias que possibilitem resistir e recuperar eficazmente das perturbações dos agentes de perigo (Folke, 2006).

No concelho de Vila Franca do Campo, o risco sísmico deriva do enquadramento geotectónico à escala regional e local, e é consubstanciado através do registo histórico de desastre vivenciado pelo concelho. Importa acentuar que o sismo mais destrutivo ocorrido nos Açores, a 22 de Outubro de 1522, foi responsável pela "subversão" de Vila Franca do Campo, perecendo então, cerca de 5 mil pessoas, e sendo destruídas todas as edificações existentes à época (Nunes, 2008). Mediante a exposição do município de Vila Franca do Campo ao perigo sísmico, importa conceber e implementar um modelo conceptual de risco suficientemente flexível, que permita a análise do risco sísmico na área de estudo, decomposto em duas vertentes, a vulnerabilidade e a resiliência (e capacidade adaptativa).

A estruturação e a definição das dimensões e factores de vulnerabilidade, através do processo de modelação num Sistema de Informação Geográfica (SIG), possibilitarão determinar os traços de vulnerabilidade do concelho de Vila Franca do Campo, acção preponderante na promoção da mitigação do risco sísmico, bem como no aperfeiçoamento da gestão da emergência em função dos níveis de vulnerabilidade identificados no território. A dimensão da resiliência e capacidade adaptativa é examinada com base na modelação da evolução das áreas urbanas entre 1994 e 2020, uma vez que nos territórios expostos ao perigo sísmico importa determinar se as dinâmicas territoriais incorporam o risco sísmico nas políticas de planeamento e ordenamento do território, através dos Instrumentos de Gestão Territorial (IGT) de natureza regulamentar.

A presente dissertação resulta da participação do candidato a mestre no projecto "Gestão e Governação do Risco: o caso do Risco Sísmico nos Açores", com a função de bolseiro de investigação. O referido projecto é financiado pela Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento (FLAD) ao abrigo do protocolo Antero de Quental, e envolve a participação de três instituições: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC); Centro de Estudos Sociais da Universidade dos Açores (CES-UA); Disaster Research Center (DRC) da Universidade de Delaware (EUA).

1.2. OBJECTIVOS

A investigação desenvolvida na dissertação assenta nos seguintes objectivos:

1. Estruturar e implementar um modelo de análise que considere a vulnerabilidade socioecológica do concelho de Vila Franca do Campo ao risco sísmico e reconheça a capacidade adaptativa deste sistema ao risco sísmico, de modo a aumentar o grau

de resiliência da comunidade vilafranquense. Este modelo definirá as dimensões e os factores de suporte à modelação da vulnerabilidade socioecológica e os parâmetros de análise à resiliência ao risco sísmico (IGT de natureza regulamentar), através da modelação da evolução das áreas urbanas do município;

2. Avaliar a vulnerabilidade sócio-ecológica do concelho de Vila Franca do Campo ao risco sísmico. A definição dos níveis de vulnerabilidade é capital para determinar a variação da vulnerabilidade no concelho, os padrões de vulnerabilidade, e identificar os *hotspots* de maior vulnerabilidade (inter-freguesias e intra-freguesia);

3. Identificar as dinâmicas territoriais do concelho de Vila Franca do Campo no período entre 1994 e 2020 com recurso a um modelo de alteração do uso e ocupação do solo (LUCC), o Geomod (Hall *et al*., 1995; Pontius *et al*., 2001; Pontius e Batchu, 2003). Será desenvolvido um cenário preditivo de evolução das áreas urbanas para 2020, de modo a verificar a eficácia dos IGT em vigor na área de estudo, na salvaguarda do crescimento sustentável das áreas urbanas.

1.3. PREMISSAS/HIPÓTESES DE INVESTIGAÇÃO

Na génese do desenvolvimento da presente dissertação esteve a definição de premissas e hipóteses de investigação. A dissertação assenta nas seguintes premissas:

1. A exposição do concelho de Vila Franca do Campo ao perigo sísmico e o registo histórico de desastre vivenciado no concelho em 500 anos de povoamento, conduz à necessidade de integração do risco sísmico nas políticas de gestão e governação públicas do território;

2. A vulnerabilidade dos indivíduos e da comunidade ao risco sísmico varia em função das condições que lhes são intrínsecas (sociais, socioeconómicas, políticas), e podem resultar na diminuição da capacidade de antecipar, lidar, reagir e de recuperar da perturbação gerada pelo agente de perigo (Blaikie *et al*., 1994);

3. O SSE possui a capacidade de adaptação ao perigo sísmico de modo a lidar e a resistir às perturbações geradas pelo agente de perigosidade, sendo que a

capacidade adaptativa é desenvolvida com base no domínio da gestão do risco sísmico;

4. A imprevisibilidade do desencadeamento da actividade sísmica e o facto das medidas de mitigação do risco sísmico serem benéficas somente a longo prazo, contribui para a passividade em torno das políticas dirigidas ao risco sísmico (Berke e Beatley., 1992).

A partir das premissas enumeradas, consideram-se as seguintes hipóteses de trabalho:

1. Rejeição de um modelo de risco centrado na dimensão geofísica do risco sísmico, sendo indispensável implementar um modelo conceptual de risco, que integre a vulnerabilidade do SSE, a resiliência e a capacidade adaptativa do sistema;

2. É possível modelar a vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico no concelho de Vila Franca do Campo, através da hierarquização dos critérios de vulnerabilidade em ambiente SIG, utilizando como método a Análise Multicritério (AMC);

3. A implementação dos modelos LUCC, e em particular do Geomod, permite a análise das dinâmicas territoriais entre 1994 e 2020 no município de Vila Franca do Campo, através da simulação de cenários preditivos de expansão urbana do concelho;

1.4. METODOLOGIA GERAL

Na fase inicial do estudo, procedeu-se à revisão de literatura de modo a definir um modelo conceptual de risco que suporte e conduza o processo de investigação. O modelo analítico proposto é estruturado pelos conceitos associados à perspectiva holística de risco, designadamente: SSE; vulnerabilidade; exposição; sensibilidade; perigosidade, resiliência; capacidade adaptativa; gestão do risco. A definição do modelo de análise é indispensável à compreensão dos processos, dimensões e factores que articulam e descrevem os conceitos, possibilitando assim, a definição da estrutura de base para a modelação da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico, e à associação dos princípios de resiliência, capacidade adaptativa e gestão do risco às políticas de gestão, planeamento e ordenamento do território, através da simulação das dinâmicas territoriais na área de estudo.

A avaliação da vulnerabilidade sócio-ecológica ao risco sísmico no concelho de Vila Franca do Campo é desenvolvida com recurso à AMC, sendo o processo constituído por quatro

fases. A fase inicial compreende a definição da estrutura hierárquica do modelo de vulnerabilidade, sendo composta por três níveis de abstracção, no qual se incluem os *critérios* de vulnerabilidade (*objectivos*, *factores*, *exclusões*). A segunda fase inclui o geoprocessamento e a normalização dos *factores* de vulnerabilidade. O geoprocessamento visa a "construção" dos indicadores correspondentes a cada *factor* de vulnerabilidade e dado que estes se encontram em diferentes unidades de medida, é necessário proceder à sua normalização. A terceira fase visa a avaliação do peso dos *factores* de vulnerabilidade, através da estimação da importância relativa dos *factores* entre si, utilizando-se o Processo Hierárquico Analítico (APH[1]) como método de base. O processo termina com a aplicação das regras de decisão, no qual os *critérios* de decisão são combinados, sendo utilizado neste procedimento a Média Ordenada Ponderada (OWA[2]).

A simulação da evolução urbana do concelho de Vila Franca do Campo é desenvolvida com a introdução dos princípios teóricos dos modelos LUCC, neste caso concreto, do modelo Geomod, disponível no *software* IDRISI Andes®. A implementação do Geomod na análise dos padrões de mudança de uso do solo na área de estudo é concretizada em três etapas. A etapa inicial compreende a concepção de cartografia temática de uso do solo para o concelho de Vila Franca do Campo, referente aos anos de 1994 e 2005, utilizando como método a interpretação visual de ortofotomapas. Na segunda fase, é derivado o mapa de aptidão para as áreas urbanas. Nesta acção, definem-se cinco *factores* de aptidão e dois de *exclusão*, sendo que na derivação da aptidão é empregue a AMC, seguindo-se deste modo as mesmas assumpções operacionais da avaliação da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico. A última fase inclui a validação do cenário de expansão urbana para 2005, e ainda, o desenvolvimento do cenário preditivo de evolução urbana para 2020 no concelho de Vila Franca do Campo.

1.5. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O capítulo I é dedicado à apresentação da temática em investigação, sendo definidos os objectivos, as premissas e hipóteses de investigação, bem como os procedimentos metodológicos a implementar na dissertação e a organização estrutural da mesma.

---

[1] Na terminologia anglo-sexónica *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

[2] A designação na língua inglesa é *Order Weighted Average* (OWA).

O capítulo II contém um cariz vincadamente teórico, devido à indispensabilidade em propor um modelo analítico que fundamente e oriente o processo de investigação, e ainda, os métodos propostos. Na fase inicial do capítulo II, apresentam-se os conceitos chave na definição do modelo de análise de risco, sendo que no ponto 2.4 e respectivos subcapítulos, estrutura-se o modelo, através da definição das dimensões incorporadas no modelo, de modo a operacionalizar as suas componentes chave, a vulnerabilidade e a resiliência.

No capítulo III é contextualizado o risco sísmico no arquipélago dos Açores e no município de Vila Franca do Campo. A primeira secção do capítulo III destina-se ao enquadramento geotectónico da Região Autónoma dos Açores (RAA) e à descrição do registo histórico de desastre vivenciado em cinco séculos de povoamento dos Açores, devido à ocorrência de sismos. A segunda secção do capítulo III versa a caracterização de Vila Franca do Campo, através das dimensões sociodemográficas, socioeconómicas e do edificado. Por fim, descreve-se o enquadramento geotectónico do concelho e o registo histórico de desastre.

O capítulo IV apresenta a avaliação da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico no concelho de Vila Franca do Campo, com recurso à AMC. A fase inicial do capítulo é de elementar contextualização dos pressupostos teóricos da AMC, introduzindo-se os conceitos associados e os dois métodos na génese da implementação da AMC no processo de modelação, o AHP e a OWA. Na segunda fase do capítulo IV, a partir do ponto 4.3, concretiza-se a modelação da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico em ambiente SIG, descrevendo-se as etapas necessárias à operacionalização da metodologia adoptada.

O capítulo V simula a evolução das áreas urbanas na área de estudo, aplicando-se os princípios teóricos dos modelos LUCC. Na primeira secção do capítulo é introduzida a vertente teórica associada aos modelos LUCC e aos Autómatos Celulares (AC), bem como, as técnicas utilizadas na validação dos modelos LUCC e os fundamentos teóricos do modelo Geomod. Na segunda secção do capítulo V, descrevem-se os procedimentos na génese da operacionalização do modelo Geomod, com o objectivo de prever o crescimento urbano de Vila Franca do Campo entre 1994 e 2020, designadamente, a produção das cartas temáticas de uso do solo, a derivação do mapa de aptidão e o desenvolvimento e a validação dos cenários de expansão urbana.

No capítulo VI procede-se à análise e discussão dos resultados gerados pelo processo de investigação, tecendo-se igualmente uma abordagem crítica das vantagens e limitações associadas aos processos de modelação adoptados no âmbito da dissertação.

CAPÍTULO II – MODELO CONCEPTUAL DE RISCO, VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA E RESILIÊNCIA

2.1. APRESENTAÇÃO

O capítulo II apresenta a teoria desta investigação e os conceitos que suportam o modelo de análise de risco proposto. O capítulo está estruturado em quatro secções, sendo que as duas primeiras apresentam os conceitos de SSE, desastre, risco, vulnerabilidade, resiliência e capacidade adaptativa.

Na secção 2.4 apresenta-se o modelo conceptual de risco, estruturado em torno dos conceitos anteriormente discutidos. Finaliza-se o capítulo com a identificação das dimensões que operacionalizam os conceitos e os pressupostos metodológicos a desenvolver nos capítulos IV e V.

2.2. SISTEMA SOCIOECOLÓGICO

O conceito de SSE é fundamental em processos de investigação incidentes sobre fenómenos que ocorrem na esfera de interacção entre a agência Humana e o meio Natural. O domínio de investigação dos riscos naturais não é excepção, importando reconhecer que os conceitos chave do seu estudo, nomeadamente, a perigosidade, a exposição, o risco, a vulnerabilidade, a resiliência e a capacidade adaptativa, decorrem de processos que se desenvolvem no domínio biofísico e social (Adger, 2006). Perspectiva-se o risco sísmico como o produto das interacções que ocorrem no seio do SSE, no tempo e no espaço, tornando-se indispensável a sua decomposição.

Gilberto Gallopín (2006) define SSE como um sistema que incorpora o subsistema sociedade (Homem) e o subsistema ecológico (Natural), sendo que ambos evoluem em permanente e mútua interacção (Figura 1). Os sistemas ecológicos referem-se aos processos biológicos e biofísicos presentes no seio do SSE, enquanto os sistemas sociais caracterizam-se por regras e instituições que medeiam o uso dos recursos, e por sistemas de conhecimento e ética que interpretam os sistemas naturais na perspectiva humana (Berkes e Folke, 2008 *in* Adger, 2006). O SSE possui a particularidade de ser complexo e dinâmico, evoluindo e transformando-se independentemente das escalas espaciais (da local

à global) e temporais (Gallopín, 2006), sendo importante sublinhar que as dimensões sociais e biofísicas não são separáveis e de fronteiras definidas.

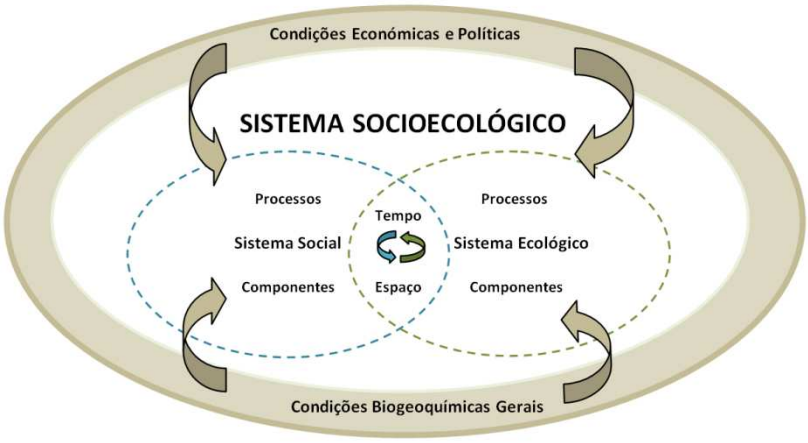

Figura 1 - Esquema síntese do SES, com a inclusão dos subsistemas, processos, componentes e condições que influenciam a sua evolução interactiva no tempo e no espaço.

Segundo Gallopín (2006), a sobrevivência dos subsistemas social e biofísico depende da troca de matéria, energia e informação entre si, podendo assim, desencadear-se mudanças nas estruturas dos sistemas. Neste princípio, deverá considerar-se o SSE como um modelo para a compreensão da complexidade do mundo real, sendo necessário para tal, definir a estrutura topológica do sistema e das relações estabelecidas entre os elementos que o compõem (Berkes *et al*., 2003).

No caso particular do risco sísmico é necessário considerar a bidimensionalidade do SSE, sendo que os desastres desencadeados por eventos sísmicos de capacidade destrutiva, decorrem das relações entre os subsistemas social e biofísico, no espaço e no tempo. A modelação do risco sísmico depende da capacidade em definir a estrutura topológica do mesmo, ou seja, as dimensões e os indicadores de vulnerabilidade, a exposição à perigosidade sísmica e os factores conferidores de maior ou menor resiliência e de capacidade adaptativa dos sistemas.

2.3. DESASTRE, RISCO, VULNERABILIDADE E RESILIÊNCIA

Os desastres induzidos por perigos são eventos concentrados no espaço e no tempo cuja génese extravasa as idiossincrasias do mundo natural. Quarantelli (1994) reflectindo sobre a noção de desastre, postula que a perigosidade natural *per si* não é o único factor responsável pelo desencadear de um desastre. A configuração que este assume é altamente influenciada pelas estruturas sociais e políticas, disponibilidade ou falta de recursos e pelo tipo de relação social mantida com o ambiente (Rodriguez e Russell, 2006).

Este enfoque na dimensão social associadas aos fenómenos de desastre implica, assim, uma ruptura com a noção de "desastre natural" tal como ela é correntemente utilizada. Os desastres são eventos multidimensionais que resultam da conjugação de factores sociais, políticos, económicos, e físicos, reflectindo assim, o grau de (in)capacidade das sociedades para preparar e gerir os efeitos destes eventos (Rodriguez e Russell, 2006).

Os desastres resultam da conjugação de múltiplos factores, sendo que a sua magnitude decorre do grau de exposição dos indivíduos e das sociedades ao risco. Importa contudo clarificar o que se entende por risco e como é que este conceito se cruza com o de vulnerabilidade e de resiliência.

De acordo com Cardona (2004), o conceito de risco é de elevada complexidade, remetendo para um acontecimento imaginário ou irreal usualmente objectivado sob a forma de uma probabilidade de ocorrência no espaço e no tempo. Com base no modelo conceptual de risco da UNDRO (1979) *in* Zêzere *et al*. (2006), o risco é definido "como a probabilidade de ocorrência de um efeito específico causador de danos graves à Humanidade e/ou ambiente, num dado período de tempo e em circunstâncias determinadas".

A definição de risco proposta por Smith (1996) e pela UNDRO (1979) *in* Zêzere *et al*. (2006) enfatizam a quantificação da perda baseada em formulações probabilísticas. Contudo, como sublinha Birkmann (2006), um qualquer esforço de conceptualização de risco deve integrar as noções de vulnerabilidade e a resiliência, correspondendo a processos sociais que exacerbam ou, pelo contrário, atenuam um determinado risco. Esta perspectiva aproxima-se do conceito de risco definido por Blaikie *et al.* (1994), ao sustentar que o risco resulta da combinação da vulnerabilidade e perigo. Cardona (2004) partilha desta orientação perspectivando risco como a perda potencial dos elementos ou sistemas expostos, resultante da junção da perigosidade com a vulnerabilidade. Em ambos as propostas, não é considerada a resiliência enquanto conceito-satélite de risco.

De acordo com Blaikie *et al*. (1994), a vulnerabilidade corresponde à susceptibilidade em vivenciar experiências negativas em consequência da acção de agentes de perigosidade e reflecte a capacidade individual e de uma sociedade em antecipar, preparar, responder e recuperar do desastre. A magnitude e a intensidade de um desastre e o nível de risco acoplado aos sistemas dependem da vulnerabilidade e da exploração das fragilidades que esta induz no sistema social, dado que o nível de risco e as consequências dos desastres não possuem igual distribuição nos grupos sociais.

Segundo Aguirre (2004), a resiliência corresponde à capacidade dos indivíduos e sistemas sociais para resistir ao impacte do desastre e corresponder apropriadamente a crises não antecipadas. A resiliência, corporizada em estratégias de mitigação do risco e de preparação pré-desastre faz parte do capital social das comunidades e contribui, a seu modo, para atenuar eventuais vulnerabilidades.

2.3.1. Vulnerabilidade: Perigosidade, Exposição e Sensibilidade

A definição de vulnerabilidade varia consoante a disciplina ou domínios científicos sendo o objectivo de a definir universalmente, inalcançável. Blaikie *et al*. (1994) tiveram o mérito de, nos anos 90, romper com formas de conceptualização de vulnerabilidade apenas circunscritas ao ambiente físico, natural ou construído, propondo em alternativa um conceito que enfatiza a dimensão social. Segundo estes geógrafos, vulnerabilidade refere-se às características dos indivíduos e dos grupos sociais (raça, etnia, sexo, recursos, etc.) em termos da sua capacidade em antecipar, lidar, resistir e recuperar do impacte da perigosidade. Adger (2006) está entre o conjunto de autores que pretendem conciliar ambos os posicionamentos, propondo que se perspective a vulnerabilidade como o grau pelo qual um sistema ou grupo social sofre danos quando exposto à perigosidade de um agente presente no SSE. Segundo Cardona (2004), a vulnerabilidade é o factor de risco interno ao sujeito ou ao sistema quando exposto a um determinado perigo, correspondendo à predisposição para ser afectado ou à susceptibilidade ao dano.

A vulnerabilidade é representativa do que Bankoff (2004) descreve por escalonamento geral, ou seja, a análise dinâmica e local permite compreender o que torna os sistemas vulneráveis ao risco, considerando os processos capitais para a gradação da vulnerabilidade. A avaliação da vulnerabilidade depende da noção integrada de SSE, pois a ausência dessa perspectiva é impeditiva da redução da vulnerabilidade e do risco, e assim, do número, frequência e impacte dos desastres nas sociedades contemporâneas.

No parágrafo inicial introduziram-se alguns factores clássicos conferidores de vulnerabilidade dos indivíduos a extremos ambientais. A estes têm sido acrescentadas as susceptibilidades de cariz socioestrutural. Hewitt (1997) entende que a sua conceptualização deverá englobar a qualidade e a localização do edificado, os usos do solo, as infra-estruturas públicas e serviços, os estilos de vida e a autoridade política. Ao nível da

vulnerabilidade intrasocietária[3] é possível referir outros factores, designadamente, a deficiência física, o estatuto de imigrante, a ideologia política, as práticas do estado, a densidade do ambiente construído, a dependência de um único sector de actividade, tipo de ocupação e a dependência infra-estrutural (Rodriguez e Russell, 2006).

Os autores que navegam em torno da teoria dos sistemas socioecológicos consideram incontornável definir dois conceitos directamente associados à vulnerabilidade, a exposição e a sensibilidade, e um indirectamente relacionado, a perigosidade.

A exposição corresponde à natureza e ao grau, no qual um sistema pode experienciar o perigo, bem como a duração e a extensão do contacto entre o sistema sujeito ao perigo e o agente de perigo (Adger, 2006; Karperson, 2002 *in* Gallopín, 2006).

A sensibilidade é definida como o grau no qual um sistema poderá ser afectado e/ou modificado devido à exposição aos perigos externos e internos (Adger, 2006; Gallopín, 2006). Luers (2004) *in* Gallopín (2006) descreve sensibilidade como o grau no qual um sistema irá responder a um distúrbio externo, incluindo a capacidade de resistência à mudança.

A perigosidade deriva da tradução do termo "*hazard"* e de acordo com Gallopín (2006) corresponde ao conjunto de ameaças a um sistema, compreendido por perturbações[4], *stress*, ou choque. A perigosidade decorre do desencadeamento de fenómenos geofísicos, biológicos e tecnológicos por múltiplos agentes com probabilidade de ocorrência no SSE.

2.3.2. Resiliência: Adaptação, Capacidade Adaptativa e Capacidade de Resposta

Nas décadas de 60 e 70 do século XX, surge no domínio da ecologia o conceito de resiliência. O investigador C.S. Holling foi o responsável por estudos embrionários em torno da resiliência nos sistemas ecológicos, partindo do princípio que a resiliência corresponde à capacidade de persistência e manutenção dos sistemas em situações de mudança (Folke, 2006). Holling partia do pressuposto que a resiliência determinava a persistência das relações no interior de um sistema, e a capacidade deste para absorver mudanças no

[3] O foco da vulnerabilidade centrado nas características dos indivíduos e dos grupos sociais, ao invés da vulnerabilidade intra-societária, que analisa as diferenças de vulnerabilidade numa escala global (Rodriguez e Russell, 2006).

[4] Pico de pressão de rápida manifestação exercida sobre um sistema, cuja intensidade ultrapassa os limites de variação ambiental do próprio sistema.

estado das variáveis e, mesmo assim, continuar a persistir (Holling *in* Folke, 2006). O conceito de resiliência de Holling enfatizava a capacidade dos sistemas para manter o seu estado e funções na presença de desequilíbrios (Turner *et al*., 2003; Folke, 2006).

O conceito de resiliência no domínio das ciências sociais não compreende as mesmas dimensões das ciências ecológicas, sendo que de acordo com Folke (2006) a perspectiva de resiliência não deverá resumir-se aos conceitos de persistência e robustez aos distúrbios[5], mas deverá considerar a capacidade do sistema em absorver distúrbios e reorganizar-se enquanto ocorre a mudança, mantendo as mesmas funções, a estrutura e a identidade. A perspectiva de Folke aproxima-se da visão evolutiva e moderna de resiliência, designada por resiliência social, que é definida por Adger *et al*. (2005) como o grau no qual um sistema é capaz de se auto-organizar e operar mudanças na sequência de uma perturbação. Esta perspectiva de resiliência apresenta uma bacia de visão mais abrangente, ao considerar as perturbações como geradoras de oportunidades, decorrente da recombinação de estruturas e processos, da renovação dos sistemas e do surgimento de novos rumos de partida. Deste modo, os distúrbios são geradores de oportunidades que podem ser aproveitadas, de modo a consolidar a resiliência dos sistemas (Folke, 2006).

O conceito de resiliência introduzido no parágrafo anterior remete para os conceitos de adaptação dos sistemas, capacidade adaptativa e de capacidade de resposta. A adaptação humana às mudanças é definida por Smit e Wandel (2006), como o processo ou acção, de um determinado sistema (comunidade ou região) de modo a lidar ou ajustar-se às condições de mudança, perigo ou risco. A adaptação é assim, um conceito decisivo quando se interliga a capacidade adaptativa e a capacidade de resposta de um sistema com a resiliência, considerando-as enquanto suas componentes.

A capacidade de resposta é definida por Gallopín (2006) como a capacidade do sistema em ajustar-se aos distúrbios, moderar os danos potenciais, tirar vantagem das oportunidades e lidar com as consequências das transformações que ocorrem, considerando que a capacidade de resposta é uma propriedade do sistema antes da ocorrência da perturbação.

A capacidade adaptativa é fundamental para o entendimento que se estabelece na esfera dos sistemas humanos e naturais, e é frequentemente considerada próxima de outros conceitos, nomeadamente, adaptabilidade, capacidade de lidar, estabilidade, robustez, flexibilidade e inclusivamente, de resiliência (Smit e Wandel, 2006). A capacidade

[5] Entende-se distúrbio como sinónimo de perturbação (conceito introduzido anteriormente).

adaptativa não é estática e difere de indivíduo para indivíduo, ou de região para região, em dependência de factores económicos, tecnológicos, políticos, entre outros. Assim, considera-se por capacidade adaptativa do SSE, a capacidade para lidar com as consequências que decorrem dos processos de perigosidade que afectam os sistemas, e na possibilidade destes em manter um determinado estado, ou de os melhorarem em consequência das mudanças ocorridas nesse sistema (Smit e Wandel, 2006; Gallopín, 2006).

No contexto da dissertação, considera-se por resiliência a capacidade do sistema potencialmente exposto à perigosidade natural para adaptar-se, através da resistência ou da mudança (adaptação), mantendo um nível aceitável de funcionamento e de estrutura do sistema. Este é determinado pelo grau no qual um sistema é capaz de se auto-organizar, de modo a aumentar a sua capacidade de aprendizagem com os desastres passados e também de desenvolver medidas de redução do risco, através da implementação da gestão do risco (UNISDR, 2005 *in* Manyena, 2006).

2.4. FORMULAÇÃO DO MODELO DE ANÁLISE

A proposta de modelação do risco sísmico assenta no estabelecimento dos pressupostos que fundamentam o modelo. O modelo de análise não visa quantificar o risco sísmico, pois a complexidade do fenómeno, a existência de várias componentes associadas e a multidimensionalidade das relações existentes entre estas, não se resume num índice quantitativo de risco. O modelo perspectiva o risco de forma holística enquadrado no conceito previamente definido de SSE, rejeitando perspectivar o risco apenas a partir da vulnerabilidade socioecológica ou da resiliência e da capacidade adaptativa. O risco sísmico resulta da exposição ao agente físico e de vulnerabilidades socialmente produzidas, ambas mediadas pela maior ou menor capacidade adaptativa ao perigo sísmico. A natureza das políticas públicas orientadas para a gestão do risco sísmico são cruciais na avaliação dessa capacidade adaptativa e dos níveis de resiliência associados ao sistema.

2.4.1. Enquadramento Conceptual

O modelo teórico proposto (Figura 2) assume o SSE como o núcleo de conceptualização do risco, sendo que a sua configuração decorre do universo de interacções dinâmicas e permanentes, no espaço e no tempo entre os sistemas sociais e ecológicos. O risco é indissociável da esfera constituída pelo SSE, pois é da coabitação entre os agentes de

perigosidade e os processos que estruturam vulnerabilidades e resiliências que se desenham diferentes níveis de risco.

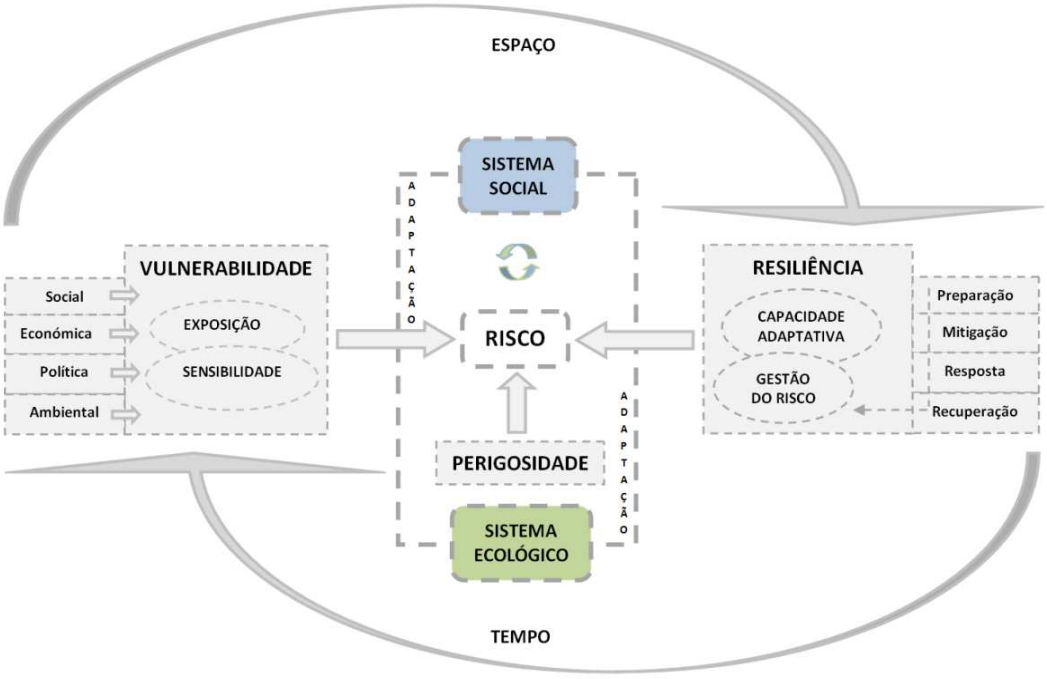

Figura 2 - Esquematização do modelo analítico de suporte à operacionalização do risco.

Conforme esquematizado na Figura 2, risco resulta da combinação da perigosidade, da vulnerabilidade e da resiliência no domínio do SSE. Este modelo difere dos modelos propostos por Turner *et al*. (2003) e Bogardi, Birkmann e Cardona *in* Birkmann (2006), uma vez que estes perspectivam resiliência e capacidade adaptativa como uma dimensão do conceito de vulnerabilidade. A mensuração da vulnerabilidade subentende a independência desta dimensão relativamente à resiliência, de modo a não simplificar relações e processos de elevada complexidade que desenvolvem-se entre estes dois conceitos.

A estrutura conceptual proposta exclui a resiliência enquanto dimensão de vulnerabilidade, sem pretender no entanto, tomar ambos os conceitos como estanques. Estes constituem-se como dois pólos, que em conjunto com a perigosidade, coexistem e interagem nos sistemas. A vulnerabilidade, a resiliência e a perigosidade constituem-se enquanto os conceitos-satélites que possibilitam a análise e a/ou a avaliação do risco, dado que a aferição da vulnerabilidade permite ajustar a actuação ao nível da resiliência, sendo as acções desenvolvidas pela sua dimensão principal, a gestão do risco, capitais no atenuar da vulnerabilidade e do risco de indivíduos e das comunidades. Um exemplo prático do funcionamento deste modelo estrutural é a mitigação do risco sísmico. A introdução dos códigos de construção anti-sísmica não visa a diminuir as vulnerabilidades intrínsecas aos

indivíduos, mas sim, em reduzir o grau de exposição ao risco por parte dos indivíduos, através de um processo adaptativo, conferidor de maior resiliência a um evento sísmico de capacidade destrutiva. A análise de risco implica a inclusão da perigosidade, dado que os agentes de perigo são responsáveis por testar o nível de vulnerabilidade e de resiliência dos sistemas, sendo o grau de risco definido em função das propriedades do agente de perigo, designadamente, a frequência, a magnitude, a duração e o registo histórico de desastre.

A vulnerabilidade enquanto conceito-satélite de risco resulta de um processo dinâmico (Birkmann, 2006) onde a concomitância de factores sociais, políticos, económicos e ambientais reflectem a sensibilidade e a fragilidade dos sistemas quando expostos à perigosidade. Assim, essa conjugação resulta na diminuição da capacidade do sistema em lidar, resistir ou recuperar do desastre.

O nível de resiliência dos sistemas é indispensável na análise de risco, essencialmente através da capacidade adaptativa dos sistemas, isto é, na capacidade de lidar com as contingências ambientais através da manutenção ou melhoria das condições de funcionamento do sistema (Gallopín, 2006). Assim, a capacidade adaptativa traduz-se na adopção de medidas de gestão do risco comummente ordenadas em quatro domínios ou áreas de intervenção: preparação; mitigação; resposta; recuperação (Haddow *et al*., 2007).

2.5. VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA AO RISCO SÍSMICO

A vulnerabilidade considera as características de indivíduos e grupos sociais como fundamentos que influenciam e explicam a capacidade para antecipar, lidar, resistir, prever e recuperar da perigosidade (Cannon, 1994; Mileti, 1999; Wisner *et al*., 2004 *in* Rodriguez e Russell, 2006). Enquanto vértice estruturante de risco, a vulnerabilidade é socialmente construída nas relações diárias mantidas com o ambiente e está inscrita na história de um determinado sistema social (Hewitt, 1997).

Na descrição dos factores de vulnerabilidade, no que designou por *anatomia da insegurança*, Hewitt (1997) distingue dois grandes tipos de factores, respectivamente: susceptibilidades inerentes e susceptibilidades socialmente construídas. As primeiras denominam características biológicas ou físicas dos indivíduos, designadamente, a idade (crianças e idosos), a deficiência e a doença que lhes retiram capacidade de resistência às perturbações. As susceptibilidades socialmente construídas remetem para condições sociais mais ou menos permanentes que moldam a vida dos sujeitos e as possibilidades de

acesso a recursos. A classe social, o estatuto socioeconómico e o grau de instrução dos indivíduos são exemplos deste tipo de susceptibilidades. As classes sociais mais desfavorecidas, às quais associam-se usualmente baixos níveis de escolaridade, acumulam *deficits* que podem traduzir-se em vulnerabilidades a extremos ambientais. Hewitt (1997) sublinha que, na prática, susceptibilidades inerentes e socialmente construídas se entrecruzam. Refira-se, a título ilustrativo, a condição de mulher consensualmente referida como um traço conferidor de vulnerabilidade potencial. Quando manifesta enquanto tal, à condição de mulher estão usualmente associadas a trajectórias de vida marcadas por *deficits* de integração no mercado profissional ou papéis sociais, atribuídos à mulher, que podem traduzir-se numa menor capacidade para resistir ou recuperar de situações extremas.

Os factores apresentados por Hewitt (1997) na teoria da anatomia da insegurança ganham pertinência na análise da vulnerabilidade social ao risco sísmico. Os grupos situados nos extremos do espectro etário (jovens e idosos), a população feminina, as famílias de dimensão reduzida (1 ou 2 elementos) ou alargada (5 ou mais elementos), são traços comummente considerados na análise da vulnerabilidade ao risco sísmico (Blaikie *et al*., 1994; Cutter, 1996; Cutter *et al*., 2003; Enarson *et al*., 2006; Armas, 2008).

A vulnerabilidade associada aos mais jovens e aos idosos decorre fundamentalmente de eventuais circunstâncias de menor agilidade física e, simultaneamente, da situação de potencial dependência em relação a outrem (Cutter *et al*., 2003). No caso particular dos idosos, uma conjugação de traços associados a sua condição física, à maior dependência social do Estado e das redes informais (família, vizinhos e amigos), podem interferir negativamente tanta na resposta ao desastre como na recuperação pós-desastre.

Relativamente à dimensão da estrutura familiar, Cutter *et al*. (2003) consideram que as famílias monoparentais e as famílias alargadas potencialmente mais vulneráveis quando a estas se associam condições socioeconómicas geradoras de menores recursos financeiros para suportar os membros dependentes.

Na análise da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico, os factores associados à dimensão socioeconómica constituem-se como elementos-chave. Os indivíduos e as famílias de maiores recursos, terão à partida, maiores possibilidades de escolha e maior capacidade para investir em soluções habitacionais mais seguras, tanto ao nível da localização do edifício, como da solução construtiva de natureza anti-sísmica, ou ainda da

relação jurídica com a habitação (proprietário vs arrendatário). Acresce-se que no pós-desastre, o maior estatuto socioeconómico pode repercutir-se em mais recursos, tornando o processo de recuperação célere e menos disruptivo.

O estatuto socioeconómico associa-se a diversos factores, designadamente, o salário, o poder político e prestígio dos indivíduos, o tipo de profissão, e as taxas de empregabilidade e desemprego de uma sociedade (Blaikie *et al*., 1994). Estes factores condicionam a capacidade de absorção, resistência e recuperação dos indivíduos aos danos estruturais e económicos induzidos por eventos sísmicos destrutivos. Contudo, o estatuto socioeconómico está usualmente acoplado ao grau de instrução dos indivíduos (Blaikie *et al*., 1994; Cutter *et al*., 2003; Armas, 2008), dado que um nível de instrução modesto diminui a possibilidade dos indivíduos em melhorar o seu estatuto social, além das populações menos instruídas terem maiores dificuldades de assimilar os sinais de emergência e de aceder à informação na fase de recuperação pós-desastre (Cutter *et al*., 2003). Pelo contrário, os indivíduos com maior grau de instrução possuem mais e melhores oportunidades profissionais (teoricamente), e desse modo podem evoluir no estatuto socioeconómico. A taxa de analfabetismo (iliteracia) e o grau de instrução dos indivíduos (1º ciclo; 2º ciclo; 3º ciclo; ensino superior) são indicadores usualmente utilizados na mensuração da vulnerabilidade associada ao grau de instrução da população (Hewitt, 1997; Armas, 2008; Yeletaysi *et al*., 2009).

Os sismos assumem-se como ameaça à vida humana e aos bens materiais devido ao colapso das estruturas construídas. Com efeito, o ambiente construído é causa primordial de danos e de disrupção de vida social (Hewitt, 1997), afigurando-se incontornável a sua inclusão na análise de vulnerabilidades. Os factores associados a esta dimensão (estruturas edificadas) mais correntemente utilizados são: a época de construção; o tipo de estrutura de construção; a qualidade de construção; o número de pavimentos; o tipo de função e de ocupação do edifício; a taxa de ocupação; a posição do edifício relativamente aos edifícios vizinhos (Blaikie *et al*., 1994; Hewitt, 1997; Cutter *et al*., 2003; Rashed e Weeks, 2003; Dwyer *et al*., 2004; Teramo *et al*., 2005; Martinelli *et al*., 2008; Sarris *et al*., 2009).

A época de construção dos edifícios é um elemento de análise essencial, estando usualmente correlacionada com a tipologia de materiais utilizados na construção. Para além disso pode permitir a identificação dos edifícios construídos ao abrigo de legislação

sobre códigos de construção anti-sísmica[6], caso esta exista. Os materiais utilizados nas estruturas dos edifícios possuem diferentes mecanismos de resistência e de resposta à passagem das ondas sísmicas. Considera-se que o tipo de material de construção, o número de pavimentos e a posição do edifício relativamente aos edifícios adjacentes, como elementos que reflectem a cultura de construção de uma região (Hewitt, 1997). O tipo de função e ocupação dos edifícios traduzem as vulnerabilidades associadas aos indivíduos, dado que os edifícios com função exclusivamente residencial são mais vulneráveis, bem como, a situação de arrendatário, uma vez que o proprietário poderá não investir em medidas de reabilitação do edifício (Cutter *et al*., 2003).

A análise da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico é indissociável da exposição à perigosidade sísmica por parte dos elementos em risco, e neste âmbito poderá considerar-se a população residente, os edifícios construídos e os alojamentos clássicos (Davidson, 1997; Sousa, 2006). A ocupação do solo é um elemento que condiciona o grau de vulnerabilidade ao risco sísmico, sendo que de acordo com Cutter *et al*. (2003) as áreas densamente construídas podem colocar entraves às operações de resposta à emergência (busca; salvamento; emergência médica), bem como obstáculos na fase de recuperação.

2.6. RESILIÊNCIA À PERIGOSIDADE SÍSMICA: A GESTÃO DO RISCO

Na discussão do conceito de resiliência salientou-se a capacidade de adaptação dos sistemas às perturbações induzidas pelos perigos naturais. Ao acentuar a capacidade adaptativa enquanto propriedade da resiliência, toma-se a resiliência enquanto processo que incorpora e consolida as dimensões que asseguram o aumento da resistência dos sistemas aos impactes potenciais de abalos sísmicos com capacidade destrutiva. A resiliência à perigosidade sísmica é definida pela capacidade de indivíduos e unidades sociais (comunidades e organizações) em se prepararem para os eventos sísmicos, com recurso às políticas de mitigação do risco sísmico, de preparação, resposta e recuperação pós-desastre, de modo a minimizar a disrupção social induzida pelo evento sísmico (Bruneau *et al*., 2003).

A capacidade adaptativa enquanto dimensão conferidora de resiliência é estruturada através da gestão do risco. Define-se a gestão do risco como um processo multi-

[6] Em Portugal, a primeira regulamentação sísmica dedicada ao edificado, data de 1958, e foi designada por Regulamento de Segurança das Construções contra os Sismos (RSCCS). Actualmente está em vigor o Regulamento de Segurança e Acções Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA), datado de 1983 (Carvalho *et al*., 2001).

dimensional que inclui a preparação, a mitigação, a resposta e a recuperação, de modo a reduzir a perda da vida humana e em minimizar a desregulação dos sistemas sociais e económicos, em territórios expostos à perigosidade sísmica.

A preparação, a mitigação, a resposta e a recuperação podem ser consideradas componentes do ciclo de desastre (Dynes, 1991; Nateghi, 2000), ou então, enquanto instrumentos da gestão da emergência (Haddow *et al*., 2007; McEntire, 2007; Rotanz, 2006). Considera-se os princípios referidos como pressupostos da gestão do risco, dada a possibilidade de dinamização dos seus instrumentos antes da ocorrência do desastre, sendo que o conceito da gestão de emergência possui um carácter reactivo, ou seja, de resposta imediata a um evento danoso (quando o sucesso da minimização do risco passa pela antecipação ao evento).

A preparação é a fase de concepção das linhas orientadoras de planeamento para preparar a probabilidade de ocorrência de um desastre (Quarantelli, 1994). Durante a fase de preparação, é necessário avaliar a perigosidade natural do território, seguindo-se um período de reflexão, no qual é verificado se os níveis de preparação actuais são eficazes para o grau de preparação requerido, em presença de determinado agente de perigosidade. Quarantelli (1994) considera que na fase de preparação desenvolvem-se acções e medidas de planeamento ao nível da gestão da emergência, como por exemplo, os exercícios de simulacro, e ainda de desenvolvimento dos sistemas de alerta e de evacuação. Em caso de deficiência de preparação, a situação deverá ser corrigida e aperfeiçoada na fase de planeamento (Quarantelli, 1994).

A mitigação é a fase de implementação de políticas e acções antes da ocorrência do evento sísmico, de modo a reduzir a dimensão do desastre (Dynes, 1991; Quarantelli, 1994). É de realçar que a mitigação difere das outras fases da gestão do risco por ser planeada a longo prazo, enquanto a preparação, resposta e a recuperação possuem objectivos a curto e/ou médio prazo. No Anexo 1 esquematizam-se algumas das medidas de mitigação do risco sísmico, com base em bibliografia especializada (Berke e Beatley, 1992).

Na fase de resposta encetam-se múltiplas acções durante e no período imediato à ocorrência do desastre (Quarantelli, 1994), sendo uma fase claramente associada ao domínio da gestão da emergência (Haddow *et al*., 2007). As medidas iniciais prendem-se com a emissão de alertas e de evacuação das populações (McEntire, 2007), sendo que na

fase posterior, se iniciam as operações de busca e salvamento dos feridos, e o garantir da segurança e instauração da ordem nas áreas de desastre (Haddow *et al*., 2007).

A fase de recuperação compreende as tarefas associadas à reparação e restauração do ambiente construído, designadamente as habitações e as infra-estruturas básicas (Quarantelli, 1994), sendo um período importante a longo prazo. McEntire (2007) defende que no período de recuperação existe maior sensibilidade (e menor resistência) da comunidade e organizações para a introdução das medidas de mitigação e, deste modo, podemos considerar a recuperação num propósito de desenvolvimento sustentável, ou seja, a recuperação será o processo de restauração e reformulação do ambiente físico, social, económico e natural através da implementação das medidas de planeamento.

No âmbito da dissertação considera-se apenas as dimensões da preparação e de mitigação da gestão do risco, através da sua incorporação nos IGT em vigor na área de estudo.

2.7. SÍNTESE

Da interacção entre a agência humana e o sistema ecológico resulta ciclicamente na ocorrência de desastres, provocando perdas humanas, danos e destruição das infra-estruturas construídas, e não raramente, de desequilíbrios económicos, políticos e ambientais. Considera-se por desastre, o processo socialmente construído, desencadeado por agentes físicos, ou conjugação de agentes, sendo condicionado pelas características sociais, económicas e políticas conferidoras da vulnerabilidade de uma população ou sociedade, e reflectindo o seu grau de preparação, capacidade de resposta e de recuperação. Os fenómenos de desastre evidenciam e expõem vulnerabilidades e o grau de resiliência de um dado sistema a extremos ambientais. Concomitantemente, atestam a capacidade adaptativa e podem funcionar como janelas de oportunidade, para a mitigação do risco sísmico e, consequentemente, reforço da resiliência.

No capítulo II procedeu-se ao enquadramento conceptual de risco, tomando-o como resultado da convolução entre os entre os agentes de perigosidade e os factores vulnerabilidade no domínio do SSE, num contexto em que a resiliência assume uma função primordial de redução do risco. A vulnerabilidade socioecológica incorpora as principais dimensões e factores potencialmente redutores da capacidade para antecipar, lidar, resistir e de recuperar da perigosidade sísmica. Neste sentido, apresentaram-se os factores de vulnerabilidade correntemente associados à população, estrutura socioeconómica,

ambiente construído e exposição ao risco sísmico. Estes factores constituíram-se como uma base fundamental à modelação da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico desenvolvida no âmbito desta pesquisa, a qual será apresentada no capítulo IV.

A resiliência define a capacidade de indivíduos e unidades sociais em resistir, recuperar e se organizarem através de processos adaptativos à perigosidade sísmica, num princípio designado por gestão do risco. A gestão do risco envolve a preparação, a mitigação, a resposta e a recuperação por parte da agência humana, aos potenciais efeitos da actividade sísmica, sendo que no âmbito da investigação circunscreve-se aos princípios de preparação e mitigação, na base dos princípios assentes na governação e gestão do território no concelho de Vila Franca do Campo.

CAPÍTULO III – RISCO SÍSMICO NO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES: O CASO DO CONCELHO DE VILA FRANCA DO CAMPO

3.1. APRESENTAÇÃO

O capítulo III enquadra o risco sísmico no arquipélago dos Açores, e em particular, no concelho de Vila Franca do Campo. Na primeira secção contextualiza-se o risco sísmico na região, com base no enquadramento geotectónico do arquipélago açoriano, sendo uma dimensão explicativa da actividade sismovulcânica na RAA. É igualmente considerado o registo histórico de desastre de origem tectónica, uma vez que a análise do risco e da perigosidade compreende a localização, frequência e a magnitude da actividade sísmica. O registo histórico de desastre é igualmente importante na análise da vulnerabilidade socioecológica e da resiliência, se tomarmos em consideração que a experiência de desastre pode repercutir-se num possível aumento da capacidade adaptativa.

No ponto 3.3 e respectivos subcapítulos procede-se à caracterização do concelho de Vila Franca do Campo. Com base no modelo conceptual de risco apresentado no capítulo II, descrever-se-á algumas das dimensões da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico, nomeadamente, a nível sociodemográfico, socioeconómico e dos edifícios. Nos pontos 3.3.4 e 3.3.5 faz-se a caracterização geotectónica do concelho e a descrição do registo histórico de desastre.

3.2. RISCO SÍSMICO NOS AÇORES: 500 ANOS DE HISTÓRIA

O arquipélago dos Açores é marcado desde o início da colonização, no século XV, pela ocorrência da actividade sísmica, que gerou nos últimos cinco séculos a perda de vida humana e profundos danos estruturais nas ilhas do arquipélago. A localização dos Açores num enquadramento geotectónico complexo, com a confluência de três placas litosféricas (Euroasiática, Norte-americana e Africana), confere-lhe um elevado grau de exposição aos fenómenos de origem tectónica, não sendo de desprezar os perigos naturais de génese hidro-geomorfológica e climática. Nos 500 anos de povoamento das ilhas açorianas, contabilizam-se cerca de 30 sismos com intensidade ≥ VII na Escala Mercalli Modificada (EMM), dos quais se destaca o sismo de 22 de Outubro de 1522 (Nunes, 2008). Nos últimos 30 anos é possível fazer referência aos sismos de 1 de Janeiro de 1980 e de 9 de Julho de 1998, que afectaram sobretudo a ilha Terceira e a ilha do Faial, respectivamente. Estes

eventos provocaram a perda de vidas humanas, um considerável número de desalojados e profundas destruições no parque edificado e infra-estrutural das ilhas afectadas.

3.2.1. Localização Geral do Arquipélago dos Açores

O arquipélago dos Açores localiza-se na região da Macaronésia, entre as latitudes 37°- 40° N e as longitudes 25°- 31° W. O território açoriano é constituído por nove ilhas de génese vulcânica, organizadas em três grupos (Figura 3): Oriental (S. Miguel e Santa Maria), Central (Graciosa, Terceira, Pico, S. Jorge e Faial), e Ocidental (Flores e Corvo).

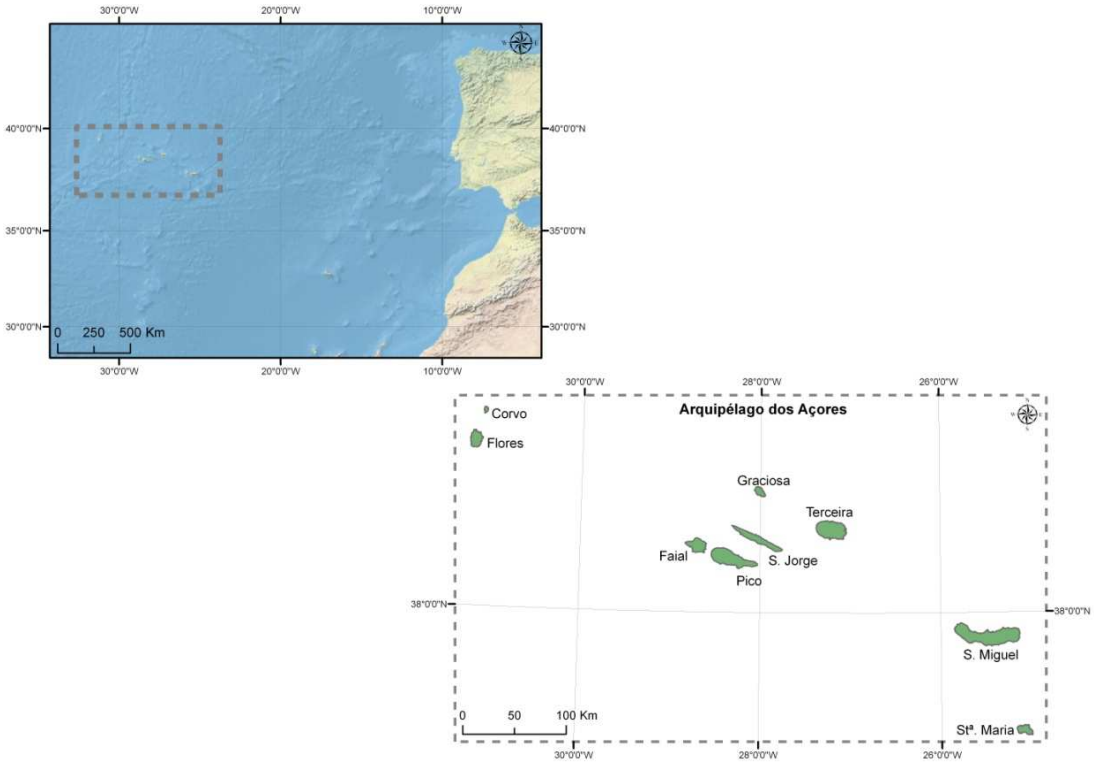

Figura 3 - Enquadramento geral do Arquipélago dos Açores. Fonte: Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP), V2008.1 (IGP, 2008).

3.2.2. Enquadramento Geoestrutural da Região

As ilhas do arquipélago dos Açores prolongam-se ao longo de 500 km, segundo a orientação aproximada de WNE – ESE, emergindo da denominada Plataforma dos Açores, cuja estrutura acidentada é limitada de modo geral pela curva batimétrica dos 2000 metros (Needham & Francheteau, 1974 *in* Gaspar *et al*., 2001). O arquipélago açoriano situa-se na zona de convergência tripla das placas litosféricas Norte Americana, Euroasiática e Africana (Figura 4, imagem do lado esquerdo), situação na base da existência de vários sistemas de fracturas, cuja dinâmica marca a actividade sismovulcânica no arquipélago.

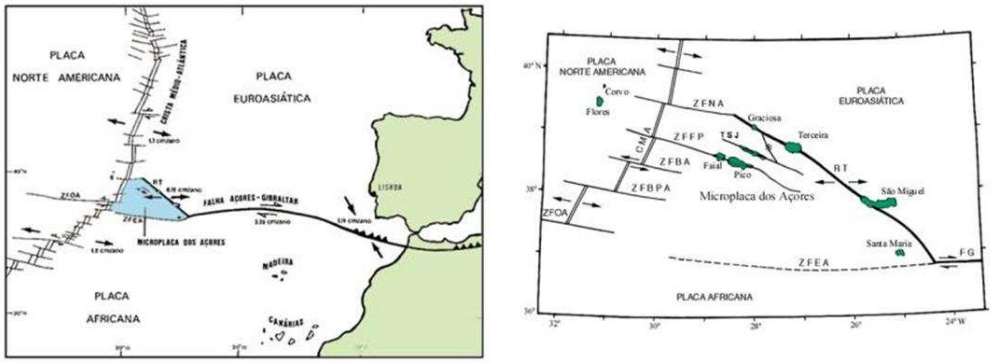

Figura 4 - Enquadramento geotectónico do arquipélago dos Açores (lado esquerdo), e principais sistemas de fracturas tectónicas presentes na região (lado direito). Fonte: Nunes, 1999.

Os principais sistemas tectónicos existentes na região de acordo com Gaspar *et al*., (2001) são a Crista Média Atlântica, a Zona Fractura Este dos Açores, o *Rift* da Terceira e a Falha da Glória (Figura 4, imagem do lado direito). A Crista Média Atlântica é um sistema tectónico caracterizado pela sua estrutura distensiva pura e sismicamente activa (França *et al*., 2003), disposta na direcção N-S a norte do arquipélago dos Açores e inflectindo a SW da região.

Elemento preponderante devido à actividade sísmica e vulcânica que o define, é o segmento de direcção WNW – ESSE, sendo este determinado pela disposição das ilhas dos grupos central e oriental. Gaspar *et al*. (2001), descrevem que nesse domínio inserem-se os segmentos constituídos pelas ilhas Graciosa - Terceira - São Miguel, São Jorge - Faial - Pico, sendo usualmente designado por *Rift* da Terceira, caracterizando-se por um comportamento distensivo e de desligamento.

3.2.3. Registo Histórico de Desastre nos Açores

O enquadramento geoestrutural do arquipélago dos Açores confere-lhe um registo de intensa e continuada actividade sísmica e importante actividade vulcânica, essencialmente ao longo da Crista Médio-Atlântica e do *Rift* da Terceira (Wallenstein, 1999; Gaspar *et al*., 2001; França *et al*., 2003). A actividade sísmica associada aos sistemas de falhas à escala regional e local do arquipélago, caracteriza-se usualmente pela intensa actividade microssísmica[7], contudo, ocorrem sismos de maior magnitude periodicamente, sendo usualmente responsáveis por grandes destruições verificadas no arquipélago (França *et al*., 2003). Na Figura 5 é perceptível a concentração de microssismos ao longo do *Rift* da Terceira, sendo igualmente identificados sismos de maior magnitude, pese embora de menor frequência.

[7] Sismos de magnitude inferior a 3 (França *et al*., 2003).

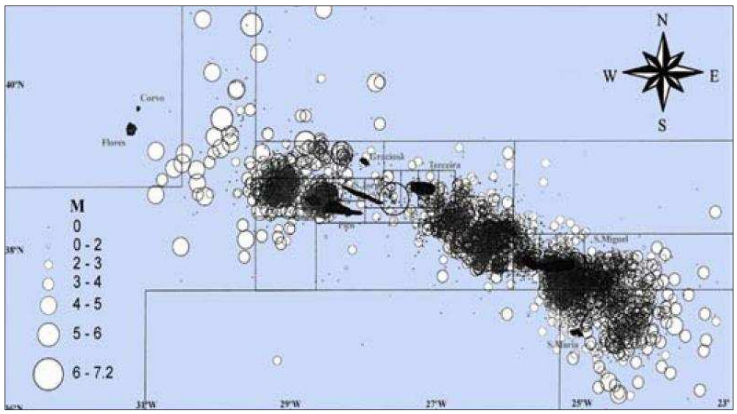

Figura 5 - Mapa de epicentros e representação cartográfica das magnitudes registadas no período entre 1980 e 1998, essencialmente ao longo do *Rift* da Terceira. Fonte: Nunes *et al*., 2004.

A pesquisa documental produzida por autores afectos ao estudo dos fenómenos sismovulcânicos nos Açores permitiu a inventariação de aproximadamente 30 eventos sísmicos de intensidade destrutiva, sobretudo nas ilhas dos grupos Central e Oriental. A localização geográfica das ilhas do grupo ocidental na placa Norte Americana, repercute-se na menor actividade sísmica das ilhas do Corvo e das Flores.

Nos 500 anos de povoamento dos Açores, estima-se que 5345 a 6350 pessoas tenham morrido devido à ocorrência de abalos sísmicos (Nunes, 2008), sendo o sismo de 22 de Outubro de 1522, responsável por 4000 a 5000 mortes. Este sismo foi o mais catastrófico da história dos Açores e afectou sobretudo a ilha de S. Miguel, sendo que os sismos ocorridos em 1614, 1757, 1852, 1926 e 1980, ficaram registados nos compêndios da história de desastre dos Açores, pelo número de mortos, feridos, danos e abalo das estruturas sociais açorianas. O sismo de 1614 afectou principalmente Praia da Vitória na ilha Terceira, sendo classificado de grau IX na EMM. Este sismo de acordo com Nunes *et al*., (2001) provocou a destruição de 1600 fogos (num total de 1800) e 30 templos, perdendo a vida mais de 200 pessoas. A 9 de Julho de 1757 ocorreu o maior abalo sísmico verificado nos Açores, classificado de grau XI na EMM (Nunes, 2008) e com consequências trágicas na ilha de S. Jorge, a mais afectada pelo abalo sísmico. Nesta ilha contabilizaram-se 1034 vítimas mortais, enquanto no Pico morreram 11 pessoas e 1 na ilha Terceira. O sismo de 16 de Abril de 1852 em S. Miguel provocou a perda de 9 a 12 vidas humanas e profundos danos em Santa Bárbara (concelho da Ribeira Grande) e em Ponta Delgada, onde se registou o colapso de muitos edifícios (Nunes, 2008). Já no século XX, o sismo de 31 de Agosto de 1926 na Horta foi responsável por grandes danos nesta ilha, sobretudo nas freguesias de Flamengos e de Praia de Almoxarife. Este sismo provocou 9 mortos, 200 feridos e cerca de 1200 desalojados (Nunes, 2008).

Figura 6 – Danos ocorridos na cidade de Angra de Heroísmo, na ilha Terceira, em resultado do sismo de 1 de Janeiro de 1980. É visível a vulnerabilidade da construção em alvenaria de pedra. Fonte: Bruno e Forjaz (2005).

Na década de 80 do mesmo século, um forte abalo sísmico (VIII a IX na EMM) viria a causar grandes danos no edificado do concelho de Angra de Heroísmo, na ilha Terceira (Figura 6), perecendo à data 50 pessoas e falecendo 11 indivíduos na ilha de S. Jorge (Nunes, 2008).

3.3. RISCO SÍSMICO: O CASO DO CONCELHO DE VILA FRANCA DO CAMPO

O modelo conceptual de risco definido no capítulo II requer a elaboração nesta secção, da caracterização sociodemográfica, socioeconómica e do edificado do concelho de Vila Franca do Campo, permitindo assim, a noção integrada das vulnerabilidades ao risco sísmico. Este procedimento é fundamental para contextualizar os resultados a gerar na aplicação da AMC na modelação da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico. No final deste capítulo é elaborado o enquadramento geotectónico do concelho e a descrição do registo histórico de desastre.

3.3.1. Localização Geral de Vila Franca do Campo

O concelho de Vila Franca do Campo localiza-se na zona central da costa sul micaelense, entre as latitudes 37° 42′ 20′′ e 37° 47′ 11′′N, e as longitudes 25° 20′ 11′′ e 25° 29′ 46′′ W, representando uma superfície territorial de 77,9 km^2. Este concelho faz fronteira com os concelhos da Lagoa (W), Ribeira Grande (NW a NE) e Povoação (E), estabelecendo fronteira natural no limite setentrional com o Oceano Atlântico, numa faixa costeira com aproximadamente 12 km de extensão. Administrativamente, o concelho é constituído pelas freguesias de Água de Alto (18,4km^2), Ponta Garça (29,3km^2), Ribeira das Taínhas (9,5km^2), S. Miguel (12,5km^2), S. Pedro (2,4 km^2) e Ribeira Seca (5,5 km^2) como ilustrado na Figura 7.

Importa salientar que os dados referentes aos Censos 1991 e 2001 consideram somente cinco freguesias no concelho de Vila Franca do Campo, dado que Ribeira Seca foi elevada de localidade a freguesia a 12 de Junho de 2002, pela Assembleia Legislativa Regional da RAA.

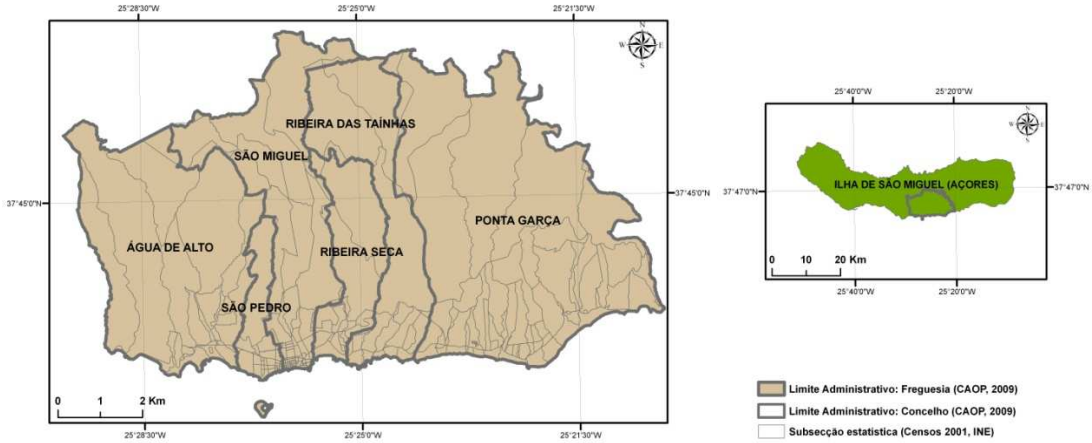

Figura 7 - Limites administrativos e subsecções estatísticas do concelho de Vila Franca do Campo. Fonte: base geográfica: CAOP, V2008.1 (IGP, 2008); BRGI (INE, 2001).

3.3.2. Caracterização Sociodemográfica

No concelho de Vila Franca do Campo residiam 11 150 habitantes à data dos Censos 2001, o que corresponde a uma densidade populacional de 143 hab. /Km^2. No período entre 1991 e 2001 dá-se um aumento residual da população residente, sendo a taxa de variação de população residente (0,9%) inferior à registada na RAA (1,6%) em período homólogo. A freguesia de S. Miguel é a mais populosa do concelho, tendência que não será estranha ao facto de ser sede de município e pólo aglutinador da maioria dos serviços e actividades comerciais. Não obstante, a freguesia de S. Miguel regista perdas de população entre 1991 e 2001 (Figura 8), sendo a dinâmica negativa compensada pelo crescimento populacional de S. Pedro e de Ponta Garça, embora nesta última freguesia com valores residuais. Na distribuição da população residente por género, salienta-se o equilíbrio da distribuição entre população masculina (50,4%) e feminina (49,6%) no concelho, sendo que por freguesia, as variações são igualmente residuais.

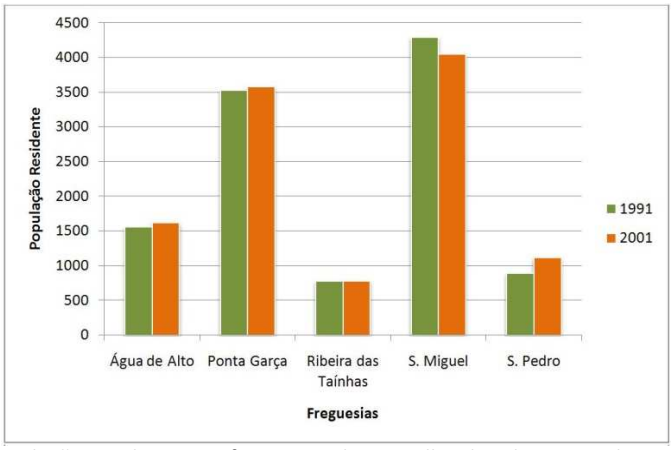

Figura 8 - Total de população residente nas freguesias do concelho de Vila Franca do Campo, em 1991 e 2001. Fonte: Censos 1991 e 2001 (INE).

A análise da estrutura etária do concelho de Vila Franca do Campo (Figura 9) evidência a evolução ocorrida no período entre 1991 e 2001. É notória a redução de população jovem, verificando-se ganhos de população activa (3,1%) e idosa (1,3%), pese embora neste último grupo etário, com valores mais modestos do que a população activa. Deste modo, verifica-se que estes valores estão em consonância com o índice de dependência total do concelho, que diminuiu 8,2% entre 1991 (65,4%) e 2001 (57,2%).

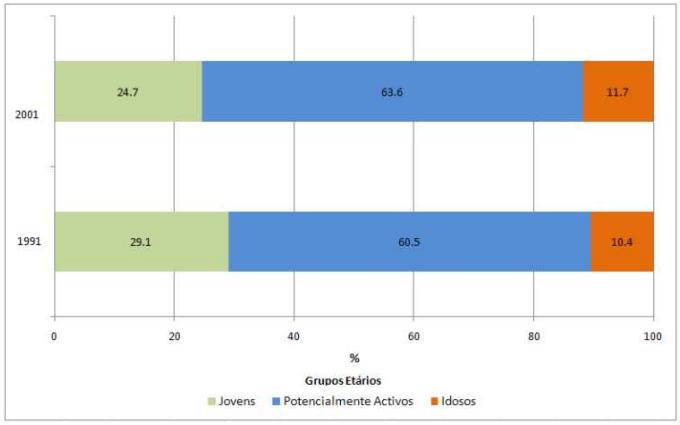

Figura 9 - Estrutura etária da população residente no concelho de Vila Franca do Campo, em 1991 e 2001. Fonte: Censos 1991 e 2001 (INE).

No arquipélago dos Açores a família é considerada um bastião social, pois de acordo com Henriques (2007), a dimensão média das famílias açorianas em 2001 (3,3 pessoas por família) era superior à de Portugal (2,7 pessoas por família). No concelho de Vila Franca do Campo, verifica-se no mesmo período um ténue crescimento das famílias com menos de 3 pessoas (taxa de variação de 6,8%), embora inferior ao sucedido na RAA (12,8%).

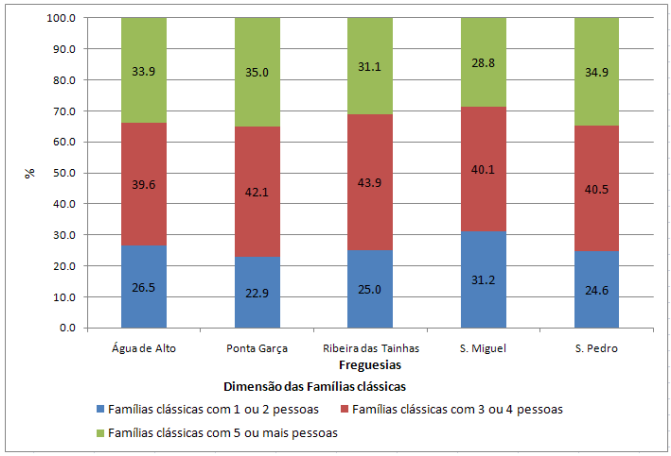

Figura 10 - Dimensão das famílias clássicas nas freguesias do concelho de Vila Franca do Campo. Fonte: Censos 2001, INE.

Por freguesia, e como é constatável na Figura 10, é evidente a elevada proporção de famílias clássicas com 3 ou 4 pessoas e com 5 ou mais pessoas, sobretudo nas freguesias de Água de Alto, Ponta Garça, Ribeira das Taínhas e S. Pedro. É importante considerar que à

excepção de S. Miguel, que evidencia grande equilíbrio entre a proporção de famílias clássicas com 1 e 2 pessoas e com 5 ou mais pessoas, as restantes freguesias possuem maior proporção de famílias clássicas com 5 ou mais pessoas, do que com 1 ou 2 pessoas. As freguesias de S. Pedro, Ponta Garça e Água de Alto destacam-se das restantes, por apresentarem mais de 30% de famílias clássicas com dimensão de 5 ou mais pessoas.

3.3.3. Caracterização Socioeconómica

No concelho de Vila Franca do Campo, à data do último Recenseamento Censitário, 19,3% da população activa desempenhava actividade no sector primário e laboravam nos sectores secundários e terciários, 38,9% e 41,9% da população activa, respectivamente. Em relação a 1991, verifica-se uma variação de – 38,6% de população activa no sector primário, de 18,7% no sector secundário e 33,2% no terciário. Relativamente às freguesias do concelho vilafranquense em 2001, subsistia o predomínio dos sectores secundários e terciários, pese embora nas freguesias de Água de Alto, Ponta Garça e Ribeira das Taínhas, o sector primário desempenha-se um papel relevante, com 23,6%, 24,6%, e 27% da população empregada neste sector, respectivamente. Contudo, são duas das três freguesias anteriores, a apresentar maior variação negativa no sector primário da actividade entre 1991 e 2001, nomeadamente Ponta Garça (-43,2%) e Ribeira das Taínhas (-31,5%), pese embora a nota dominante da interpretação do gráfico da Figura 11, seja a variação positiva apurada em todas as freguesias do concelho no sector terciário.

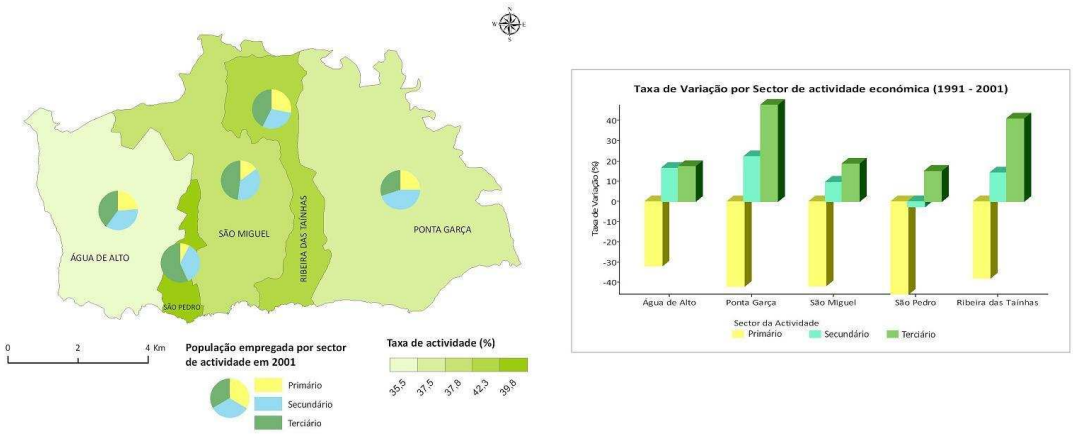

Figura 11 - Indicadores socioeconómicos por freguesia, no concelho de Vila Franca do Campo. População empregada por sector da actividade em 2001, taxa de actividade em 2001, e taxa de variação por sector de actividade económica entre 1991 e 2001. Fonte: Censos 1991 e 2001 (INE).

A taxa de actividade no concelho de Vila Franca do Campo em 2001 era de 35%, ou seja, inferior à apurada na RAA (42%). Ao nível das freguesias, são as localizadas na periferia do

concelho a possuir as taxas de actividade mais reduzidas, enquanto as taxas de actividade mais elevadas registam-se em S. Miguel e S. Pedro, salientando-se esta última com 42,3%.

O concelho de Vila Franca do Campo registava uma taxa de desemprego de 11,3% à data dos Censos 2001, sendo que a freguesia de Água de Alto detinha o valor mais elevado de população desempregada no concelho (6,6%). O facto da taxa de desemprego na freguesia de S. Miguel (10,7%) ser inferior à taxa de desemprego do concelho de Vila Franca do Campo é indiciador das oportunidades geradas na freguesia, devido ao papel nevrálgico do sector terciário no tecido económico do município.

A taxa de analfabetismo no concelho de Vila Franca do Campo em 2001 era de 15,61%, valor elevado comparativamente à RAA (9,4%). Por freguesia, a taxa mais elevada pertence a Ponta Garça (18,6%), verificando-se valores similares em Ribeira das Taínhas (15,8%), S. Miguel (15,0%) e Água de Alto (14,7%), enquanto a freguesia de S. Pedro possuía a taxa de analfabetismo mais reduzida do concelho (9,2%).

Em 2001, do total de população residente no concelho, 20,7% possuía a escolaridade mínima obrigatória, valor significativamente inferior ao registado na RAA (30,3%). Por freguesia, Ponta Garça volta a evidenciar-se pela negativa, com apenas 13,5% da população residente com a escolaridade mínima obrigatória, enquanto S. Pedro obtêm o melhor registo do concelho, com 27,1% da população residente com a escolaridade mínima obrigatória. Quanto à proporção de indivíduos com ensino superior completo, o concelho apresenta um valor muito modesto (2,92%) quando em comparação com a RAA (6,1%). A análise por freguesia confirma os padrões verificados nos outros indicadores relativos ao grau de instrução, ou seja, Ponta Garça detêm o valor mais baixo (0,7%), enquanto Água de Alto e Ribeira das Taínhas possuem valores próximos, 2,0% e 2,1%, respectivamente. A freguesia de S. Pedro regista 3,7% da população residente com ensino superior completo, apenas superada por S. Miguel (5,13%). A freguesia de S. Pedro que apresentava proporções positivas relativamente ao grau de instrução dos indivíduos por concelho, perde para S. Miguel neste índice, freguesia que possui uma taxa de analfabetismo elevada.

3.3.4. Caracterização do Edificado

Na caracterização de um território exposto ao risco sísmico, assume-se por vital importância, a análise dos indicadores relacionados com o edificado, designadamente, a época e o tipo de estrutura de construção, bem como, o número de pavimentos dos

edifícios. No período entre 1991, a taxa de variação dos edifícios no concelho cifrou-se em 11,6%, valor acima do registado na RAA (8,15%). Na Figura 12, observa-se que as freguesias de Água de Alto, S. Miguel e Ponta Garça concentram a maioria do edificado existente no concelho em 2001 (82% dos edifícios). Entre 1991 e 2001 na freguesia de S. Pedro, verificou-se uma variação acentuada no total de edifícios (46%). As freguesias de Água de Alto (12,6%) e Ponta Garça (11,4%) apresentam uma taxa de variação similar, enquanto a freguesia de Ribeira das Taínhas possuiu uma variação residual (0,6%) entre 1991 e 2001.

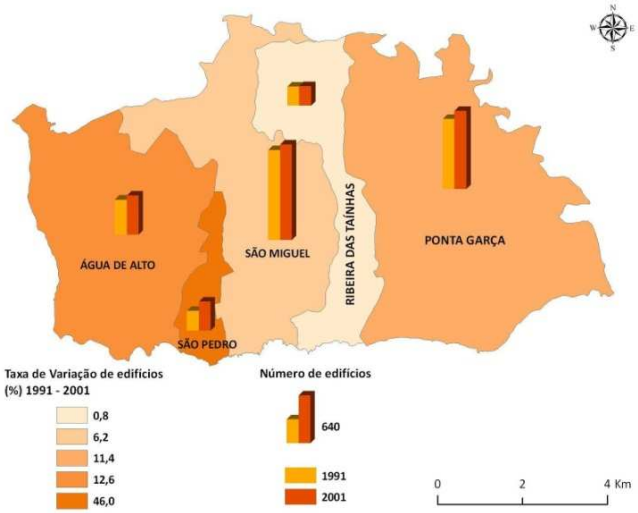

Figura 12 - Número de edifícios e taxa de variação dos edifícios, nas freguesias de Vila Franca do Campo entre 1991 e 2001. Fonte: Censos 1991 e 2001, INE.

No concelho de Vila Franca do Campo estavam inventariados 3488 edifícios segundo os Censos 2001, sendo 10% dos edifícios construídos antes de 1919, ou seja, actualmente com 89 anos ou mais. Na análise por época de construção, constata-se que 25% do edificado foi construído no período anterior a 1919 até 1945, sendo que entre 1946 e 1985 construiu-se 49% do edificado. Mais recentemente, entre 1986 e 2001, foi construído o equivalente a 26% do parque edificado do concelho. Da análise dos dados relativos à época de construção, conclui-se que 60% do edificado construído no concelho tem actualmente mais de 40 anos.

Relativamente à época de construção por freguesia, mantêm-se as tendências verificadas ao nível do concelho. A freguesia de Ponta Garça concentra um elevado número de edifícios construídos antes de 1919, sendo inclusivamente a época predominante de construção, e de modo geral, o grosso do edificado foi construído no período anterior a 1919 até 1960. No caso de Ribeira das Taínhas, o período entre 1919 e 1945 foi marcante no aumento do número de edifícios na freguesia, sendo que nesse espaço temporal foi construído o equivalente ao total do edificado existente na freguesia no ano de 2001.

No caso das freguesias de S. Miguel e S. Pedro, verifica-se um grande equilíbrio na distribuição do edificado por época de construção, pese embora o período antes de 1919 até 1945, não apresente um rácio tão elevado de edifícios como nas restantes freguesias do concelho. Em S. Miguel e S. Pedro verifica-se uma maior concentração de edificado recente, essencialmente após 1981, sendo que no caso de S. Miguel, é de destacar o período entre 1981 e 1985, e em S. Pedro, o período entre 1996 e 2001, o que já havia sido evidenciado pela taxa de variação registada na freguesia entre 1991 e 2001.

No concelho de Vila Franca do Campo em 2001, 42,7% dos edifícios são de estrutura em betão armado, sendo este valor similar à percentagem de edifícios construídos com paredes de alvenaria/argamassa sem placa (42,1%), enquanto as estruturas de paredes de alvenaria/argamassa com placa correspondiam a 9,9% e, por fim, as paredes de adobe, taipa, ou alvenaria de pedra solta equivaliam a 5,2% dos edifícios do concelho. Por freguesia (Figura 13), é igualmente notória a tendência para a utilização do betão armado e das paredes de alvenaria argamassada sem placa. Existem naturais diferenças na proporção dos materiais utilizados na construção do edificado por freguesia, associado às tendências da época de construção dos edifícios.

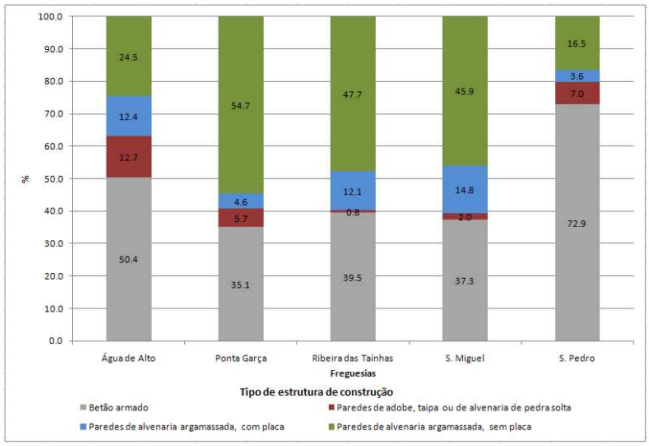

Figura 13 - Proporção de edifícios por tipologia de materiais de construção, por freguesia, no concelho de Vila Franca do Campo, segundo os Censos 2001. Fonte: INE.

No caso de S. Pedro, e em consequência do aumento do número de edifícios sucedido entre 1991 e 2001, predominam as estruturas de construção suportadas em betão armado (superior a 60%), sendo a freguesia que possui maior proporção de edifícios construídos com esta tipologia de material. Em Água de Alto e Ponta Garça denota-se uma proporção considerável de edifícios construídos com paredes em adobe, taipa ou alvenaria de pedra solta, o que se correlaciona com o elevado número de edifícios construídos no período anterior a 1919 até 1945.

No concelho de Vila Franca do Campo, 79,4% dos edifícios possuem dois pavimentos segundo os Censos 2001, enquanto 13,4% dos edifícios tinham um único pavimento, e 7,1% dos edifícios três pavimentos, sendo que por freguesia, a tendência geral é similar.

3.3.5. Enquadramento Geotectónico

Na ilha de S. Miguel as estruturas tectónicas mais importantes apresentam uma orientação geral NW - SE (França *et al*., 2003), que corresponde à orientação do *Rift* da Terceira, sendo de mencionar os sistemas de fracturas de orientação NNW - SSE e os que derivam da dinâmica dos aparelhos vulcânicos da ilha (França *et al*., 2003). Citando França *et al*. (2003), "algumas das estruturas activas da ilha, com orientação NW – SE, patenteiam uma componente de deslocamento direito concomitante com uma componente distensiva", nos quais incluem-se vários sistemas, nomeadamente, o *graben* dos Mosteiros, os *grabens* da Ribeira Grande e de Vila Franca do Campo e ainda o sistema de fracturas do Congro.

O enquadramento geotectónico regional e as estruturas tectónicas na escala local (*Graben* de Vila Franca do Campo e a Zona Fractura do Congro - Fogo) condicionam a exposição de Vila Franca do Campo ao perigo sísmico. De acordo com Wallenstein *et al*. (1999), o concelho situa-se numa área sismogénica marcada pela presença de estruturas tectónicas à escala regional, de direcção NW-SE, NE-SW, WNW-ESSE e E-W, e ainda pela presença dos sistemas vulcânicos do Fogo, Achada das Furnas e das Furnas. Segundo Medeiros (2004), as crises sísmicas inseridas na Zona Fractura do Congro - Fogo tem afectado Vila Franca do Campo a S e a Ribeira Grande a N nas últimas duas décadas, mas segundo Wallenstein (1999), a actividade sísmica em torno daquela estrutura tectónica é caracterizada por uma actividade microssísmica quase contínua, com a intercalação de enxames sísmicos. Pese embora a frequência elevada da actividade sísmica na área, esta é caracterizada por sismos de baixa intensidade, com a excepção de alguns eventos com intensidades superiores a V-VI na EMM (Nunes e Oliveira, 1997 *in* Wallenstein, 1999).

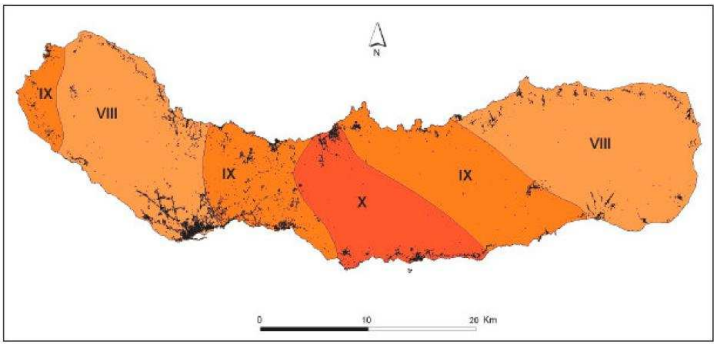

Figura 14 - Carta de intensidades máximas históricas para a ilha de S. Miguel. Fonte: Silveira (2002).

No estudo de caracterização da sismicidade histórica da ilha de S. Miguel com base em dados de macrossísmica, Silveira (2002) elaborou a cartografia de intensidades máximas históricas para a ilha de S. Miguel, no qual Vila Franca do Campo está inserida na área delimitada pela issossista máxima de grau X na Escala Microssísmica Europeia de 1998, o que corresponde ao valor mais elevado registado na ilha (Figura 14).

3.3.6. Registo Histórico de Desastre

Em Vila Franca do Campo, os registos e relatos históricos herdados até ao presente, demarcam vários eventos sísmicos de consequências danosas para as populações locais. Destaca-se o evento mais catastrófico ocorrido nos Açores, o sismo de 22 de Outubro de 1522, brilhantemente adjectivado por Frutuoso (1522 – 1591) como a "Subversão de Vila Franca do Campo". Além da catástrofe de 1522, ocorreram outros eventos sísmicos com repercussões danosas em Vila Franca do Campo, nomeadamente as crises sísmicas de 1591, 1852, 1932, 1935, e 1952 (Silveira, 2002; Nunes *et al*., 2004; Medeiros, 2006).

O sismo de 22 de Outubro de 1522 foi o mais catastrófico na história dos Açores segundo os relatos de Frutuoso (1522-1591) *in* Silveira (2002), "…Dizem que morreriam em Vila Franca cinco mil almas debaixo da terra, o que não parece ser, nem haver então na vila tanta gente, pelo que dizem outros que entra neste numero toda a mais gente que morreu em outras partes da ilha." A energia libertada pelo sismo, desencadeou um movimento de vertente, cujo grau de destruição fica explícito na descrição de Frutuoso, (1522 – 1591, Saudades da Minha Terra, Livro IV, 280, 2005), "… Em uma só triste noite foram acabadas muitas vidas e ficou tudo tão coberto… ficando tudo raso e chão, sem sinal nem mostra onde vila estivesse, porque com o tremor caíram os mais dos edificios primeiro e a casaria, que acolheu a mais da gente debaixo, depois, sobrevindo a terra correndo, arrasou tudo…".

No ano de 1591, a ilha de S. Miguel viria a sofrer um novo abalo sísmico de grande intensidade, verificando-se destruições em Vila Franca do Campo e em Água de Pau, sendo que de acordo com Canto (1880) *in* Silveira (2002) "…Houveram tremores de terra que chamaram de Sant´Anna por serem em seu dia [26 de Julho], tantos e tão grandes que derrubaram muitos edeficios especialmente em Villa Franca e Agua de Pau…".

A 16 de Abril de 1852, a ilha de S. Miguel foi abalada por um violento sismo, sendo que em Vila Franca do Campo foram registados danos, "…pequenos estragos em algumas casas e edifícios…" (Correio Micaelense, nº 297) *in* Silveira (2002).

Na década de 30 do século XX, ocorreram dois sismos com potencial destruidor em S. Miguel, a 5 de Agosto de 1932 e a 27 de Abril de 1935. No sismo de 1932 registaram-se danos na localidade de Ponta Garça, nomeadamente na igreja paroquial e em algumas habitações, sendo que em Vila Franca do Campo existe o registo de quedas de muros e aberturas de fendas em habitações, enquanto em Água de Pau abriram-se fendas em muitas casas (Silveira, 2002). O sismo de 1935 foi sentido em Vila Franca do Campo com maior intensidade relativamente ao de 1932 (Diário dos Açores, nº 12.835 *in* Silveira, 2002), sendo os prejuízos resultantes nas localidades do concelho mais avultados. Em Ponta Garça além da queda de algumas "empenas" e chaminés, abriram-se fendas em inúmeras casas e cederam alguns muros, e na vila identificaram-se fendas de grande largura na generalidade das casas, sendo que algumas ficaram inclusivamente com "fachadas e empenas bem aluídas" (Correio dos Açores nº 4340 e Diário dos Açores, nºs, 12.835, *in* Silveira, 2002).

O sismo de 1952 gerou o pânico na população de Vila Franca do Campo, que viria a passar as noites nos largos e jardins da vila (Diário dos Açores, nº 22.057 *in* Silveira, 2002). Os danos decorrentes do sismo de 1952 foram apenas materiais, mas elevados por todo o concelho. A freguesia de Ponta Garça registou os danos materiais mais elevados, sendo o edificado bastante danificado "…135 casas inabitáveis, 68 com grandes fendas e 128 com pequenas fendas, o que perfaz o número de 331 casas danificadas!" (Açores, nº 2188 *in* Silveira, 2002). Em Vila Franca do Campo registaram-se danos na maioria dos edifícios de acordo com as fontes da época "…abalo de terra… afectou quase toda a gente, pois foi raríssima a casa que não ficou danificada, algumas de tal forma que demandam grandes despesas na sua reconstruções…", sendo que os danos foram mais profundos nas casas das gentes com parcos recursos "… importantes prejuízos materiais… em muitas residências, na sua grande maioria, de gente pobre" (Diário dos Açores, nº 22.109; Correio dos Açores, nº 9.369 *in* Silveira, 2002). Por fim, na localidade de Água de Alto, verificaram-se danos em quase todas as casas, algumas das quais totalmente arrasadas (Silveira, 2002).

3.4. SÍNTESE

O capítulo III visou a contextualização do risco sísmico no arquipélago dos Açores, dado que a região possui um enquadramento geotectónico complexo, traduzido num registo histórico de desastre desde o século XV, e igualmente, a caracterização do concelho de Vila Franca do Campo, em dimensões fundamentais para a contextualização e identificação dos traços de vulnerabilidade socioecológica do concelho.

A localização do arquipélago dos Açores na região de confluência das placas tectónicas Norte Americana, Euroasiática e Africana e a presença de estruturas tectónicas activas à escala local, é conferidor de intensa e continuada actividade sísmica nas ilhas dos grupos Central e Oriental. A maior frequência da actividade microssísmica no arquipélago é intercalada por abalos sísmicos de grande intensidade, alguns dos eventos associados à perda de 5345 a 6350 vidas humanas desde o início do povoamento, e danos estruturais cíclicos no parque edificado e infra-estrutural das ilhas açorianas (Nunes, 2008).

À semelhança do que sucede à escala regional, a exposição do concelho de Vila Franca do Campo ao perigo sísmico é elevada, devido às estruturas tectónicas à escala regional e local. Em 500 anos de povoamento, Vila Franca do Campo testemunhou 4000 a 5000 vítimas mortais, em consequência do sismo de 22 de Outubro de 1522, e amplas destruições nas estruturas edificadas, em eventos episódicos ao longo de cinco séculos.

A caracterização sociodemográfica permitiu identificar alguns sinais de vulnerabilidade ao risco sísmico no concelho, nomeadamente, devido ao aumento da população idosa entre 1991 e 2001, e elevada proporção de população jovem, dois grupos etários vulneráveis ao perigo sísmico. O concelho caracteriza-se ainda pela existência de uma proporção considerável de famílias com mais de 3 indivíduos, o que se poderá constituir-se enquanto factor de vulnerabilidade em situação de desastre e na fase de recuperação pós-desastre.

Na dimensão socioeconómica, sobressai a dependência do sector primário em Água de Alto, Ribeira das Taínhas e Ponta Garça, sendo que nestas freguesias verificam-se os níveis de instrução mais reduzidos da população residente no concelho. Este é um elemento preponderante de vulnerabilidade, uma vez que o grau de ensino pode influenciar as oportunidades de melhoria da relação com o mercado de trabalho, aliado ao facto de que uma população pouco instruída poderá enfrentar no acesso à informação antes, durante e após a ocorrência de um desastre.

O município vilafranquense evidencia traços de vulnerabilidade ao nível do edificado, dado que 60% dos edifícios construídos, possuem mais de 40 anos o que associado à correlação da época de construção com as estruturas de construção de fraca resistência à actividade sísmica contextualiza um cenário de grande vulnerabilidade dos edifícios. Assim, à excepção da freguesia de S. Pedro, 30% a 50% dos edifícios das restantes freguesias, foram construídos com estruturas em paredes de alvenaria argamassada sem placa e com placa, e paredes de adobe, taipa, ou alvenaria de pedra solta.

CAPÍTULO IV – MODELAÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA AO RISCO SÍSMICO COM RECURSO À ANÁLISE MULTICRITÉRIO

4.1. APRESENTAÇÃO

O capítulo IV introduz e caracteriza a AMC, descrevendo os procedimentos aplicados durante a sua implementação em ambiente SIG, de modo a conceber um modelo estático que espacialize a vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico no concelho de Vila Franca do Campo.

A secção 4.2 apresenta os fundamentos teóricos da AMC, nomeadamente os conceitos de assimilação substancial e as fases que suportam o desenvolvimento deste método. Nos pontos 4.2.1 e 4.2.2 é caracterizada sumariamente as duas técnicas a implementar na operacionalização da AMC, o Processo Hierárquico Analítico e a Média Ponderada Ordenada. Na secção 4.3 descrevem-se as etapas desenvolvidas durante a operacionalização da AMC numa plataforma SIG, especificamente, a estruturação hierárquica do modelo de vulnerabilidade, os processos de geoprocessamento e as funções de normalização, a avaliação do peso dos critérios e, por fim, as regras de decisão.

4.2. ANÁLISE MULTICRITÉRIO: ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

A AMC é um método desenvolvido por Voogd (1983) que é constituído por técnicas que visam o apoio à tomada de decisão com base em múltiplos critérios. Os processos de tomada de decisão baseiam-se em assumpções teóricas de considerável grau de incerteza e subjectividade, existindo a natural dificuldade em seleccionar os critérios necessários à representação do fenómeno, e em estabelecer a relação entre os critérios (Eakin e Bojórquez-Tapia, 2008). Neste quadro contextual, a AMC proporciona um método transparente que fundamenta e dinamiza os modelos de tomada de decisão. De seguida, proceder-se-á à definição dos conceitos básicos da AMC (*decisão*; *objectivo*; *atributo*; *critério*; *factores*; *exclusão;*) e dos procedimentos e etapas que fundamentam a sua prossecução (definição do problema, estruturação hierárquica, avaliação do pesos dos critérios, regras de decisão, análise de sensibilidade).

A *decisão* é um processo apoiado na selecção entre alternativas, o que poderá corresponder a uma localização, a diferentes planos ou hipóteses (Ramos e Mendes, 2001),

ou à classificação/quantificação. Os *critérios* são meios de julgamento, ou regras que testam o grau de ajustamento das diferentes alternativas ao processo de decisão (Hwang e Yoon, 1981 *in* Malczewski, 1999), estruturando-se em termos genéricos em *objectivos* e *atributos*.

Segundo Malczewski (1999), os *objectivos* descrevem o estado de condição de um sistema, relacionando-se, e/ou derivando dos *atributos*, e indicando quais os *objectivos* ideais no processo de decisão. A maximização do espectro do *objectivo* dá-se com a definição de um conjunto amplo de *atributos*, dado que estes caracterizam as propriedades dos elementos e processos do mundo real, sendo mensuráveis qualitativamente e quantitativamente (Malczewski, 1999). Os atributos são classificados em dois grupos: os *factores* e as *restrições*/*exclusões* (Ramos e Mendes, 2001). Os *factores* são os atributos das alternativas de decisão que são aplicados na avaliação de desempenho de cada alternativa, e traduzem a variação da aptidão de um dado *objectivo* no modelo (Malczewski, 1999; Ramos e Mendes, 2001; Rashed e Weeks, 2003). As *restrições* são *factores exclusionários* das alternativas em ponderação. Na localização de um hospital numa região sismicamente vulnerável, as parcelas de território a determinada distância das falhas geológicas, poderiam ser excluídas do processo de tomada de decisão.

A AMC é um processo metodológico constituído por cinco fases, que se inicia com a definição do problema. Na primeira fase o decisor define e reconhece as dimensões do modelo de análise, e reflecte sobre as diferenças entre o estado desejado e o estado actual do sistema, de modo a considera-lo nas condições prévias do processo de decisão (Malczewski, 1999). No nível subsequente é esquematizada a estrutura hierárquica dos *critérios* de avaliação do problema de decisão, ou seja, é a fase no qual são definidos os *objectivos* e os *atributos* (*factores*/*restrições*) que o estruturam.

A terceira fase é de estimação do peso dos *critérios* de decisão, de modo a quantificar a importância relativa dos *critérios* constituintes da estrutura hierárquica do modelo. O peso atribuído a *objectivos* e *atributos* é substanciado num princípio comparativo da importância relativa entre estes elementos, e é uma fase preponderante do processo de decisão, dado que a sobrevalorização ou subvalorização dos *critérios* poderá repercutir-se na consistência do modelo de tomada de decisão (Ramos e Mendes, 2001). No âmbito da modelação da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico, opta-se por utilizar o método desenvolvido por Saaty (1980), o AHP, cujo enquadramento metodológico fazer-se-á no capítulo 4.2.1.

A regra de decisão é a quarta fase de implementação da AMC, e de acordo com Starr e Zeleny (1977) *in* Malczewski (1999), este procedimento permite a ordenação das alternativas de *decisão*. As regras de decisão agregam os *critérios* ordenando as alternativas, ou decidindo qual das alternativas é preferível, por comparação com o conjunto de possibilidades. No capítulo 4.2.2 apresenta-se o método de combinação empregue para combinação dos *critérios* de avaliação da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico, o método OWA.

A última fase é de implementação da análise de sensibilidade, cuja orientação é em prol de dois objectivos. O primeiro determina se as acções desenvolvidas durante o processo foram perturbadas por variações ocorridas nos inputs de entrada do modelo, e num segundo plano, como processo exploratório que permite ao utilizador assimilar a profundidade da estrutura do problema de decisão (Malczewski, 1999). O processo tem a sua conclusão com a descrição das recomendações em função dos resultados gerados na AMC.

4.2.1. Processo Hierárquico Analítico (AHP)

O AHP é o método utilizado com maior frequência na estimação do peso dos *critérios* de avaliação (Malczewski, 1999; Rashed e Weeks, 2003; Eakin e Bojórquez-Tapia, 2008), pela simplicidade do método e devido à sua incorporação em módulos computacionais. O método consiste na concepção de uma matriz de comparação entre *critérios*, de acordo com a importância relativa entre os pares de *factores* em estimação (Valente e Vettorazzi, 2005). O cálculo do peso dos *critérios* é concretizado através da hierarquização par a par de *critérios*, com recurso a uma escala quantitativa contínua de 9 pontos (Costa *et al*., 2005), em duas amplitudes diametralmente opostas, ou seja, uma amplitude de menor importância e outra de maior importância (Figura 15).

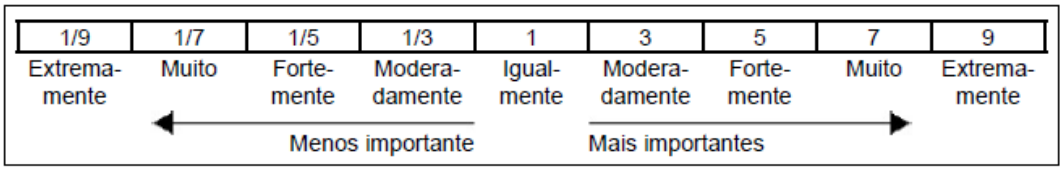

Figura 15 - Escala quantitativa para derivação do peso dos *critérios* de avaliação com base na matriz de comparação. Fonte: Eastman (2001) *in* Valente e Vettorazzi (2005).

Para salvaguardar que a estimação do peso entre os pares de *critérios* não é definida aleatoriamente, o AHP tem incorporado o cálculo do Índice de Consistência. Segundo Malczewski (1999), um bom nível de consistência é inferior a 0.10, enquanto os valores ≥ 0.10, deverão traduzir-se na reorganização da matriz de comparação de *critérios*.

4.2.2. Média Ponderada Ordenada (OWA)

O OWA é um método de parametrização desenvolvido por Yager (1988), que agrega os *critérios* durante a fase em que se aplicam as regras de decisão na AMC. Este método distingue-se da Combinação Linear Ponderada (WLC[8]) por não agregar os *factores* unicamente no cálculo da média ponderada, incluindo também um conjunto de pesos autónomos dos *critérios*, denominados de pesos de ordenação (Valente e Vettorazzi, 2005).

Os pesos de ordenação controlam a ordem de entrada dos *critérios* no processo de agregação, definindo desse modo, o nível de *trade-off* (compensação) entre *critérios* e o grau de risco aceite no espaço estratégico de decisão (Malczewski, 1999). Após o cálculo do peso dos *critérios* no OWA, estes são ordenados do peso de estimação mais reduzido para o mais elevado. O *critério* de valor mais baixo é o primeiro peso de ordenação, seguido do segundo *critério* de valor mais baixo, e assim progressivamente até ao último *critério* (Vettorazzi, 2006).

De acordo com Eastman *et al*. (1998) *in* Ramos e Mendes (2001), num hipotético processo de decisão com três *critérios*, no qual os pesos de ordenação são 1,0,0, todo o peso será atribuído ao *critério* de valor mais baixo, gerando uma opção de risco mínimo (ou conservadora). No caso de ordenação do peso dos *critérios* em 0,0,1, o maior peso é atribuído ao *critério* de valor mais elevado, o que dará origem a uma situação de risco máximo (ou optimista). Quando os valores são distribuídos equitativamente pelos pesos de ordenação (0.33, 0.33, 0.33), o peso é considerado de igual modo pelos *critérios*, gerando uma situação de risco intermédio, à semelhança do método WLC. Segundo Ramos e Mendes (2001), os dois exemplos iniciais primam pela ausência de *trade-off*, dado que apenas os pesos extremos são considerados. No último caso, a atribuição do mesmo peso de ordenação gera a compensação entre *critérios*, promovendo o *trade-off* total.

A OWA é um método efectivo que permite o utilizador decidir o grau de risco no processo de agregação dos *critérios*, possuindo a flexibilidade de modificar os parâmetros de entrada (ordenação) dos *critérios*, e de assim reflectir o seu grau de optimismo em relação a estes (Malczewski, 2006). Neste caso exemplificaram-se três variantes possíveis do OWA, mas o utilizador pode alterar a ordem de entrada dos *critérios* de modo a gerar diversos níveis de *trade-off* e de risco, mas apenas se a soma da agregação for igual à unidade (Ramos e Mendes, 2001).

---

[8] O termo anglo-saxónico é *Weighted Linear Combination* (WLC).

4.3. MODELAÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA AO RISCO SÍSMICO

Um modelo é a representação abstracta de um objecto, sistema ou processo, que permite aumentar o conhecimento da realidade através da experimentação (Clarke, 2003). A modelação da vulnerabilidade é de acordo com Eakin e Bojórquez-Tapia (2008), um processo complexo dado que a vulnerabilidade é um conceito multidimensional e de elevada incerteza na sua mensuração.

Na quantificação da vulnerabilidade associada às condições de vida dos agricultores de áreas rurais pobres, no município de González, estado de Tamaulipas (México), Eakin e Bojórquez-Tapia (2008) implementaram a AMC, dado que este método permite estruturar os *atributos* e *factores* de vulnerabilidade, definir a importância e o peso dos *critérios* em respeito às características de vulnerabilidade da região, e de traçar diferentes cenários de vulnerabilidade através da combinação entre os múltiplos *critérios*. Deste modo, evita-se a hierarquização, estimação de ponderações e a combinação dos *critérios* de avaliação, partindo de princípio que estes possuem o mesmo contributo na modelação da vulnerabilidade, quando os processos do mundo real são complexos e não lineares.

A introdução de métodos e técnicas da AMC em ambiente SIG decorre das vantagens proporcionadas pela junção de ambas as ferramentas. O SIG associa técnicas que analisam os problemas arrolados aos processos de tomada de decisão, e permite a automatização, a gestão e a análise de múltiplas camadas de informação geográfica (Malczewski, 1999) com vista à quantificação da vulnerabilidade. A AMC incorpora as técnicas e os procedimentos que permitem estruturar os fenómenos em avaliação, e incorpora-lo num SIG (Malczewski, 1999).

A AMC admite a introdução das lógicas difusas ou de incerteza (*fuzzy* na língua inglesa) na classificação da vulnerabilidade. As lógicas difusas consideram e incluem a incerteza e a imprecisão como componentes intrínsecas dos modelos de vulnerabilidade, assumindo-se como o princípio ideal e de maior consistência para lidar com a incerteza arrolada à vulnerabilidade (Rashed e Weeks, 2003).

A título de exemplo, na vulnerabilidade ao risco sísmico, a maior proporção de edifícios com estrutura de construção em alvenaria de pedra, adobe e taipa comporta maior vulnerabilidade, mas de que forma é que este factor (isolado) traduz a vulnerabilidade geral

ao risco sísmico? Como é que se relaciona com os outros factores de vulnerabilidade? Poderá associar-se a uma escala de vulnerabilidade por categoria (reduzida, moderada, elevada)? As lógicas difusas permitem ao decisor estruturar, estimar e combinar os factores de vulnerabilidade, construir escalas de vulnerabilidade contínuas, mas constituído no pressuposto que independentemente do nível de estruturação, estimação e combinação dos *critérios*, a incerteza estará sempre presente na análise da vulnerabilidade. Deste modo o coeficiente de vulnerabilidade não é baseado em certezas absolutas, admitindo as conclusões e as recomendações derivadas do procedimento metodológico seguido.

A par das vantagens metodológicas e analíticas que comporta, a AMC aplicada à análise de vulnerabilidades (e modelada em ambiente SIG), constitui-se como uma ferramenta útil de apoio à tomada de decisão em processos de planeamento territorial, que pretendam incorporar medidas de mitigação do risco sísmico, bem como, de preparação para a emergência (gestão da emergência) onde se afigura essencial a identificação sistemática das populações e das manchas territoriais que, pelas suas especificidades, apresentarão maiores vulnerabilidades e, consequentemente, requererão de atenção prioritária quer em termos de resposta imediata, logo após a ocorrência do sismo, quer no suporte às populações no pós-desastre e no reordenamento socioterritorial que os processos de reconstrução pós-desastre implicam.

O presente processo de modelação visa quantificar a vulnerabilidade do concelho de Vila Franca do Campo ao risco sísmico ao nível da subsecção estatística, com base nos dados dos Censos 2001 e em informação geoprocessada nesta unidade de análise. Esta escala de representação é a mais indicada na georreferenciação do fenómeno, permitindo deste modo a análise da variação da vulnerabilidade inter-freguesias, intra-freguesia e concelho, além da possível identificação de padrões e *hotspots* de vulnerabilidade.

Nos próximos pontos apresentam-se os procedimentos metodológicos desenvolvidos na avaliação da vulnerabilidade ao risco sísmico: definição da estrutura hierárquica do modelo de vulnerabilidade; geoprocessamento e normalização dos factores; avaliação do peso dos *factores* de vulnerabilidade; combinação dos *critérios* através das regras de decisão.

4.3.1. Estrutura Hierárquica do Modelo de Vulnerabilidade

A estruturação hierárquica dos *critérios* de avaliação corresponde à primeira fase de implementação da AMC na classificação da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico,

e é, porventura, a etapa crítica do processo. Os principais desafios decorrem da necessidade em identificar, seleccionar e fundamentar os *critérios* que abrangem e reflectem o espectro crível da vulnerabilidade socioecológica, sendo particularmente exigente no tempo dispendido em pesquisa bibliográfica. É igualmente uma etapa de operacionalização metodológica correspondente à aquisição, preparação, tratamento, gestão e processamento dos dados no SIG (Rashed e Weeks, 2003).

A estrutura hierárquica do modelo de avaliação da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico assenta na revisão de literatura especializada (Dynes, 1991; Blaikie *et al*., 1994; Quarantelli, 1994; Smith, 1996; Hewitt, 1997; Davidson, 1997; Mileti, 1999; Cutter, 1996; Cutter, 2000; Cutter *et al*., 2003; Bankoff, 2004; Rashed e Weeks, 2004; Birkmann, 2006; Bolin, 2006; Dwyer *et al*., 2004;Enarson *et al*., 2006; Rodriguez e Russell, 2006; Armas, 2008; Martinelli *et al*., 2009; Sarris *et al*., 2009), o que permitiu identificar os factores de vulnerabilidade e definir um modelo multidimensional da vulnerabilidade.

O processo de selecção dos *critérios* de vulnerabilidade obedece a normas específicas associadas à AMC. De acordo com os princípios defendidos por Malczewski (1999) para a AMC, é imprescindível arquitectar uma estrutura hierárquica transversal ao fenómeno em avaliação, englobando o carácter multidimensional da vulnerabilidade (população, socioeconómico, ambiente físico, exposição ao perigo sísmico dos elementos em risco), enquanto os *critérios* de vulnerabilidade deverão ser operacionais, de modo a salvaguardar o tratamento georreferenciado dos dados e, não redundantes, para impedir a sobreposição de informação similar e evitar a introdução de ruído no modelo analítico.

Ainda que a identificação e a selecção dos *critérios* de vulnerabilidade decorra da revisão de literária especializada e compreenda as normas vigentes na AMC (indicadas no parágrafo anterior), a estrutura hierárquica do modelo de vulnerabilidade proposta encontra-se dependente da disponibilidade de dados georreferenciados à escala geográfica definida para a análise, a subsecção estatística[9]. Trata-se de optar entre duas alternativas, isto é, um modelo de transversalidade máxima ou a análise numa escala geográfica de grande pormenor. Mediante a divisão administrativa do concelho de Vila Franca do Campo à data dos Censos 2001, opta-se por definir uma estrutura hierárquica equilibrada, transversal e

[9] Os dados georreferenciados ao nível da subsecção estatística encontram-se reunidos na Base Geográfica de Referenciação da Informação (BGRI), referente aos Censos 2001 (INE), e foram cedidos pela Direcção Geral da Administração Interna no âmbito do projecto "Estudo Sócio-Criminal da Violência Doméstica na Região Autónoma dos Açores", desenvolvido pelo CES-UA.

robusta, privilegiando a optimização de análise numa escala geográfica de grande pormenor.

O modelo de vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico é estruturado numa hierarquia organizada em três níveis de abstracção (Figura 16). O 1º nível compreende os quatro ***objectivos*** prioritários à decomposição multidimensional da vulnerabilidade: **População** (Blaikie *et al*., 1994; Cutter *et al*., 2003; Enarson *et al*., 2006); **Socioeconómico** (Blaikie *et al*., 1994; Cutter, 1996; Mileti, 1999; Armas, 2008); **Ambiente Construído** (Hewitt, 1997; Cutter *et al*., 2003; Rashed e Weeks, 2004; Martinelli *et al*., 2008; Sarris *et al*., 2009); **Exposição ao Perigo Sísmico** (Davidson, 1997; Sousa, 2006).

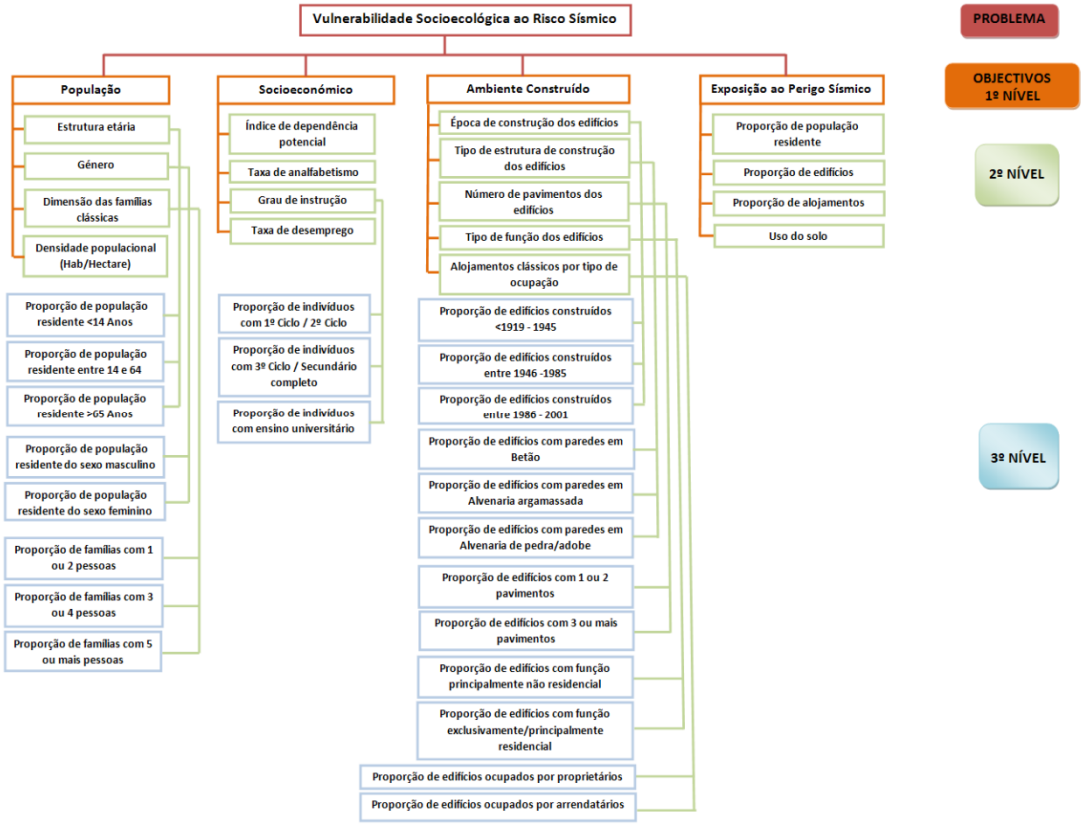

Figura 16- Estrutura hierárquica do modelo de vulnerabilidade ao risco sísmico.

O 2º e 3º nível da estrutura hierárquica incorporam os *factores* que avaliam o comportamento dos quatro *objectivos* associados à vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico, e dado que os *factores* de vulnerabilidade foram previamente introduzidos no capítulo 2.5, proceder-se-á à breve menção dos mesmos neste capítulo.

O 2º nível do *objectivo* **População** incorpora a **Estrutura etária**, o **Género**, a **Dimensão das famílias clássicas** e a **Densidade populacional (Hab/Hectares)**. A estrutura etária permite identificar os grupos etários mais vulneráveis, os jovens e os idosos, devido à sua situação

de dependência (Blaikie *et al*., 1994). Deste modo o 3º nível específica três grupos etários de modo a associarem-se a diferentes níveis de vulnerabilidade. O *factor* género considera a vulnerabilidade do homem e da mulher ao risco sísmico, e dado que as mulheres são consideradas mais vulneráveis do que os homens, devido à fragilidade física e estatuto socioeconómico (Enarson *et al*., 2006), o 3º nível diferencia as duas categorias do género.

A dimensão das famílias é o *factor* que afere a situação de dependência dos elementos que compõem as famílias clássicas mediante a sua dimensão (Cutter *et al*., 2003), e assim, no 3º nível consideram-se as famílias monoparentais, as famílias constituídas por 3 ou 4 elementos e as famílias constituídas por mais de 5 elementos. O último *factor* de vulnerabilidade do *objectivo* População é a densidade populacional (Hab/Hectares), uma vez que a dispersão ou a concentração de população numa determinada área territorial tem preponderância ao nível da gestão de emergência. Este *factor* é constituído por uma escala de valores contínuos, sendo directamente associados à escala de vulnerabilidade durante a normalização, não se procedendo assim à hierarquização de 3º nível.

A vulnerabilidade do *objectivo* **Socioeconómico** é avaliada com recurso a quatro *factores* de 2º nível, o **Índice de dependência potencial**, a **Taxa de analfabetismo**, o **Grau de instrução dos indivíduos** e a **Taxa de desemprego**. O *objectivo* Socioeconómico apresenta algumas limitações, uma vez que as variáveis presentes na BGRI impossibilitam incluir um leque mais completo de *factores*, como por exemplo, a proporção de mulheres desempregadas ou a população residente por estatuto socioeconómico. Relativamente aos *factores* seleccionados, o índice de dependência potencial determina o quociente de dependência da população não activa (0-19 anos e ≥ 65 anos) pela activa (20-64 anos) e não é hierarquizado no 3º nível, pelas mesmas razões do *factor* densidade populacional.

A taxa de analfabetismo e o grau de instrução dos indivíduos são *factores* de vulnerabilidade socioeconómica por excelência, ao consideram o nível de instrução como capital nas oportunidades profissionais dos indivíduos, no estatuto socioeconómico que adquirem e na capacidade de emancipação social (Blaikie *et al*., 1994; Cutter *et al*., 2003). Enquanto a taxa de analfabetismo é um *factor* de valores contínuos e não necessita de hierarquização de 3º nível, o *factor* grau de instrução é hierarquizado em três classes de vulnerabilidade de 3º nível (proporção de indivíduos com 1º e 2º ciclo completos; proporção de indivíduos com 3º ciclo e ensino básico completos; proporção de indivíduos com ensino superior completo). O *factor* taxa de desemprego confere o grau de

susceptibilidade dos indivíduos em função da sua situação no emprego e não possui qualquer hierarquização de 3º nível.

O risco sísmico deriva da vulnerabilidade associada ao ambiente construído (Hewitt, 1997; Davidson; 1997), o que leva a considerar no *objectivo* **Ambiente Construído** os *factores* relacionados com os edifícios e alojamentos, designadamente, a **Época** e **Estrutura de construção**, o **Número de pavimentos**, o **tipo de Função** e o **tipo de Ocupação dos alojamentos clássicos**. No *factor* época de construção dos edifícios definem-se 3 categorias de 3º nível, ou seja, a proporção de edifícios construídos antes de 1919 a 1945, a proporção de edifícios construídos entre 1946 e 1985 e a proporção de edifícios construídos entre 1986 e 2001. A categorização definida por Afonso (2008) permite estruturar diferentes níveis de vulnerabilidade, dado que a primeira categoria abrange os edifícios construídos numa época em que utilizavam-se materiais com mau comportamento mecânico à passagem das ondas sísmicas, enquanto a segunda classe abrange os edifícios que incorporam estruturas de construção com alguma resistência sísmica e, por fim, a última categoria inclui os edifícios circunscritos pelos códigos de construção anti-sísmica e com estruturas de construção de maior resistência à actividade sísmica.

No *factor* estrutura de construção dos edifícios é fundamental diferenciar três tipologias de materiais de construção no 3º nível da estrutura hierárquica, pois associam-se a diferentes graus de vulnerabilidade. As estruturas em paredes de alvenaria de pedra comportam grande vulnerabilidade aos abalos sísmicos devido à fraca resistência mecânica da estrutura de construção, enquanto as estruturas em parede argamassada comportam uma vulnerabilidade moderada, sendo as estruturas de betão armado, as de maior resistência mecânica à passagem das ondas sísmicas (Martinelli *et al*., 2008; Sarris *et al*., 2009).

A diferenciação do *factor* número de pavimentos em duas categorias de 3º nível (proporção de edifícios com 1 ou 2 pavimentos e proporção de edifícios com 3 ou mais pavimentos) deriva do facto do número de pavimentos influenciar o peso assente na estrutura do edifício, gerando diferentes graus de vulnerabilidade (Sarris *et al*., 2009).

Os *factores* tipo de função do edifício e tipo de ocupação dos alojamentos clássicos possuem ambos duas categorias de 3º nível. No caso da função do edificado é elementar distinguir os edifícios com função exclusivamente/principalmente residencial, dos que não possuem essa função, uma vez que os edifícios que tem função residencial traduzem maior vulnerabilidade, pois são habitáveis, aumentando a probabilidade de dano pessoal em caso

de evento sísmico de magnitude elevada. O tipo de ocupação dos alojamentos clássicos determina a proporção de alojamentos ocupados pelo proprietário e por arrendatários, sendo que na condição de arrendatário, advém maior vulnerabilidade pela dificuldade de conceber obras de reabilitação com a introdução dos códigos de construção anti-sísmica por parte do proprietário legítimo do edifício (custos associados).

O *objectivo* **Exposição ao Perigo Sísmico** incorpora quatro *factores* de 2º nível que por tratarem-se de indicadores constituídos por valores contínuos, podem associar-se directamente às escalas de vulnerabilidade no processo de normalização, logo sem qualquer hierarquização de 3º nível. Neste *objectivo* consideram-se os elementos expostos ao perigo sísmico, a **População residente**, os **Edifícios construídos,** os **Alojamentos clássicos** e, ainda, o **Uso do solo** (Davidson, 1997; Dwyer *et al*., 2007; Sousa 2006).

O maior volume de população residente, edifícios e alojamentos em áreas de exposição ao perigo sísmico comporta um enquadramento de maior vulnerabilidade, podendo resultar em maiores danos pessoais (vítimas mortais, feridos, desalojados) e materiais (destruição de edifícios e de infra-estruturas básicas) em caso de abalo sísmico destrutivo. O uso do solo traduz o modo como o território é ocupado e, nesse sentido, as áreas densamente construídas podem gerar entraves às operações de gestão da emergência, enquanto as áreas de povoamento disperso e linear, podem ficar isoladas em caso de eventos sísmicos destrutivos (Cutter *et al*., 2003).

Na introdução dos conceitos associados à AMC foi referido que *os critérios* constituem-se em *factores* e *restrições/exclusões*. No âmbito deste modelo é necessário *excluir* da análise de vulnerabilidade as subsecções estatísticas sem população e sem edifícios, de modo a não enviesar os resultados gerados pela modelação do fenómeno. Deste modo excluem-se 45 das 235 subsecções estatísticas do concelho de Vila Franca do Campo.

Na conclusão do capítulo apresenta-se a Tabela 1, que codifica os *objectivos* e *factores* de vulnerabilidade de modo a simplificar a sua referência nos próximos capítulos, contendo igualmente informação de apoio ao capítulo 4.3.1.1. Os *objectivos* (1º nível) possuem como código a letra inicial da designação do objectivo (**P**opulação - **P**), enquanto os códigos dos *factores* de 2º nível incluem cada letra inicial do nome do *objectivo* e um número (**Socioeconómico**: Índice de dependência potencial – **SE1**) e, por fim, os *factores* de 3º nível incluem cada letra inicial do nome do *objectivo* e dois dígitos (**A**mbiente **C**onstruído: Proporção de edifícios construídos anteriormente a 1945 até 1960 – **AC11**).

Código	Designação	Nível de Hierarquia	Construção do Factor
P	**Objectivo: População**	1º	Regra Decisão
P1	**Estrutura Etária da população**	2º	Regra Decisão
P11	Proporção de população residente com idade <14 anos	3º	Cálculo BGRI
P12	Proporção de população residente com idade entre 14 e 64 anos	3º	Cálculo BGRI
P13	Proporção de população residente > 65 anos	3º	Cálculo BGRI
P2	**População segundo o Género**	2º	Regra Decisão
P21	Proporção de população residente do sexo masculino	3º	Cálculo BGRI
P22	Proporção de população residente do sexo feminino	3º	Cálculo BGRI
P3	**Dimensão das Famílias clássicas**	2º	Regra Decisão
P31	Proporção de famílias clássicas com 1 ou 2 pessoas	3º	Cálculo BGRI
P32	Proporção de famílias clássicas com 3 ou 4 pessoas	3º	Cálculo BGRI
P33	Proporção de famílias clássicas com 5 ou mais pessoas	3º	Cálculo BGRI
P4	**Densidade Populacional (Hab/Hectares)**	2º	Cálculo BGRI
SE	**Objectivo: Socioeconómico**	1º	Regra Decisão
SE1	**Índice de Dependência Potencial**	2º	Cálculo BGRI
SE2	**Taxa de Analfabetismo**	2º	Cálculo BGRI
SE3	**Grau de Instrução**	2º	Regra Decisão
SE31	Proporção de indivíduos com 1º Ciclo e 2º Ciclo completo	3º	Cálculo BGRI
SE32	Proporção de indivíduos com 3º Ciclo e Ensino secundário completo	3º	Cálculo BGRI
SE33	Proporção de indivíduos com Ensino Superior completo	3º	Cálculo BGRI
SE4	**Taxa de Desemprego**	2º	Cálculo BGRI
AC	**Objectivo: Ambiente Construído**	1º	Regra Decisão
AC1	**Época de construção dos Edifícios**	2º	Regra Decisão
AC11	Proporção de edifícios construídos anteriormente a 1919 até 1945	3º	Cálculo BGRI
AC12	Proporção de edifícios construídos entre 1946 e 1985	3º	Cálculo BGRI
AC13	Proporção de edifícios construídos entre 1986 e 2001	3º	Cálculo BGRI
AC2	**Tipo de Estrutura de construção dos edifícios**	2º	Regra Decisão
AC21	Proporção de edifícios com estrutura em Betão	3º	Cálculo BGRI
AC22	Proporção de edifícios com estrutura em Alvenaria argamassada	3º	Cálculo BGRI
AC23	Proporção de edifícios com estrutura em Alvenaria de pedra, adobe e taipa	3º	Cálculo BGRI
AC3	**Número de Pavimentos dos edifícios**	2º	Regra Decisão
AC31	Proporção de edifícios com 1 ou 2 Pavimentos	3º	Cálculo BGRI
AC32	Proporção de edifícios com 3 ou mais Pavimentos	3º	Cálculo BGRI
AC4	**Tipo de função dos edifícios**	2º	Regra Decisão
AC41	Proporção de edifícios com função exclusivamente e principalmente residencial	3º	Cálculo BGRI
AC42	Proporção de edifícios com função principalmente não residencial	3º	Cálculo BGRI
AC5	**Alojamentos clássicos por tipo de Ocupação**	2º	Regra Decisão
AC51	Proporção de alojamentos clássicos ocupados pelo Proprietário	3º	Cálculo BGRI
AC52	Proporção de alojamentos clássicos ocupados por Arrendatários	3º	Cálculo BGRI
EPS	**Objectivo: Exposição ao Perigo Sísmico**	1º	Regra Decisão
EPS1	**Proporção de população residente**	2º	Cálculo BGRI
EPS2	**Proporção de edifícios construídos**	2º	Cálculo BGRI
EPS3	**Proporção de alojamentos**	2º	Cálculo BGRI
EPS4	**Uso do solo**	2º	Cálculo BGRI

Tabela 1 - Códigos atribuídos aos *objectivos* e *factores* da estrutura hierárquica do modelo de vulnerabilidade, indicação do nível da hierarquia, e processo metodológico na origem dos *factores* de vulnerabilidade.

4.3.1.1. Geoprocessamento dos Factores de Vulnerabilidade

A operacionalização da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico em ambiente SIG tem início com o tratamento, a manipulação e o geoprocessamento das variáveis estatísticas presentes na BGRI (Censos 2001). Este procedimento é materializado com recurso ao software ArcGIS-ArcView® 9.3 da ESRI®, sendo a informação geográfica georreferenciada segundo o sistema de coordenadas WGS 84 UTM - Zona 26 N, de modo a evitar erros de imprecisão topológica na sobreposição das camadas de informação.

Na composição da estrutura hierárquica do modelo de avaliação é imprescindível distinguir os *factores* construídos com base nas variáveis do ficheiro BGRI, às quais são aplicadas fórmulas no cálculo dos indicadores, dos *factores* e *objectivos* resultantes da combinação dos *factores* de 3º nível e de 2º nível durante a introdução das regras de decisão. Nesta fase procede-se exclusivamente ao cálculo dos *factores* de 3º nível e dos *factores* de 2º nível que não possuem desagregação de 3º nível com base nas variáveis do ficheiro BGRI, sendo que a Tabela 2 identifica os *factores* nestas condições. No *factor* Uso do solo as subsecções são categorizadas em 3 classes. A classe 1 corresponde aos territórios artificializados contínuos, a classe 2 aos territórios artificializados descontínuos e, por fim, a classe 3 aos territórios naturais. Importa acrescentar que nas subsecções sem uso do solo dominante, seleccionou-se a classe de maior cobertura territorial (por hectare).

Após as operações de geoprocessamento os *factores* de vulnerabilidade são convertidos para o modelo de dados matricial, possibilitando assim, a conversão dos mesmos para o formato ASCII. O processo conclui com a importação dos *factores* no *software* IDRISI Andes® 15.0 da ClarkLabs©, no qual são desenvolvidos os restantes procedimentos obrigatórios à quantificação da vulnerabilidade ao risco sísmico com recurso à AMC.

4.3.1.2. Normalização dos Factores de Vulnerabilidade

A integração e a comparação dos factores de vulnerabilidade é condicionada pelo facto destes apresentarem distintas escalas de medida (proporções, taxas, índice), tornando imprescindível a normalização dos factores numa escala comum (Rashed e Weeks, 2003). Malczewski (1999) defende que a normalização pode ser executada com recurso a vários métodos, como a escala linear de transformação, as escalas de probabilidade ou as funções de valor/utilidade, adoptando-se neste modelo as lógicas difusas, por adequarem-se à representação contínua da vulnerabilidade, pelas razões já expressas no subcapítulo 4.3.

A normalização dos *factores* com recurso às lógicas difusas compreende a passagem de um *factor* numa dada escala para a escala normalizada difusa, sendo que o resultado da normalização traduz o grau de pertença do *factor* numa escala que varia entre 0 e 1. Neste caso adopta-se uma escala de 8 *bytes* (0 a 255), de modo a optimizar o espectro radiométrico do modelo de dados matricial (Kienberger *et al*., 2009). Assim, os valores de um *factor* não normalizado são convertidos para uma escala de valores contínuos difusos, no qual o valor 0 corresponde a total ausência de vulnerabilidade e o valor 255 compreende a total presença de vulnerabilidade. No processo de normalização dos *factores* é requerida ainda a definição do tipo e da forma da função de normalização, bem como, os Pontos de Controlo (PC)[10].

Tipo de Função de Normalização	Forma da Função de Normalização	Pontos de Controlo	Factores (Código)
Linear	Crescente	0 – 2456	P4;
		0 – 105	SE1
		0 – 100	P11; P13; P22; P31; P32; P33; AC11; AC22; AC23; AC32; AC41; AC52
		0 – 39	SE2
		0 – 77	SE31; EPS1
		0 – 13	SE4
		0 – 2,9	EPS2
		0 – 5	EPS3
	Decrescente	0 – 100	P12; P21; AC12; AC13; AC21; AC31; AC42; AC51
		0 – 43	SE32
		0 – 22	SE33
J-Shaped	Decrescente	1 – 3	EPS4

Tabela 2 – Síntese das funções de normalização e indicação dos pontos de controlo associados à normalização dos *factores* de vulnerabilidade socioecológica.

Na Tabela 2 identificam-se as opções de normalização definidas para cada *factor* sujeito a este procedimento[11], sendo que à excepção do *factor* EPS4, os restantes *factores* são normalizados pelo tipo de função Linear, no qual a vulnerabilidade varia linearmente entre os pontos de controlo. A função *J-Shaped* é definida de acordo com Pinto (2008), por variações abruptas de baixa para alta aptidão (neste caso vulnerabilidade) entre os pontos de controlo, o que neste caso é justificado por se pretender acentuar as diferenças de

[10] Os pontos de controlo correspondem ao ponto mínimo a partir do qual os valores do *factor* contribuem para a escala de vulnerabilidade normalizada, e o ponto máximo a partir do qual os valores do *factor* não são considerados na escala de normalizada.

[11] Nesta fase normalizam-se os *factores* de 3º nível e os de 2º nível sem desagregação de 3º nível. Os restantes *factores* presentes na estrutura hierárquica do modelo de vulnerabilidade (*factores* de 2º nível com desagregação de 3º nível e os de 1º nível) são normalizados na fase de introdução das regras de decisão dos *critérios* de vulnerabilidade de 2º e 1º nível.

vulnerabilidade entre as categorias de uso do solo. É possível distinguir os *factores* sujeitos à normalização pela forma de função, que pode ser crescente ou decrescente consoante a direcção de variação da vulnerabilidade num dado *factor*. De modo a assimilar os princípios teóricos do processo de normalização exemplificar-se-á com dois *factores.*

No *factor* proporção de população residente com idade <14 anos, a vulnerabilidade aumenta com a maior proporção de indivíduos pertences a este grupo etário (que varia entre 0% e 100%). Deste modo, opta-se pelo tipo de função **Linear**, modo de função **Crescente** e pontos de controlo **0** e **100**, dado que a vulnerabilidade aumenta linearmente a partir do valor mínimo de 0% e atinge o valor máximo nos 100%, sendo que após o *factor* estar normalizado, a proporção equivalente a 0 mantém o mesmo valor normalizado, enquanto a proporção correspondente a 100% passaria a 255 na escala de normalizada.

A maior proporção de edifícios construídos em betão armado (*factor* AC31) comporta uma situação de menor vulnerabilidade ao risco sísmico. Deste modo opta-se pelo tipo de Função **Linear**, modo de função **Decrescente** e pontos de controlo **0** e **100**, uma vez que a vulnerabilidade máxima dá-se à proporção de 0%, valor a partir do qual a vulnerabilidade diminui linearmente, sendo mínima na proporção de 100%. Deste modo os valores de 0% correspondem a 255 na escala de vulnerabilidade do *factor* normalizado e os valores de 100% correspondem a 0 na escala normalizada. Para a consulta dos procedimentos aplicados aos *factores* normalizados nesta fase, remete-se à consulta o Anexo 2.

4.3.2. Avaliação do Peso dos Factores de Vulnerabilidade

A estimação do peso dos *factores* de vulnerabilidade visa determinar a importância relativa dos *factores* entre si. A assunção de que os *factores* presentes na estrutura hierárquica possuem a mesma importância na avaliação da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico é incorrecta, dado simplificar processos e relações de elevada complexidade. A AMC possibilita a estimação do peso dos *factores* de vulnerabilidade com recurso a vários métodos, como o AHP. Este método permite a gestão da subjectividade de julgamento associado à estimação do peso dos *factores* (Eakin e Bojórquez, 2008), visando a diminuição da incerteza e do erro associados a este método de avaliação.

Na visualização da função *WEIGHT* – AHP do *software* IDRISI Andes® (Figura 17) é possível assimilar o método de funcionamento do método AHP, identificando-se a matriz de comparação que hierarquiza a importância relativa dos *factores* par-a-par, bem como a

escala contínua de 9 valores que admite a igual importância entre os pares de *factores* (valor 1), a menor importância entre os pares de *factores* (valores: 1/3; 1/5; 1/7; 1/9) e a maior importância entre os pares de *factores* (valores: 3; 5; 7; 9).

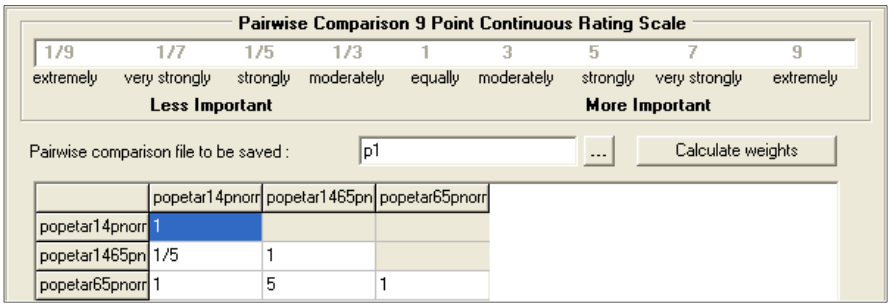

Figura 17 - Matriz de comparação de *factores* par-a-par e escala contínua de valores que hierarquiza a importância dos *factores*. Legenda: 1 – igual importância; escala de maior importância entre pares de *factores*: 3 – moderada; 5 – forte; 7 – muito forte; 9 – extremamente; escala de menor importância entre pares de *factores*: 1/3 – moderada; 1/5 – forte; 1/7 – muito forte; 1/9 – extremamente. Fonte: Clark Labs© (2006).

Neste âmbito aplica-se o AHP na estimação dos pesos dos *factores* de 3º nível e de 2º nível com base em conhecimento empírico e teórico (literatura especializada). Os quatro *objectivos* do 1º nível da estrutura hierárquica do modelo vulnerabilidade não são sujeitos ao processo de estimação dos pesos de importância, uma vez que não existem fundamentos teóricos para estabelecer uma hierarquização entre si. Finalmente, importa acrescentar que nos pontos 4.3.2.1 e 4.3.2.2 utilizar-se-ão os valores presentes na escala numérica contínua acima referidos e legendados na Figura 17, para descrever a importância relativa dos *factores* de vulnerabilidade entre si, sendo colocados entre aspas.

4.3.2.1. Avaliação dos Factores de 3º Nível

Na **Estrutura etária da população** (P1) do *objectivo* **População** (P) é atribuída igual importância (1) à proporção de indivíduos com idade <14 anos (P11) e idade >65 anos (P13), pois ambos os grupos etários encontram-se em situação de dependência. No caso dos jovens a dependência é financeira, enquanto nos idosos deriva de problemas de mobilidade, saúde e fragilidade financeira (Blaikie *et al*., 1994). Dado que a faixa etária dos 15 aos 64 anos (P12) é representativa da população activa, considera-se os dois extremos etários como de maior importância (5) para a vulnerabilidade do que a população activa.

No *factor* **Género** (P2), o sexo feminino (P22) é de maior importância (7) do que o sexo masculino (P21) para a vulnerabilidade ao risco sísmico, devido à menor resistência fisiológica da mulher e por possuir, teoricamente, um estatuto socioeconómico inferior ao sexo masculino (Enarson *et al*., 2006). A **Dimensão das famílias clássicas** (P3) traduz a situação de dependência dos elementos da família mediante a sua dimensão (Cutter *et al*.,

2003). Considera-se que as famílias clássicas com 1 ou 2 pessoas (P31) e de 5 ou mais pessoas (P33) possuem idêntica importância para a vulnerabilidade (1), dado que mediante a sua dimensão poderá gerar-se uma situação de dependência financeira, o que terá repercussão na incapacidade de mitigação do risco sísmico e na fase de recuperação pós-desastre. Os *factores* P31 e P33 possuem uma importância moderadamente maior (3) do que as famílias clássicas com 3 ou 4 pessoas (P32), que se encontra numa posição de vulnerabilidade intermédia (e menor) relativamente aos outros dois *factores*.

No *objectivo* **Socioeconómico** (SE) estima-se o peso dos *factores* associados ao **Grau de instrução** (SE3) dos indivíduos. Considera-se que o *factor* proporção de indivíduos com o 1º e 2º ciclo completo (SE31) possui maior importância que *o factor* proporção de indivíduos com 2º ciclo e ensino básico completos (SE32) e o *factor* proporção de indivíduos com o ensino superior completo (SE33) na vulnerabilidade ao risco sísmico. Esta hierarquização decorre da possibilidade dos indivíduos com o 1º ciclo e 2º ciclo completo terem maiores dificuldades de progressão no estatuto socioeconómico, em comparação com os indivíduos com grau de instrução superior (Blaikie *et al*., 1994; Armas, 2008), sendo por natureza, moderadamente (3) mais vulneráveis que os indivíduos com 3º ciclo e ensino secundário completos e muito mais (5) vulneráveis do que os indivíduos com o ensino superior completo. Na determinação do peso dos *factores* SE32 e SE33 considera-se que a proporção indivíduos com ensino superior completo possui menor vulnerabilidade em relação à proporção de indivíduos com o 3º ciclo e ensino básico completo, logo, com menor importância (1/3) para a vulnerabilidade.

No factor **Época de construção dos edifícios** (AC1) do *objectivo* **Ambiente Construído** (AC), os edifícios construídos antes de 1919 a 1945 (AC11) são considerados particularmente vulneráveis (Sarris *et al*., 2009; Yeletaysi *et al*., 2009), possuindo deste modo maior importância para a vulnerabilidade do que os edifícios construídos entre 1946 e 1985 (AC12) e os edifícios construídos entre 1986 e 2001 (AC13). Deste modo o *factor* AC11 tem importância maior (3) relativamente ao *factor* AC12 e também em comparação com o factor AC13 (5), uma vez que os *factores* AC12 e AC13 reportam-se a épocas de construção no qual se assiste à progressiva introdução de materiais de construção com maior resistência mecânica às ondas sísmicas e à introdução de códigos de construção anti-sísmica, em particular nos edifícios construídos entre 1986 e 2001. Na comparação dos *factores* AC12 e AC13, considera-se que os edifícios construídos entre 1986 e 2001 são menos vulneráveis (materiais de construção mais resistentes e introdução de construção

anti-sísmica) que os edifícios construídos entre 1945 e 1985, logo, têm menor importância (1/3) no contexto da vulnerabilidade ao risco sísmico.

No que se refere ao *factor* tipo de **Estrutura de construção dos edifícios** (AC2), e de acordo com Yeletaysi *et al*. (2009), as estruturas em betão armado (AC11) possuem menor vulnerabilidade ao risco sísmico do que as estruturas em alvenaria argamassada (AC12) e as estruturas em alvenaria de pedra, adobe e taipa (AC13). Deste modo o *factor* AC11 tem uma importância moderadamente menor (1/3) que o *factor* AC12 e de muito menor importância (1/5) relativamente ao *factor* AC13. Quanto à comparação dos *factores* AC12 e AC13, as estruturas em alvenaria de pedra, adobe e taipa, caracterizam-se por reduzida resistência aos abalos sísmicos de maior intensidade, sendo assim mais vulneráveis do que as estruturas de alvenaria argamassada e, deste modo, de maior importância (3) relativamente às estruturas de alvenaria argamassada para a vulnerabilidade.

No *factor* **Número de pavimentos** (AC3) é atribuída maior importância para a vulnerabilidade (5) aos edifícios com volumetria assente em 3 ou mais pavimentos (AC32) relativamente aos edifícios com 1 ou 2 pavimentos (AC31), dado que o maior número de pavimentos influência o peso assente sobre a estrutura do edifício (Sarris *et al*., 2008). No **tipo de Função dos edifícios** (AC4) os edifícios de função exclusivamente e principalmente residencial (AC41) tem maior contributo e importância para a vulnerabilidade (5) do que os edifícios não residenciais (AC42), dado diminuir o grau de exposição dos elementos em risco (os indivíduos).

No **tipo de Ocupação dos alojamentos clássicos** (AC5) é atribuída maior importância para a vulnerabilidade (5) dos alojamentos ocupados por arrendatários (AC52) relativamente aos alojamentos habitados pelo proprietário (AC51), uma vez não é comum o arrendatário ter a iniciativa de introduzir obras de reabilitação de um imóvel que não lhe pertence. Os pesos atribuídos aos *factores* de 3º nível da estrutura hierárquica de vulnerabilidade são consultáveis no próximo capítulo, através da visualização da Figura 18.

4.3.2.2. Avaliação dos Factores de 2º Nível

No *objectivo* **População** (P) atribui-se igual importância (1) à estrutura etária (P1) e à dimensão das famílias clássicas (P3) na avaliação da vulnerabilidade, dado que comportam a situação de dependência dos indivíduos e das famílias. O *factor* género (P2) é considerado de menor importância (1/5) para a vulnerabilidade comparativamente aos *factores* P1 e P3,

dado que a vulnerabilidade associada ao sexo masculino é reduzida e a mulher embora mais vulnerável, não está associada a outra condição social, logo decresce a importância do *factor* P2. A densidade populacional (P4) tem igual importância (1) relativamente aos *factores* P1 e P3, sendo ligeiramente mais importante (3) do que o *factor* P2.

Nos *factores* de 2º nível do *objectivo* **Socioeconómico** (SE), a taxa de analfabetismo (SE2) tem uma importância maior (3) em relação ao índice de dependência potencial (SE1), grau de instrução (SE3) e à taxa de desemprego (SE4), dado que os indivíduos analfabetos possuem grandes limitações para progredir no estatuto socioeconómico (Cutter *et al*., 2003) conferindo-lhes maior vulnerabilidade. O *factor* SE3 tem uma importância menor (1/3) relativamente aos restantes *factores*, dado que é constituído por duas categorias de 3º nível (indivíduos com 3º ciclo e ensino secundário completo; ensino superior completo) que contribuem para a diminuição da vulnerabilidade (Armas, 2008). O *factor* SE4 possui o mesmo contributo (1) para a vulnerabilidade em relação ao *factor* SE1, sendo considerado menos importante (1/3) do que o *factor* SE2 e de maior importância (1/3) relativamente ao *factor* SE3.

No *objectivo* **Ambiente Construído** (AC) o *factor* com maior contributo para a vulnerabilidade é a estrutura de construção dos edifícios (AC2), dado que a tipologia dos materiais de construção condiciona o comportamento da estrutura do edificado à passagem das ondas sísmicas (Sarris *et al*., 2009). Deste modo o *factor* AC2 possui maior importância (3) relativamente à época de construção dos edifícios (AC1) e maior importância (5) do que o número de pavimentos dos edifícios (AC3), tipo de função dos edifícios (AC4) e tipo de ocupação dos alojamentos clássicos (AC5). O *factor* AC1 possui uma importância relativamente maior (3) em comparação com os *factores* AC3, AC4 e AC5 e de menor importância (1/3) em relação ao *factor* SE2. Os *factores* AC3, AC4 e AC5 possuem por sua vez a mesmo importância (1) para a vulnerabilidade entre si, dado não existirem fundamentos teóricos para os diferenciar.

No *objectivo* **Exposição ao Perigo Sísmico** é atribuída a mesmo importância (1) à proporção de edifícios construídos (EPS2) e uso do solo (EPS4), dado que o *factor* EPS2 é representativo da principal causa de morte e de dano em caso de evento sísmico, o colapso de edifícios (Hewitt, 1997), enquanto o *factor* EPS4, traduz o modo de ocupação territorial (Cutter *et al*., 2003). Deste modo, consideram-se os *factores* EPS2 e EPS4 como de maior importância (3) do que a proporção de população residente (SE1) e da proporção de

alojamentos (SE3) para a vulnerabilidade. A Figura 18 apresenta os valores resultantes do processo de estimação do peso dos *factores* de 3º nível e de 2º nível.

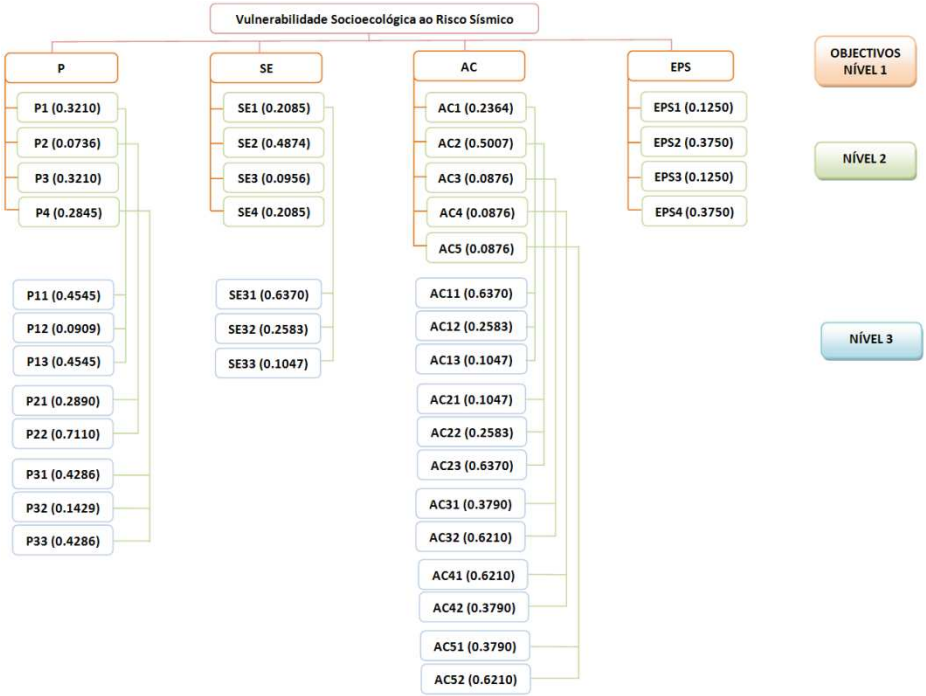

Figura 18 - Pesos atribuídos aos *factores* de vulnerabilidade de 3º nível e de 2º nível.

4.3.3. Regra de Decisão: Combinação dos Critérios de Vulnerabilidade

A combinação dos *factores* de 3º nível dá origem aos *factores* de 2º nível, sendo importante realçar que se identificam na estrutura hierárquica do modelo de vulnerabilidade *factores* de 2º nível que não resultam do processo de combinação, mas sim do cálculo dos *factores* através das variáveis constantes na BGRI. Na combinação dos *critérios* de 3º nível é definido um cenário único de vulnerabilidade e de risco neutro e máximo *trade-off* entre os factores.

No 2º nível agregam-se os *factores* resultantes do processo de combinação de 3º nível e os factores de 2º nível que não derivam da aplicação das regras de decisão, originando assim os *objectivos* de 1º nível (População; Socioeconómico; Ambiente Construído; Exposição ao Perigo Sísmico). Para os quatro *objectivos* do 1º nível da estrutura hierárquica do modelo de vulnerabilidade são gerados seis cenários de vulnerabilidade, correspondentes a distintos níveis de risco e de *trade-off* no espaço estratégico de decisão.

Por fim combinam-se os quatro *objectivos* correspondentes ao 1º nível da estrutura hierárquica, sendo proposto um único cenário de vulnerabilidade, uma vez que não existem pressupostos teóricos para hierarquizar os quatro *objectivos* que definem a multidimensionalidade da vulnerabilidade ao risco sísmico.

Importa vincar que na fase antecedente à combinação dos *critérios* de vulnerabilidade de 2º e 1º nível, os *factores* de 2º nível com desagregação de 3º nível e os de 1º nível são normalizados através do tipo de função linear e forma de função crescente, sendo os PC, os valores mínimos e máximos de cada *factor* a normalizar. Uma vez que os referidos *factores* resultam de processos de combinação através das regras de decisão é necessário garantir que possuem uma escala de medição uniforme aquando da sua combinação na introdução das regras de decisão.

Uma vez que os resultados do processo de combinação dos *critérios* variam numa escala contínua entre 0 e 255, definiram-se cinco categorias de vulnerabilidade (0 – 51: muito reduzida; 52 – 102: reduzida; 103 – 153: moderada; 154 – 204: elevada; 205 – 255: muito elevada), de modo a simplificar a análise dos resultados nos próximos pontos.

4.3.3.1. Critérios de Decisão de 3º Nível

Na combinação dos *critérios* de 3º nível é assumido um cenário de risco neutro e de máximo *trade-off* entre os *factores* de vulnerabilidade, de modo a não alterar a importância relativa de cada *factor* de 3º nível no processo de combinação. Do processo de combinação de *critérios* de 3º nível resultam os *factores* P1, P2, P3, SE3, AC1, AC2, AC3, AC4 (ver a designação na Tabela 1), correspondentes ao 2º nível da estrutura hierárquica e devidamente ilustrados na Figura 19. No caso das imagens dos *factores* de 2º nível que não resultam da aplicação das regras de decisão (P4; SE1; SE2; SE4; EPS1; EPS2; EPS3; EPS4), remete-se à consulta o Anexo 3.

No presente capítulo procede-se à análise dos resultados decorrentes da introdução das regras de decisão nos *factores* de 3º nível e discutem-se igualmente, os *factores* de 2º nível não derivados do processo de combinação. Na Tabela 3 incorporam-se os dados estatísticos relativos às frequências dos valores de vulnerabilidade das imagens de 2º nível.

O *factor* P1 representa a vulnerabilidade da estrutura etária da população, primando por valores de vulnerabilidade muito reduzida na generalidade das subsecções, o que é corroborado pela média de vulnerabilidade registada (49), enquanto o valor máximo é de 87. No *factor* P2, população segundo o género, os valores de vulnerabilidade são mais acentuados quando por comparação com o *factor* P1, uma vez que o valor mínimo é 42, o valor máximo é de 202, para uma média de 126 (moderada). Atente-se que as subsecções localizadas em Água de Alto possuem os valores de vulnerabilidade mais elevada.

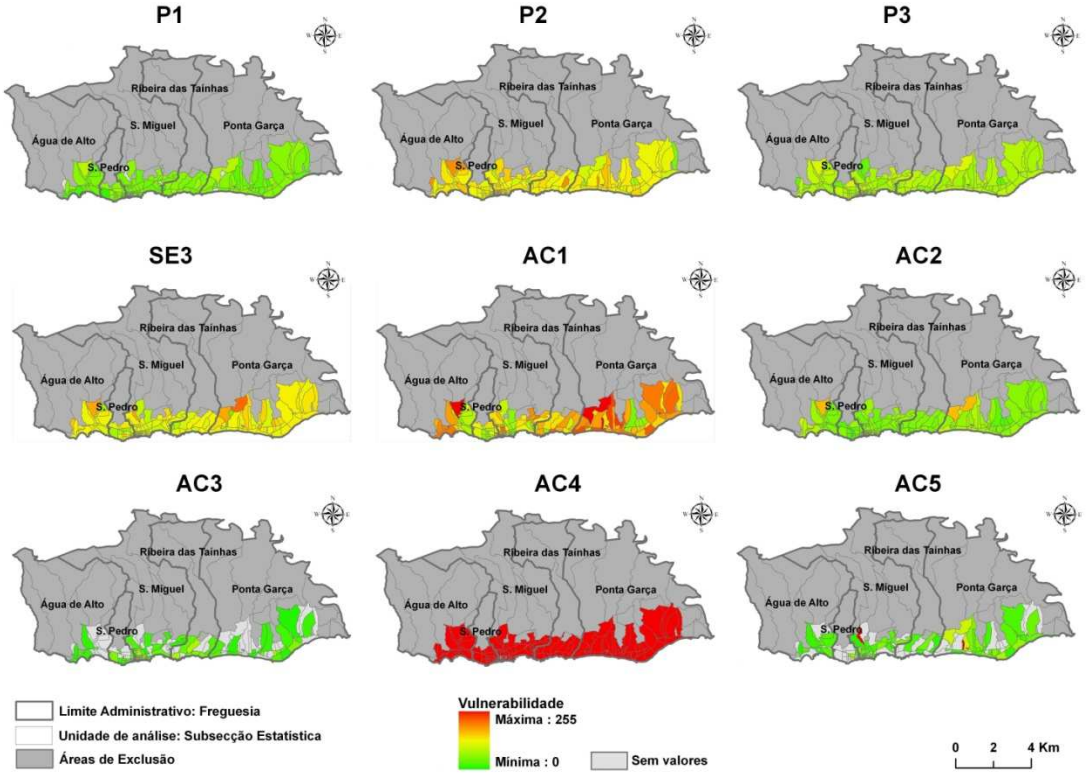

Figura 19 - Imagens de 2º nível resultantes do processo de combinação dos *critérios* de 3º nível.

Na dimensão das famílias clássicas (P3) os valores de vulnerabilidade são reduzidos na maioria das subsecções estatísticas, o que é conferido através da média registada (71,1), sendo o valor máximo gerado de 110. No *factor* P4, densidade populacional, a escala de vulnerabilidade varia entre 0 e 255, embora a média de 55,1 contextualize-se uma vulnerabilidade reduzida numa visão uniforme ao nível das subsecções. A identificação de subsecções com valores acentuados, embora esporádicos, não causa surpresa uma vez que localizam-se na freguesia de S. Miguel, principal núcleo urbano do concelho, enquanto os valores mais reduzidos derivam da predominância do povoamento do tipo disperso e linear no concelho, em especial nas freguesias de Ribeira das Taínhas e de Ponta Garça.

No *factor* índice de dependência potencial (S1) é identificado um índice de vulnerabilidade média muito reduzida nas subsecções (média 33,1), sendo a distribuição de valores homogénea ao nível da generalidade das subsecções. No *factor* S2, taxa de analfabetismo, os valores de vulnerabilidade variam entre o valor mínimo de 0 e o valor máximo de 170, traduzindo um valor médio de 56,1, ou seja, em termos genéricos a vulnerabilidade é reduzida. Contudo, na imagem deste factor (em Anexo 3 – SE2) são perceptíveis valores de vulnerabilidade moderada em algumas subsecções localizadas em Ponta Garça, Água de Alto e S. Miguel.

Factor	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Desvio Padrão
P1	11	87	49	17,7
P2	46	204	126,6	29,7
P3	36	110	71,1	16,3
P4	0	255	55,1	60,9
S1	0	128	33,1	24,3
S2	0	170	56,1	31,8
S3	43	214	112,9	29,5
S4	0	128	30,8	25,4
AC1	27	255	133,2	60
AC2	27	162	63	25,7
AC3	5	255	50,7	48,6
AC4	97	255	213,6	58,9
AC5	8	255	53,7	48,7
EPS1	0	163	48,7	37,8
EPS2	0	187	66,8	44,5
EPS3	0	112	38,8	28,1
EPS4	128	255	195,7	52,2

Tabela 3 - Estatísticas derivadas das frequências dos valores de vulnerabilidade das imagens de 2º nível.

No grau de instrução dos indivíduos (S3) a escala de vulnerabilidade abrange todo o espectro da vulnerabilidade (valor mínimo de 43 e valor máximo de 214), sendo a vulnerabilidade média de 112,9. É igualmente perceptível na Figura 19, que os valores de vulnerabilidade são moderados a elevados na maioria das subsecções de Água de Alto, Ponta Garça e na zona histórica da freguesia de S. Miguel. As subsecções das freguesias de S. Pedro, Ribeira das Taínhas e as novas áreas urbanizadas de S. Miguel patenteiam valores de vulnerabilidade mais reduzidos. No *factor* referente à taxa de desemprego (SE4), a nota dominante é a vulnerabilidade muito reduzida na generalidade das subsecções.

O *factor* AC1 traduz a vulnerabilidade associada à época de construção dos edifícios. Na Figura 19 é visível que os valores de vulnerabilidade são elevados e muito elevados nas subsecções correspondentes aos núcleos urbanos antigos de Água de Alto, Ponta Garça e do centro histórico de S. Miguel. A freguesia de Ribeira das Taínhas apresenta valores moderados e elevados, enquanto S. Pedro possui os valores de vulnerabilidade mais reduzidos do concelho. No *factor* AC2, tipo de estrutura de construção dos edifícios, a variação de vulnerabilidade é manifestamente inferior ao *factor* AC1 (valor médio de 133,2), pois oscila entre 27 e 162 para um registo médio de 63. Importa destacar que os valores mais elevados localizam-se nas subsecções de vulnerabilidade mais elevada no *factor* AC1. O *factor* relativo ao número de pavimentos dos edifícios (AC3) possui em termos médios, vulnerabilidade muito reduzida na generalidade das subsecções.

No factor AC4, tipo de função dos edifícios, a vulnerabilidade é muito elevada na maioria das subsecções (Figura 19), perceptível através da variação da escala de vulnerabilidade e

nos valores médios registados neste factor (213,6). Esta situação decorre na medida em que na maioria das subsecções o edificado possui função exclusivamente/principalmente residencial, sendo a excepção algumas subsecções no centro de S. Miguel, onde o edificado não tem apenas uma função residencial. Nos alojamentos clássicos por tipo de ocupação (AC5), a vulnerabilidade é muito reduzida na maioria das subsecções, sendo que na freguesia de S. Miguel identificam-se valores médios de vulnerabilidade reduzida.

Os *factores* EPS1 e EPS2 possuem variações de vulnerabilidade similares, pese embora no segundo *factor* os valores máximos e médios de vulnerabilidade sejam superficialmente superiores, razão pela qual o *factor* EPS1 tem valores médios de vulnerabilidade muito reduzidos (48,7), enquanto o *factor* EPS2 tem uma vulnerabilidade média reduzida (66,8). Em ambos os factores os valores de vulnerabilidade são mais elevados em Água de Alto, Ponta Garça e S. Miguel. O *factor* EPS3 apresenta padrões espaciais de vulnerabilidade idênticos aos *factores* anteriores.

Finalmente, no uso do solo (EPS4), a média de vulnerabilidade é elevada, sendo necessário evidenciar a vulnerabilidade muito elevada (Anexo 3 – Imagem EPS4) nos tecidos urbanos contínuos (S. Pedro; S. Miguel; Água de Alto), e de vulnerabilidade moderada a elevada nos tecidos urbanos descontínuos (Ribeira das Taínhas e Ponta Garça).

4.3.3.2. Critérios de Decisão de 2º Nível

A combinação dos *critérios* de vulnerabilidade de 2º nível através do método OWA tem por resultado os quatro *objectivos* que constituem o 1º nível da estrutura hierárquica, designadamente: População; Socioeconómico; Ambiente Construído; Exposição ao Perigo Sísmico. Ao contrário do que sucede na combinação dos *critérios* de 3º nível, opta-se por traçar seis cenários de vulnerabilidade (Figura 20) na formulação dos *objectivos* de 1º nível.

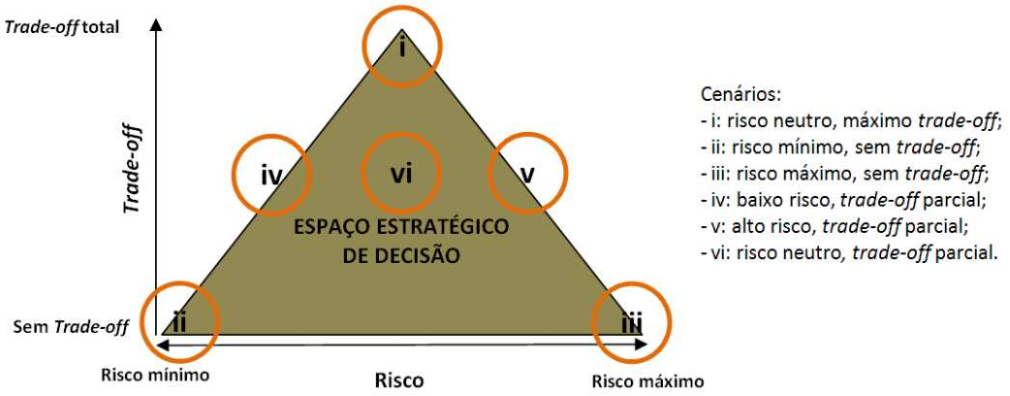

Figura 20 - Localização dos seis cenários de vulnerabilidade no espaço estratégico de decisão. Fonte: Ramos e Mendes (2001), (Adaptado: Valter Martins, 2010).

A vantagem em traçar seis cenários de vulnerabilidade por *objectivo* decorre da possibilidade de não se restringir somente aos pesos de estimação atribuídos aos *factores*, mas por introduzirem-se os pesos de ordenação na combinação dos *critérios*, permitindo explorar a importância dos *factores* no processo de combinação. Este capítulo visa a justificar o cenário de vulnerabilidade apropriado a cada *objectivo* de 1º nível e à interpretação dos respectivos resultados, sendo as tabelas síntese dos cenários gerados para cada *objectivo* consultáveis no Anexo 4, enquanto o Anexo 5 apresenta as imagens dos cenários não seleccionados para cada *objectivo*.

No 1º nível, *objectivo* População (P), admite-se um cenário de alto risco e *trade-off* parcial entre os *factores* de vulnerabilidade (Figura 21 – P cenário v), optando-se por atribuir maior peso de ordenação aos *factores* de 2º nível que já de si possuem maior peso de estimação. O cenário seleccionado não atribui uma importância excessiva aos *factores* de maior importância relativa (estrutura etária e dimensão das famílias clássicas), e de certo modo não sobrevaloriza um *factor* de importância reduzida, a população segundo o género. Neste cenário a vulnerabilidade varia entre 20 e 227, para um valor médio de 130, ou seja, em termos médios a vulnerabilidade associada ao *objectivo* População é moderada. Na Figura 21 é visível a variação da escala de vulnerabilidade do *objectivo* População, sendo identificados valores mais elevados nas subsecções situadas nos limites oriental e ocidental da freguesia de Ponta Garça, em algumas subsecções de Ribeira das Taínhas, no centro histórico de S. Miguel e nas subsecções localizadas nos núcleos populacionais a norte da freguesia de Água de Alto.

No *objectivo* Socioeconómico (SE) é adoptado um cenário de alto risco e *trade-off* parcial entre os *factores* de vulnerabilidade. Neste cenário o maior peso de ordenação é atribuído ao factor taxa de analfabetismo (SE2), *per si* o factor de maior importância na vulnerabilidade acoplada ao *objectivo* SE. O segundo peso mais elevado de ordenação é atribuído ao segundo *factor* mais importante, o índice de dependência potencial (SE1) e assim sucessivamente, até ao último *factor* de vulnerabilidade. É um cenário de pleno equilíbrio evitando a subvalorização e a sobrevalorização dos *factores* de vulnerabilidade, de acordo com a sua importância no contexto socioeconómico. A vulnerabilidade associada a este cenário é compreendida na escala entre 28 e 136, sendo a média de 67,1 (reduzida). Na análise da distribuição espacial da vulnerabilidade (Figura 21 – SE cenário V), identificam-se casos esporádicos de vulnerabilidade moderada em Água de Alto e Ponta Garça, pese embora quase imperceptíveis.

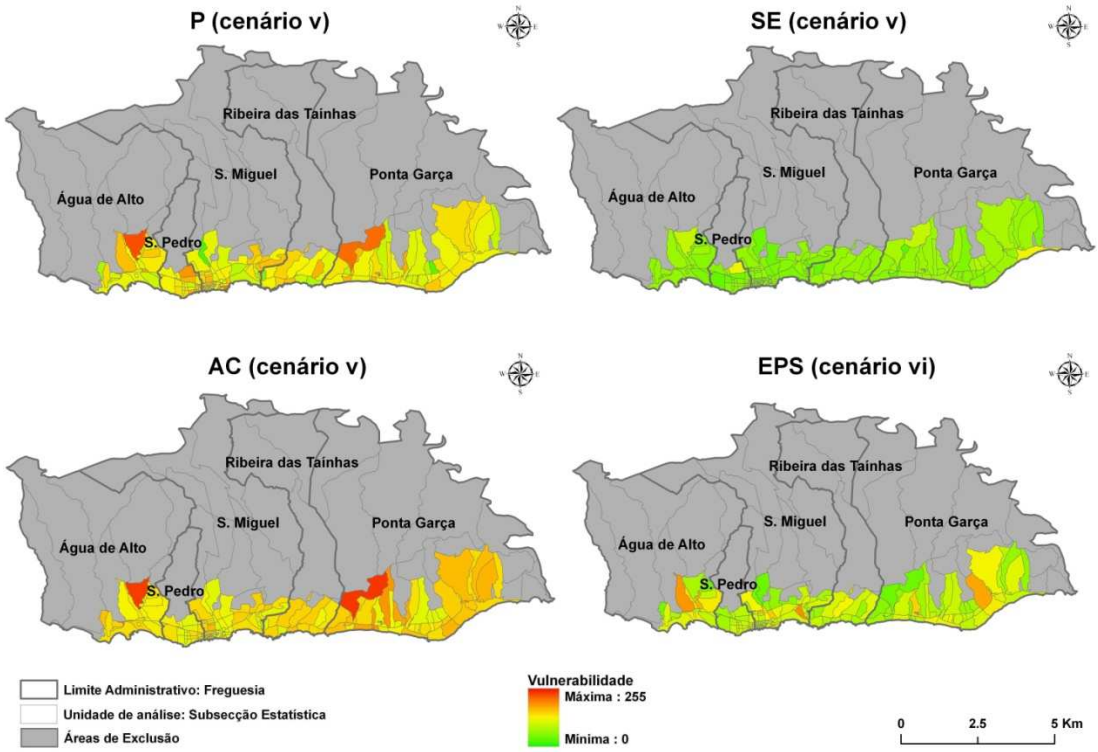

Figura 21 - Imagens de 1º nível, derivadas da combinação dos *critérios* de vulnerabilidade de 2º nível. As imagens representam os cenários seleccionados no interior do espaço estratégico de decisão.

No *objectivo* de 1º nível Ambiente Construído (AC) opta-se por um cenário de alto risco e *trade-off* parcial entre os *factores* de vulnerabilidade. Neste cenário o peso de ordenação com valor mais elevado é atribuído ao *factor* de maior importância para a vulnerabilidade, neste caso o tipo de estrutura de construção dos edifícios (AC2). Assim, admitem-se compensações parciais entre os *factores* evitando a sobrevalorização da vulnerabilidade, mas atribuindo naturalmente maior importância aos *factores* que conferem maior vulnerabilidade no *objectivo* Ambiente Construído (época e tipo de estrutura de construção dos edifícios). Os valores de vulnerabilidade do *objectivo* AC são superiores aos dos dois *objectivos* já analisados, identificando-se um valor mínimo de 85 e valor máximo de 241, para um registo médio de 142,5. Na Figura 21 (AC – cenário v) é perceptível que os tons de vulnerabilidade neste objectivo são mais acentuados do que os *objectivos* anteriores, num cenário idêntico (v). A nível espacial identificam-se subsecções de vulnerabilidade moderada e elevada nas áreas este e oeste de Ponta Garça, na generalidade da freguesia de Ribeira das Taínhas, limite este de S. Miguel e nas subsecções a oeste de Água de Alto.

Relativamente ao *objectivo* Exposição ao Perigo Sísmico (EPS) é adoptado um cenário de risco neutro e *trade-off parcial* entre os *factores* (Figura 21 – EPS cenário vi). Este cenário é o indicado à ilustração da vulnerabilidade do *objecto* EPS, dado que os *factores* possuem

uma importância relativa no qual prima o equilíbrio entre si, e desse modo os pesos de ordenação devem seguir a mesma tendência evitando criar discrepâncias acentuadas entre os *factores*. A vulnerabilidade geral encontra-se balizada entre 40 e 190, para um registo médio de 100 (reduzido), sendo que na Figura 21 identificam-se algumas subsecções com valores mais acentuados, nomeadamente em Ponta Garça, Água de Alto, e S. Miguel.

4.3.3.3. Critérios de Decisão de 1º Nível

O processo de avaliação da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico encerra com a combinação dos quatro *objectivos* da estrutura hierárquica que decompõe a vulnerabilidade num princípio multidimensional. A combinação dos *critérios* de 1º nível compreende um cenário de risco neutro e máximo *trade-off*, na medida em que não existem pressupostos teóricos para privilegiar qualquer um dos *objectivos*.

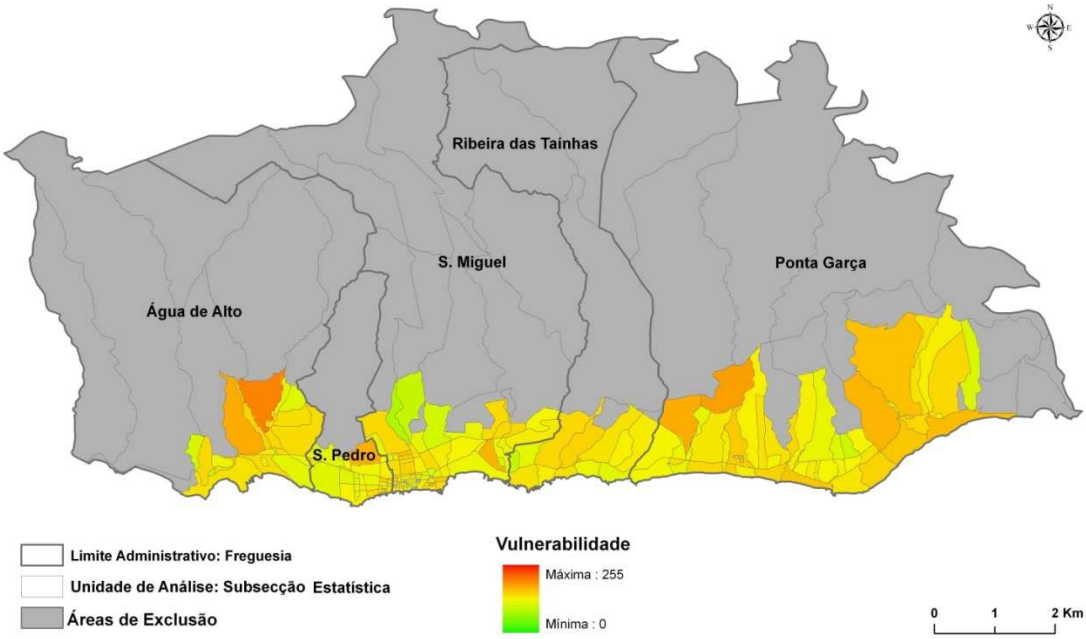

Figura 22 - Mapa final de vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico, derivado da combinação dos *critérios* de 1º nível.

Os valores de vulnerabilidade geral variam entre 71 e 197, ou seja, não existem subsecções de vulnerabilidade muito reduzida e muito elevada. Em termos médios a vulnerabilidade é de 133, o que confere uma vulnerabilidade moderada ao nível da subsecção no concelho de Vila Franca do Campo. Na Figura 22 identifica-se que os valores mais elevados de vulnerabilidade são registados na maioria das subsecções de Água de Alto, nos limites oriental e ocidental de Ponta Garça e pontualmente em S. Miguel, S. Pedro e Ribeira das

Taínhas. Pelo contrário, os valores mais reduzidos localizam-se na larga maioria das subsecções da área ocidental de S. Pedro e na zona central da freguesia de S. Miguel.

4.4. SÍNTESE

O capítulo IV da dissertação propôs a modelação da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico no concelho de Vila Franca do Campo com recurso à AMC, dado que este método é composto por várias técnicas que se distinguem pela eficiência e transparência, na identificação, selecção e estruturação dos *critérios* de decisão num processo de apoio à tomada de decisão (Malczewski, 1999).

Na fase inicial de implementação da AMC ao objecto de estudo, definiu-se a estrutura hierárquica do modelo de vulnerabilidade ao risco sísmico, sendo composta por tês níveis de abstracção, sendo que no 1º nível identificam-se os quatro *objectivos* multidimensionais de análise à vulnerabilidade. O 2º nível é constituído por 16 *factores*, enquanto o 3º nível compreende 23 *factores* e, por fim, definiu-se um *factor* de *exclusão*. Na fase seguinte procedeu-se ao geoprocessamento e normalização dos factores, seguindo-se a avaliação do peso dos *factores* de vulnerabilidade com base no método AHP, de modo a determinar a importância relativa dos *factores* entre si. A etapa crítica do processo compreende a introdução das regras de decisão no processo de avaliação através do método OWA. Neste método combinaram-se os *critérios* através de médias ponderadas ordenadas, com a inclusão dos pesos de estimação e de ordenação e, igualmente, do *factor* de exclusão.

Após a implementação da AMC na análise de vulnerabilidades socioecológicas ao risco sísmica, importa reter a vulnerabilidade associada aos quatro *objectivos* do 1º nível da estrutura hierárquica e os resultados decorrentes da combinação dos quatros *objectivos*. Relativamente ao 1º nível, o objectivo Ambiente Construído regista os valores de vulnerabilidade mais elevados, seguido dos *objectivos* População e Exposição ao Perigo Sísmico, enquanto o *objectivo* Socioeconómico possui os valores de vulnerabilidade mais reduzidos dos quatro *objectivos*. Finalmente, no que se refere à vulnerabilidade ao risco sísmico após a combinação dos quatro *objectivos* de cariz multidimensional, existe o predomínio da vulnerabilidade moderada na generalidade das subsecções, identificando-se subsecções de vulnerabilidade elevada em subsecções das freguesias de Água de Alto, Ponta Garça, S. Miguel e Ribeira das Taínhas, enquanto na freguesia de S. Pedro predominam os valores de vulnerabilidade reduzida.

CAPÍTULO V – SIMULAÇÃO DA EVOLUÇÃO DAS ÁREAS URBANAS NO CONCELHO DE VILA FRANCA DO CAMPO

5.1. APRESENTAÇÃO

O capítulo V da dissertação visa a modelação da evolução das áreas urbanas no concelho de Vila Franca do Campo, através da implementação de um modelo LUCC, o Geomod. Sendo um território exposto ao perigo sísmico e com um registo histórico de desastre marcante, importa ponderar a evolução e o ritmo de expansão das áreas urbanizadas no concelho, sendo igualmente indispensável considerar a acção regulatória dos IGT em vigor no concelho vilafranquense no crescimento planeado e ordenado das áreas urbanas.

O presente capítulo encontra-se organizado em duas componentes. A primeira, de cariz teórico, visa suportar os procedimentos metodológicos a desenvolver na segunda parte do capítulo V. Assim, no ponto 5.2 e respectivos subcapítulos, introduzem-se os princípios teóricos subjacentes ao desenvolvimento de modelos LUCC, explicitando os pressupostos associados aos AC, as técnicas de validação dos modelos LUCC e, por fim, abordando as principais características e requerimentos do método a implementar na modelação das áreas urbanas de Vila Franca do Campo, o modelo Geomod. A partir do ponto 5.3, são descritos os procedimentos operacionais para a análise da evolução das áreas urbanas em Vila Franca do Campo no período entre 1994 e 2005 e na simulação de um cenário de evolução das áreas urbanas para o ano de 2020.

5.2. MODELOS DE ALTERAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (LUCC)

A expansão das áreas urbanas é um fenómeno que se desenvolve à escala global, não evidenciando quaisquer sinais de abrandamento, inclusivamente nos países ou regiões do globo nos quais o crescimento populacional se encontra estabilizado (Clarke *et al*., 1997). De acordo com Tenedório *et al*. (2006), as mudanças que se desenvolvem nos usos do solo derivam de factores políticos, económicos, da gestão dos territórios e, finalmente, associados ao comportamento humano.

Independentemente da escala geográfica, a expansão urbana é causadora de impactes nos territórios, dado alterar a natureza das paisagens, induzir perturbações no ambiente (os recursos naturais são suprimidos pela expansão dos territórios artificializados) e nos

ecossistemas (Oguz *et al*., 2007; He *et al*., 2008). Perante o paradigma vigente, e de acordo com Verburg *et al*. (2004), os modelos LUCC assumem-se como ferramentas preponderantes na análise das causas e consequências da transformação dos usos do solo, permitindo compreender o funcionamento dos sistemas de uso do solo e consequente suporte das políticas de gestão, planeamento e ordenamento dos territórios. Tenedório *et al*. (2006) resumem a importância dos modelos LUCC a quatro vertentes: i) identificar os mecanismos que desencadeiam as alterações do uso do solo e as variáveis que lhes suportam; 2) elaborar a previsão de futuros impactos (económicos e espaciais) em consequência das alterações verificadas; 3) estimar o contributo das políticas alternativas de gestão no desenvolvimento dos padrões espaciais; 4) conceber planos regulatórios de uso do solo (IGT) procurando a optimização dos padrões de uso do solo adequados ao equilíbrio sustentável dos territórios.

Nos últimos 30 anos, os modelos LUCC registaram um avanço proeminente na compreensão dos processos espaciais na génese do crescimento urbano, devido à introdução dos AC nestes modelos (Berling-Wolff e Wu, 2004; He *et al*., 2008). Importa reter, no entanto, que os modelos LUCC possuem um registo evolutivo histórico. De acordo com Almeida (2004) *in* Pinto (2008), é possível demarcar três períodos na evolução dos modelos LUCC, o inicial, em que predominam os modelos não dinâmicos, um segundo período, no qual surgem os modelos dinâmicos não espaciais e, por fim, o período actual, no qual se verifica o predomínio dos modelos dinâmicos espaciais.

As primeiras contribuições dos métodos quantitativos para a compreensão dos processos associados ao crescimento urbano remontam aos primórdios do século XIX e desenvolveram-se até ao início do século XX, destacando-se a contribuição de Von Thunen, através da teoria dos anéis concêntricos do uso do solo agrícola para um mercado central, de Webber com o modelo triangular clássico da localização industrial, e o modelo dos lugares centrais desenvolvido por Christaller (Clarke *et al*., 1997).

Nas décadas de 50 e 60 do século XX, as teorias económicas neoclássicas com base na fricção do espaço, estão na génese de alguns modelos urbanos, como a teoria do equilíbrio espacial de Alonso (He *et al*., 2008). Segundo os autores anteriores, os modelos de génese económica recorrem à regressão econométrica e às equações de diferencial para estabelecer a interacção entre os vários factores de crescimento urbano, mas revelaram-se desajustados à representação da complexidade associada ao crescimento urbano, porque

se baseavam num modelo único e simples para captar uma realidade complexa, além de serem totalmente privados de dinâmica espacial.

Na década de 80 do século XX, conhecem-se grandes avanços na modelação dinâmica espacial, com a introdução do enquadramento conceptual dos AC, cujos modelos conhecem uma disseminação universal até ao presente (Berling-Wolff e Wu, 2004). É possível identificar vários trabalhos baseados em modelos LUCC com AC incorporados, nomeadamente por Clarke *et al*. (1997), que determinaram a expansão urbana histórica da Baía de São Francisco (Califórnia, EUA) no período entre 1900 e 1990. He *et al*., (2008), simularam a expansão urbana da capital da R.P. da China, Pequim, para o ano de 2015, identificando uma forte expansão urbana motivada pelo aumento da população e desenvolvimento económico, colocando em causa, o desenvolvimento sustentável da cidade caso não sejam adoptadas medidas de planeamento urbanístico. Em Portugal, Silva (2002), aplicou o modelo SLEUTH para definir os cenários de crescimento urbano das duas áreas metropolitanas nacionais, Lisboa e Porto.

5.2.1. Os Autómatos Celulares: Método de Análise Espacial

O principal desafio na modelação da expansão urbana decorre da capacidade em estruturar e representar a sua evolução com base em múltiplos factores, sendo que os AC dão um contributo efectivo nesta dimensão através da capacidade de simulação e de predição (Berling-Wolff e Wu, 2004; Oguz *et al*., 2007). Embora a introdução dos AC na modelação da expansão urbana surja na década de 80 do século XX, os AC foram desenvolvidos pelo físico Stanislaw Ulam em 1940 e implementados por John Von Neumann na investigação dos sistemas auto-reprodutivos (Berling-Wolff e Wu, 2004).

Os AC são modelos dinâmicos que utilizam interacções locais para simular a evolução de um dado sistema (He *et al*., 2008) sendo que, de acordo com White e Engelen (1997), um AC convencional é constituído por quatro elementos: o **espaço** (ou grelha) das **células**; o **estado das células**; as **regras de transição;** a **vizinhança**. O espaço das células compreende o conjunto de células individuais que representam um sistema (e.g. área de estudo), sendo que cada célula representa um número finito de estados (ou condição) como, por exemplo, diferentes tipologias de usos do solo, como o florestal, o agrícola ou o urbano (He *et al*., 2008). Por sua vez, a probabilidade de mudança de condição das células deriva da função de vizinhança definida pelas regras de transição, que envolve as células da vizinhança e os factores que contribuem para a transição do fenómeno (He *et al*., 2008). No caso da

expansão urbana, os factores incorporados nas regras de transição podem referir-se às distâncias a estradas ou centro urbanos, ao declive, entre outros.

Sinteticamente, os AC são modelos que requerem à partida que o espaço de análise seja representado por uma grelha de células que podem mudar de condição à medida que o modelo interage (Oguz *et al*., 2007). A mudança do estado das células é regulada por regras de transição, estipulando assim as condições de vizinhança que podem ser encontradas antes da mudança de estado das células (Oguz *et al*., 2007).

É possível identificar vários trabalhos que, ao longo dos últimos anos, recorreram aos AC na modelação da expansão urbana (Clarke e Gaydos, 1998; Pontius *et al*., 2001; Pontius e Malanson, 2005; Oguz *et al*., 2007; Pinto, 2008; He *et al*., 2008;) com base em modelos distintos, como o SLEUTH, CA Markov e o Geomod. No entanto, a introdução dos AC na modelação da expansão de áreas urbanas enfrenta algumas limitações, nomeadamente, pela fraca capacidade em considerar as macro-escalas associadas às forças motrizes da expansão urbana (económicas, sociais, políticas), pela incapacidade de ponderar os factores em diferentes escalas espaciais de forma simultânea e, finalmente, por problemas associados à definição das regras de transição, como a selecção dos factores principais e o peso a atribuir a cada um deles (Tenedório *et al*., 2006; He *et al*., 2008).

5.2.2. Técnicas de Validação de Modelos LUCC

Os modelos LUCC requerem um mapa de uso do solo que represente o primeiro momento temporal (t=0) na predição da expansão urbana, sendo que através da simulação é gerado um mapa de uso do solo de um momento temporal subsequente (t=1) (Pontius *et al*., 2008). No entanto, é imprescindível na modelação da expansão urbana a avaliação da performance da simulação através do processo de **validação**. De acordo com a definição de Pontius e Malanson (2005), a validação é o processo que compara o mapa de uso do solo resultante da predição (t=1) com o mapa de uso do solo real (ou de referência) num momento temporal idêntico ao mapa resultante da simulação (t=1), sendo o mapa real o retrato com maior precisão (ou exactidão) relativamente ao momento t1.

À semelhança do que sucede com os modelos LUCC, o processo de validação pode ser substanciado com recurso a múltiplas técnicas, como a da precisão global. Segundo Pinto (2008), na precisão global a validação é estabelecida através da comparação da percentagem de células correctamente classificadas pelo modelo LUCC (mapa simulado)

com as do mapa real mas, de acordo com o mesmo autor, em áreas de expansão urbana modesta os valores de precisão podem ser elevados, o que não corresponderá necessariamente, a um processo de validação de elevada precisão e exactidão.

Na discussão da aplicação do índice *Kappa* na validação dos modelos LUCC, Pontius (2000) considera-o pouco ajustado às características de dinâmica espacial destes modelos, na medida em que este índice avalia a percentagem de células correctamente classificadas pela oportunidade, quando o processo de validação referente a um modelo LUCC deverá associar a precisão não apenas à quantidade de células bem classificadas mas também à localização das células correctamente classificadas. Deste modo, distinguem-se os índices cuja precisão resulta da **quantificação**, como o *Kno* e o *Khisto*, do índice que deriva da **localização**, o índice *Klocation* (Pontius 2000; Pontius *et al*., 2004; Pinto, 2008).

No caso dos índices associados à quantificação, e de acordo com Pontius (2000), o erro é calculado através da discrepância entre a quantidade de células numa categoria de uso do solo de um mapa (simulado), e a quantidade de células da mesma categoria num outro mapa (real). Segundo o mesmo autor, no caso do índice associado à localização, o erro ocorre quando a localização de uma categoria num mapa (simulado) é diferente da localização da mesma categoria num outro mapa (real).

5.2.3. Modelo Geomod: Enquadramento Metodológico

O Geomod é um modelo LUCC concebido por Robert G. Pontius em 1994, tendo sido implementado originalmente na modelação da mudança dos padrões espaciais de uso do solo na Costa Rica, em virtude da desflorestação tropical ocorrida neste país e que viria a provocar o aumento das emissões de dióxido de carbono para a atmosfera (Pontius *et al*., 2001). Actualmente, e após a revisão dos seus fundamentos originais (Pontius e Malanson, 2005), o Geomod tem sido utilizado em diversos projectos académicos (Hall *et al*., 1995; Pontius *et al*., 2001; Pontius, 2002; Pontius e Batchu, 2003; Pontius *et al*., 2003; Cabral, 2006; Pontius e Chen, 2006; Pinto, 2008), que visam a simulação das mudanças de uso do solo e a predição da expansão de áreas urbanas em diferentes locais do globo terrestre.

Os modelos LUCC distinguem-se entre si pelo conjunto de assumpções que têm acopladas, designadamente, número de categorias de uso do solo a modelar, o tipo de categorias de transição, a dependência espacial e a informação requerida (Pontius e Malanson, 2005), importando enquadrar, nesta fase, os princípios funcionais e estruturais do Geomod.

Na perspectiva funcional, o Geomod é um modelo que se desenvolve numa grelha matricial, na qual é simulada a mudança dos padrões espaciais entre duas categorias de uso do solo (e.g. urbano e não urbano), cabendo ao utilizador optar por avançar ou recuar no tempo após a indicação do momento inicial (t=0) da simulação (Pontius e Chen, 2006). Assim, o modelo requer, um mapa do momento t0 com a representação de duas categorias de uso do solo, sendo indispensável indicar o número de células pertencentes a cada categoria de uso do solo no momento final da simulação (t=1), o que ditará, a mero título exemplificativo, a diminuição da categoria não urbano e a expansão da categoria urbano. É igualmente necessário um mapa de aptidão representativo da aptidão de uma categoria de uso do solo em mudar de condição, usualmente, de não urbano para urbano (Pontius e Malanson, 2005). Os autores referem no entanto, que o Geomod não possui um método explícito para extrapolar a quantidade de células que mudam de condição entre as duas categorias de uso do solo, pois o objectivo do Geomod passa por prever a localização das células que mudam de condição e não a quantificação de células que mudam de condição.

Ao nível da dimensão estrutural, no Geomod a localização das mudanças de condição das duas categorias de uso do solo baseiam-se em quatro regras de decisão: manutenção da paisagem; estratificação regional; princípio do vizinho mais próximo (função de vizinhança); mapa de aptidão (Pontius *et al*., 2001; Pontius e Malanson, 2005). Na primeira regra, a manutenção da paisagem compreende que num processo de simulação no Geomod a transição das células ocorra apenas numa direcção, isto é, de não urbano para urbano, ou de urbano para não urbano. A título de exemplo, se simularmos a mudança de padrões espaciais com o aumento das células pertencentes à categoria urbano, o Geomod simula a transição de não urbano para urbano com o número de células pré-definidas, sendo que as células previamente urbanas mantêm a condição. O Geomod não possibilita igualmente a conversão de urbano para não urbano (Pontius e Chen, 2006). De acordo com Pontius *et al*. (2001), a segunda regra prevê a estratificação por regiões, ou seja, ao proceder à simulação da mudança de uso do solo no Geomod, o modelo permite ao utilizador inserir um mapa com as várias regiões de uma área de estudo. Após a especificação do número de células expectáveis de mudar de condição entre as duas categorias de uso do solo em cada região, possibilitar-se-á determinar os ganhos e as perdas de células por categoria, ao nível das várias regiões. Por exemplo, se considerarmos a expansão urbana num concelho, é natural a identificação de freguesias com maior ou menor expansão, dado não estarmos em presença de um fenómeno linear.

A terceira regra de transição refere-se ao princípio de vizinho mais próximo, no qual o Geomod restringe a mudança de uso do solo às células que se encontram na fronteira entre as duas categorias de uso do solo (e.g. não urbano e urbano), ou seja, partindo do princípio que o desenvolvimento de novas áreas só poderá suceder em áreas de desenvolvimento prévio. Exemplificadamente, na simulação da expansão da categoria de uso do solo urbano, a função de vizinhança apenas considera as células não urbanas na proximidade de áreas urbanas (Pontius e Chen, 2006). Por fim, no que toca à quarta regra de decisão, se simularmos a expansão de áreas urbanas, o Geomod faz a expansão em direcção às áreas não urbanas próximas, mas somente quando possuem um valor de aptidão elevado.

5.3. SIMULAÇÃO DA EXPANSÃO DAS ÁREAS URBANAS NO CONCELHO DE VILA FRANCA DO CAMPO COM RECURSO AO MODELO GEOMOD

A modelação da expansão das áreas urbanas no concelho de Vila Franca do Campo visa analisar o padrão das mudanças espaciais de uso do solo no período entre 1994 e 2005 e, num segundo plano, simular o crescimento urbano para o ano de 2020. O processo de modelação é desenvolvido em três fases, que importa decompor analiticamente.

Na primeira fase, é necessário conceber duas cartas de uso do solo para os anos de 1994 e 2005, com recurso à interpretação visual de ortofotomapas dos respectivos anos. O mapa referente ao ano de 1994 representa o momento inicial (t=0) do processo de simulação, tal como requerido no modelo Geomod, sendo que o mapa de uso do solo de 2005 visa validar o mapa resultante da simulação (t=1). Importa esclarecer que as cartas de uso do solo de 1994 e 2005, são consideradas, neste âmbito, como as cartas reais ou de referência de uso do solo no concelho de Vila Franca do Campo, enquanto os mapas resultante da simulação são designados de mapas simulados (derivam da simulação no Geomod).

No capítulo anterior, fez-se referência à quarta regra de transição do modelo Geomod, o mapa de aptidão. A segunda fase da modelação da expansão urbana compreende o desenvolvimento de um mapa de aptidão para a transição das áreas urbanas, sendo definidos cinco *factores* de aptidão e dois *factores* de exclusão. O mapa de aptidão resulta da implementação dos pressupostos metodológicos da AMC aos *factores* seleccionados.

A última fase do processo de simulação compreende as acções requeridas pelo modelo Geomod, já devidamente contextualizadas no capítulo anterior e desenvolvidas com recurso ao módulo deste modelo, presente no software IDRISI Andes®. O processo é

concluído com a validação da simulação para o ano de 2005 e a simulação do cenário preditivo para o ano de 2020 (t=2).

5.3.1. Produção dos Mapas de Uso do Solo de 1994 e 2005

A produção de cartografia temática de uso do solo para o concelho de Vila Franca do Campo é baseada na interpretação visual de ortofotomapas. A extracção de informação temática de uso do solo com recurso à interpretação visual de imagens requer do produtor a identificação das unidades de paisagem segundo a nomenclatura e a Unidade Mínima Cartográfica (UMC) definidas pelo próprio, a delimitação das unidades de paisagem com o cursor do computador e, por fim, a atribuição do código de nomenclatura às unidades de paisagem previamente identificadas (Caetano, 2008). Segundo os princípios descritos por Caetano (2008), a interpretação visual de imagens requer que o produtor seleccione a composição colorida adequada à identificação das classes de uso do solo, a chave da interpretação visual (e.g. características espectrais, textura, forma), e a escala de trabalho.

Na elaboração da cartografia de uso do solo para o concelho de Vila Franca do Campo, utiliza-se como informação geográfica de base os ortofotomapas dos anos de 1994 e 2005, propriedade da Secretária Regional da Ciência, Tecnologia e Equipamentos (SRCTE). O mosaico de ortofotomapas de 1994 possui uma escala geográfica de 1: 5000, e está georeferenciado segundo o sistema de coordenadas geográficas, São Brás UTM - Zona 26N, enquanto o mosaico de ortofotomapas do ano de 2005 se encontra à escala de 1: 5000, e georeferenciado segundo o sistema de coordenadas geográficas WGS 84 UTM – Zona 26N.

Relativamente às definições técnicas das cartas de uso do solo de Vila Franca do Campo, define-se como nomenclatura de referência o nível I do programa *Corine Land Cover* (CLC), e que inclui cinco categorias de uso do solo: 1) Territórios artificializados; 2) Áreas agrícolas e agro-florestais; 3) Áreas florestais e meios semi-naturais; 4) Zonas húmidas; 5) Massas de água (Caetano *et al.*, 2005). O nível I do programa CLC adequa-se aos objectivos da cartografia temática, dirigida à diferenciação de áreas não urbanas e urbanas. Em ambas as cartas definem-se 5 hectares como UMC e uma escala de trabalho de 1:5000.

Após a definição das especificações técnicas da cartografia temática de uso do solo, o processo tem continuidade com a interpretação visual dos ortofotomapas através do *software* ArcView® 9.3 da ESRI®. No caso dos ortofotomapas de 1994, o processo é mais complexo devido à inexistência de uma composição RGB, tornando necessária a análise

cuidada das formas, texturas e dimensões dos objectos presentes na imagem. De modo a optimizar o processo de vectorização e evitar a acumulação de erros de interpretação no ortofotomapa de 1994, é utilizada a Carta de Ocupação do Solo dos Açores (DROTRH/SRAM, 2007a) como fonte de informação auxiliar. No ortofotomapa de 2005, o processo de vectorização não levanta dificuldades dada a sua óptima resolução espacial.

Na fase seguinte, procedem-se às operações de generalização, nas quais as áreas com UMC inferior a 5 hectares são agregadas às categorias de uso do solo vizinhas, com UMC ≥ a 5 hectares. Posteriormente, as cartas de uso do solo em formato vectorial são convertidas para o modelo de dados matricial, definindo-se como resolução espacial uma quadrícula de 10 metros. Após a produção da cartografia temática de uso do solo do concelho de Vila Franca do Campo para os anos de 1994 e 2005 (Figura 23), as imagens são reclassificadas, dando origem a duas categorias de uso do solo, as áreas urbanas, que correspondem aos Territórios Artificializados, e as áreas não urbanas, que resultam da junção das Áreas Agrícolas, Áreas Florestais e Meios Semi-Naturais, Zonas Húmidas e Massas de Água (consultar Anexo 6).

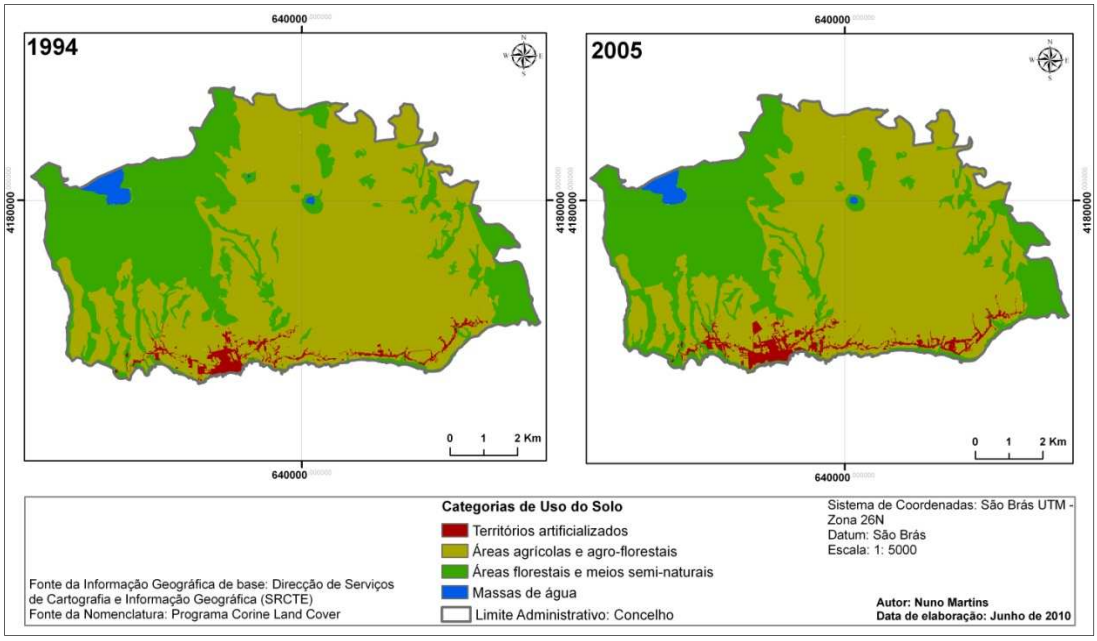

Figura 23 - Cartas de uso do solo do concelho de Vila Franca do Campo, para os anos de 1994 e de 2005.

5.3.2. Concepção do Mapa de Aptidão para as Áreas Urbanas

A evolução dos usos do solo depende de factores que se desenvolvem ao longo do tempo sendo que, de acordo com Verburg *et al*. (2004), as forças motrizes das mudanças de usos do solo decorrem de factores socioeconómicos e biofísicos. O mapa de aptidão para o concelho de Vila Franca do Campo visa a determinação da capacidade de mudança de uso

do solo não urbano para solo urbano, com base em factores *potenciadores* e *exclusionários* de transição, sendo o método utilizado na derivação do mapa de aptidão, a AMC.

A selecção dos *factores potenciadores* da mudança de uso do solo é resultante da pesquisa bibliográfica efectuada (Chen *et al*., 2002; Cabral, 2006; Pinto, 2008; Bhandari, 2010), tendo sido seleccionados cinco *factores potenciadores* (Figura 24): **distância aos eixos rodoviários principais** (Estradas regionais e municipais); **declives**; **distância ao centro urbano de 1º nível** (Ponta Delgada); **distância aos centros urbanos de 2º nível** (Ribeira Grande, Lagoa, Povoação); **distância ao centro urbano do concelho de Vila Franca do Campo**.

A distância aos eixos rodoviários principais é um *factor* definidor do grau de atractividade dos territórios na expansão de áreas urbanizadas, dado influenciar a menor ou maior acessibilidade dos indivíduos, devido ao binómio distância/tempo (Chen *et al*., 2002). O factor declive influencia os custos da construção dos edifícios (Pinto, 2008), sendo as áreas de declive vigoroso menos aptas à construção devido ao aumento dos custos associados, enquanto as áreas de declive suave possuem maior pré-disposição à construção.

A proximidade aos centros urbanos principais é um *factor* potenciador à expansão urbanística numa dada região (Cabral, 2006). Na classificação do Sistema Urbano da ilha de S. Miguel, considerada pelo Plano Regional de Ordenamento do Território dos Açores (PROTA) (DROTRH/SRAM, 1997), a cidade de Ponta Delgada é o único centro urbano de 1º Nível, sendo classificada como Centro Urbano Superior. Em Ponta Delgada localizam-se as instituições governamentais situadas na ilha de S. Miguel, sendo a cidade mais preponderante na actividade económica da ilha, sendo ainda de considerar a localização em Ponta Delgada do aeroporto Internacional João Paulo II, do porto, da Universidade dos Açores e do hospital do Divino Espírito Santo (hospital distrital).

A distância aos centros urbanos de 2º nível é relevante na dinamização dos territórios devido à acção destes centros na articulação das estruturas urbanas. De acordo com a classificação do Sistema Urbano constante no PROTA (DROTRH/SRAM, 1997), consideram-se como centros urbanos de 2º nível, os centros intermédios (Ribeira Grande) e os básicos de 1º Nível (Lagoa e Povoação). A selecção da distância ao centro urbano do concelho de Vila Franca do Campo decorre do facto da na sede de município (freguesia de S. Miguel), estar localizado o "motor" económico do concelho e os principais serviços ai prestados.

Na derivação do mapa de aptidão definiram-se dois *factores exclusionários* (Figura 24), ou seja, as plantas de condicionantes dos IGT de natureza regulamentar em vigor na área de

estudo, o Plano Director Municipal (PDM) e o Plano de Ordenamento da Orla Costeira (POOC) da Costa Sul da ilha de S. Miguel e as áreas construídas no ano de 1994. A derivação das plantas de condicionantes dos IGT (Anexo 7), enquanto *factor* de *exclusão*, visa determinar a sua preponderância nos padrões e ritmos de evolução dos usos do solo no concelho de Vila Franca do Campo e aferir a importância destes no crescimento urbanístico planeado e ordenado do concelho. No que se refere às áreas construídas em 1994, é considerado um *factor exclusionário* na medida em que não poderá simular-se a expansão urbana em áreas já previamente construídas.

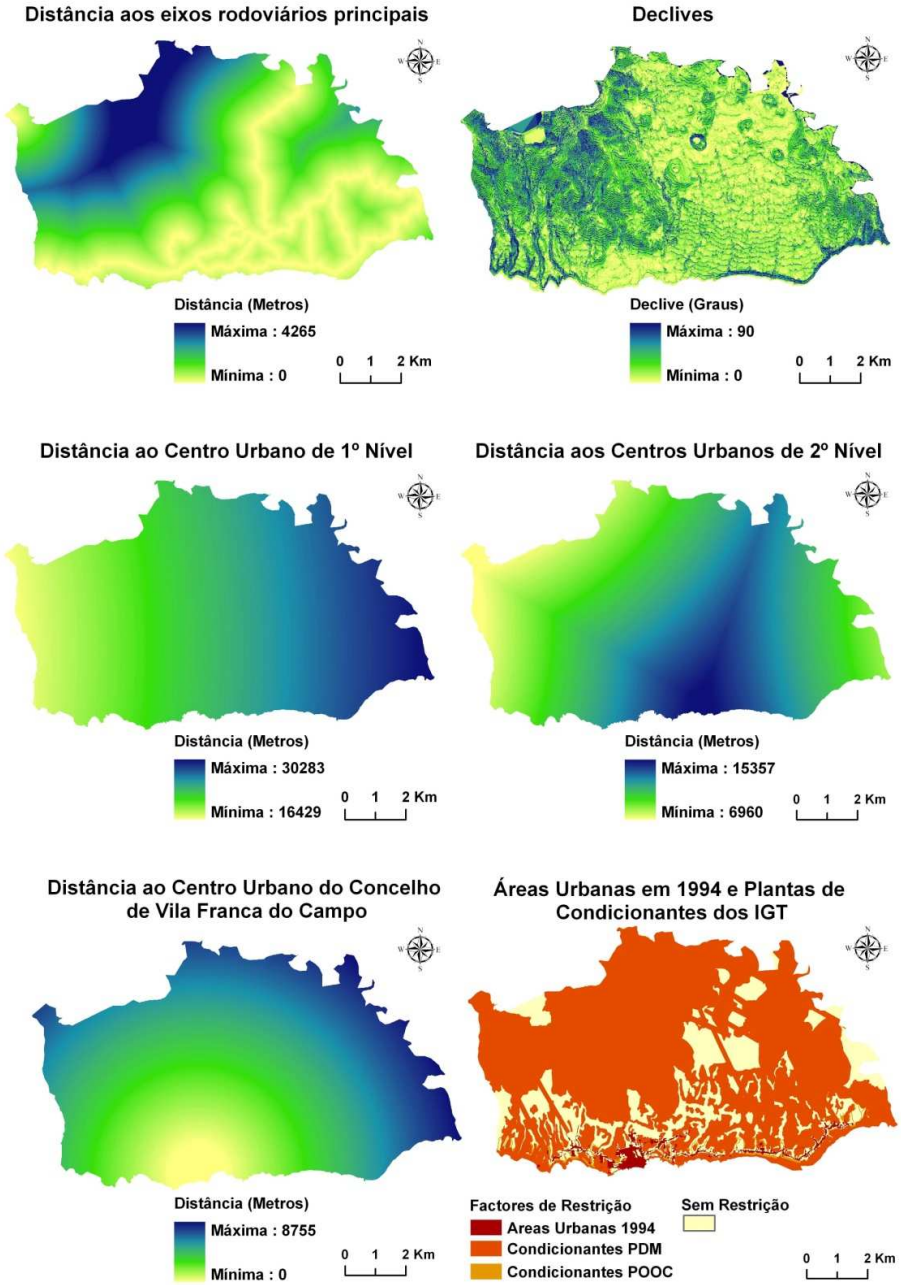

Figura 24 - *Factores* potenciadores e *exclusionários* para a derivação do mapa de aptidão de uso do solo urbano.

Após a definição dos *factores* potenciadores e *exclusionários* de aptidão, e de acordo com os princípios da AMC (Malczewski, 1999), os *factores* potenciadores são sujeitos à normalização, sendo o processo sintetizado na Tabela 4.

Factor	Função de normalização	Pontos de Controlo	Descrição
Distância aos eixos rodoviários principais	Sigmoidal Decrescente	50 – 500 m	É definido o valor 50 metros para admitir a máxima aptidão dos 0 metros aos 50 metros, sendo que a aptidão diminui significativamente entre os 50 e os 500 metros. A partir dos 500 metros a aptidão é mínima.
Declives	Sigmoidal Decrescente	5 – 10 graus	Considera-se que as áreas com declives entre 0 e 5 graus têm a aptidão máxima para transitarem para áreas urbanas, sendo que entre 5 a 10 graus a aptidão diminui de forma acentuada. A partir dos 10 graus a aptidão é mínima.
Distância ao centro urbano de 1º nível	Sigmoidal Decrescente	22 – 30 km	Ponderando apenas a distância à cidade de Ponta Delgada a partir do interior da linha de fronteira do concelho de Vila Franca do Campo, define-se que entre os 17 a 22 quilómetros a aptidão é máxima, diminuindo gradualmente entre os 22 a 30 quilómetros, sendo a aptidão mínima a partir desse valor.
Distância aos centros urbanos de 2º nível	Sigmoidal Decrescente	10 – 14 km	É atribuída máxima aptidão aos valores situados entre os 7 a 10 quilómetros, diminuindo ligeiramente entre os 10 a 14 quilómetros, valor a partir do qual a aptidão atinge valores mínimos.
Distância ao centro urbano do concelho de Vila Franca do Campo	Sigmoidal Decrescente	2,5 – 6 km	Na distância ao centro urbano de Vila Franca do Campo entre os 0 a 2,5 quilómetros, a aptidão é máxima e varia gradualmente, enquanto no intervalo entre os 2,5 e 6 quilómetros diminui substancialmente, tornando-se mínima após os 6 quilómetros.

Tabela 4 – Critérios de normalização dos *factores* potenciadores de aptidão para o uso do solo urbano.

Na etapa seguinte, é imprescindível avaliar o peso dos *factores* potenciadores de aptidão com recurso ao método AHP (Saaty, 1980). Mediante o processo de avaliação, os declives e a distância ao centro urbano do concelho de Vila Franca do Campo possuem em uníssono, o peso mais elevado para a aptidão (0,3523), seguidos pelo *factor* distância ao centro urbano de 1º nível (0,1680). Os *factores* distância aos eixos rodoviários (0,0800) e distância aos centros urbanos de 2º nível (0,0475) possuem menor importância para a aptidão, enquanto o índice de consistência calculado no processo de estimação é de 0,05.

O processo de avaliação da aptidão é concluído com a combinação dos *critérios* de aptidão, implementando-se os pressupostos teóricos do método OWA (Yager, 1988). Desenvolvem-se seis cenários de aptidão no espaço estratégico de decisão (Figura 20), optando-se por um cenário de risco elevado e *trade-off* parcial entre os *factores* potenciadores de aptidão, na medida em que se atribui maior peso de ordenação aos *factores* que durante a fase de estimação se revelaram de maior importância.

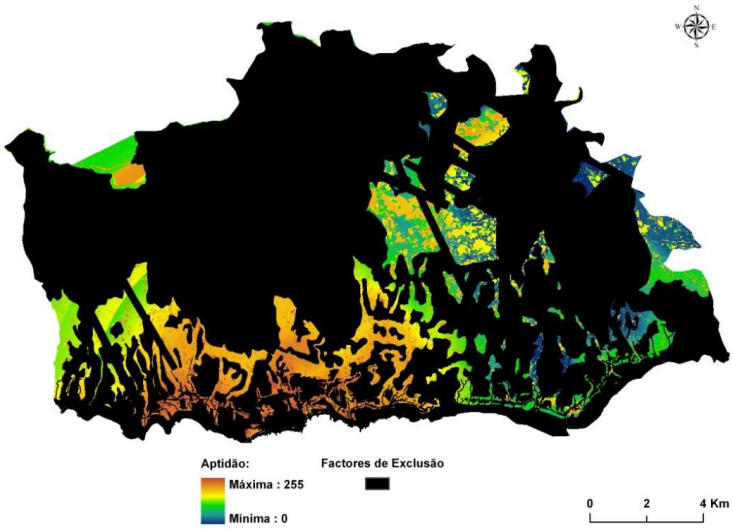

Figura 25 - Mapa de aptidão para a passagem de uso do solo não urbano para urbano, no concelho de Vila Franca do Campo.

Na Figura 25 é visível que os valores de aptidão são mais elevados nas áreas localizadas nas freguesias de S. Miguel e S. Pedro, estando mais próximas do centro urbano do concelho e dos centros urbanos de 1º e 2º nível e possuindo também declives suaves. As parcelas de território localizadas em Água de Alto, Ribeira das Taínhas e Ponta Garça, possuem valores de aptidão mais reduzidos por comparação com S. Miguel e S. Pedro, essencialmente pela maior distância ao centro urbano do concelho e aos centros urbanos de 1º e 2º nível.

5.3.3. Validação e Desenvolvimento dos Cenários de Expansão Urbana

O processo de simulação da expansão urbana no modelo Geomod requer a especificação obrigatória do tempo inicial e final da simulação, do número de células que mudam de condição e da função de vizinhança. Não se procede à estratificação regional dado ser uma função de cariz opcional por parte do utilizador (Pontius e Chen, 2006).

No modelo de expansão urbana do concelho de Vila Franca do Campo, o mapa de uso do solo de 1994 (real) é definido como momento inicial da simulação, enquanto o ano de 2020 (mapa simulado) corresponde ao momento final. O número de células que transitam de condição é determinado em função do método mais aplicado no Geomod, a extrapolação linear simples (Pontius e Malanson, 2005), utilizando-se como referência o número de células que mudaram de condição no período entre 1994 e 2005 (mapas de uso do solo reais). Deste modo, no caso do mapa simulado de 2005, utiliza-se o número de células que mudam de condição nesse período, enquanto no cenário para 2020, o número de células baseia-se no método de extrapolação linear simples. Relativamente à função de vizinhança,

é definida uma largura de busca de 5 por 5 células, ou seja, uma célula é candidata a mudar de condição se na busca de 5 por 5 células forem abrangidas células com as duas condições de uso do solo, não urbano e urbano (Pontius e Chen, 2006).

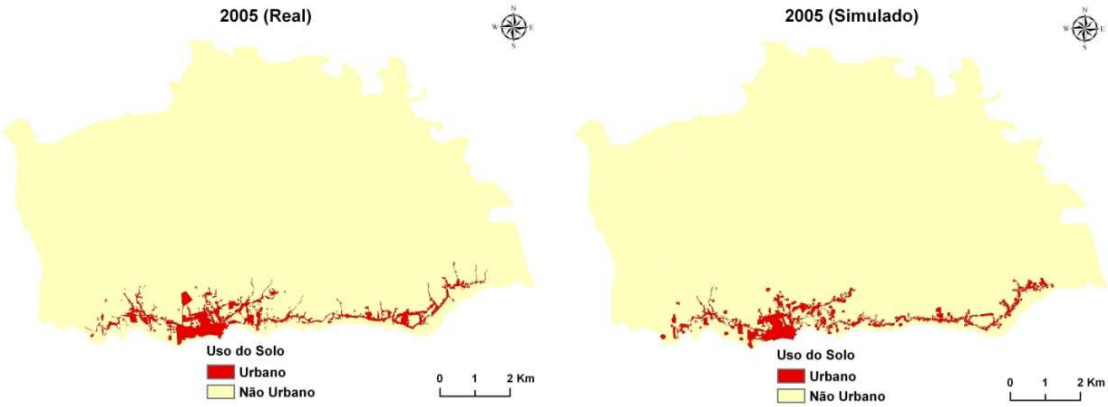

Figura 26 - Mapas de uso do solo não urbano e urbano no concelho de Vila Franca do Campo, referentes ao ano de 2005 (do lado esquerdo o mapa real e do lado direito o mapa simulado).

A Figura 26 apresenta os mapas de uso do solo (não urbano e urbano) referentes ao ano de 2005 (em grande escala no Anexo 8), sendo importante realçar que na interpretação visual de ambas as imagens é notória a similaridade entre o mapa de referência (real) e o mapa decorrente do processo de simulação no Geomod. De acordo com Pontius *et al*. (2004), a forte correlação visual entre o mapa de referência e o mapa simulado não significa que o modelo seja competente no processo de simulação, sendo necessária a aplicação das técnicas de validação associadas à quantificação e à localização das células bem classificadas, já previamente contextualizado no capítulo 5.2.2.

Na validação do mapa de uso do solo de 2005, decorrente da predição no Geomod, é utilizado o mapa real de uso do solo de 2005, sendo que os índices referentes à quantificação de células bem classificadas, *Kno* e *Khisto*, obtêm um valor de 0,973 e 0,961, respectivamente. No caso do índice que avalia a localização das células bem classificadas, o *Klocation*, é registado um valor de 0,964. De modo a completar o processo de validação, opta-se por proceder à avaliação das alterações multitemporais (Pontius *et al*., 2004; Pontius e Chen, 2006; Pinto, 2008), dos mapas reais de uso do solo, referente aos anos de 1994 e 2005. Neste cenário de validação, os índices Kno e Khisto registam valores de 0,975 e 0,965, enquanto o índice Klocation, obtêm um valor de 0,980. Importa mencionar que na avaliação das alterações multitemporais os índices apresentam valores elevados de exactidão, mas se atentarmos à Figura 23 (e o Anexo 6), é visível que entre 1994 e 2005 houve uma dinâmica notória de expansão da categoria dos Territórios Artificializados

(correspondente ao Uso do solo Urbano), ou seja, é necessária a devida prudência ao considerar aos valores calculados durante a implementação das técnicas de validação.

A inexistência de um método universal para a validação dos modelos LUCC aceite pela comunidade científica (Pontius *et al*., 2004) e a similaridade visual entre o mapa real e simulado de 2005, aliado aos bons valores de exactidão no processo de validação destes, levam à aceitação do cenário de crescimento urbano do concelho de Vila Franca do Campo para o ano de 2020 (Figura 27). No entanto, e mediante as limitações já referidas, importa sublinhar que o cenário para o ano de 2020 trata-se de um exercício de cariz preditivo, sendo necessária toda a prudência na análise dos resultados gerados.

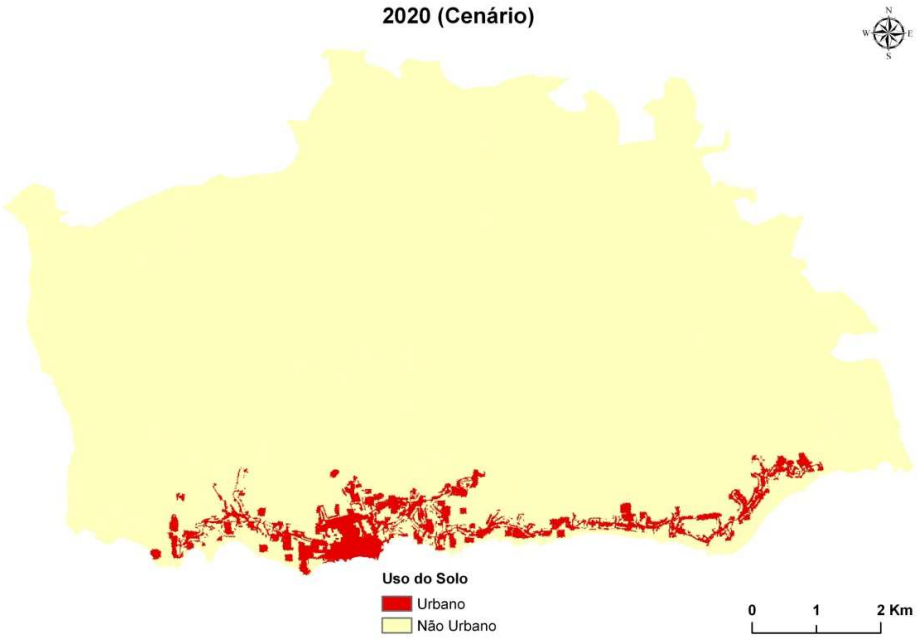

Figura 27 - Cenário de evolução de uso do solo (não urbano e urbano) para o ano de 2020.

O cenário de crescimento de áreas urbanas para 2020 prevê a expansão continuada das áreas urbanizadas no concelho de Vila Franca do Campo, tendência já verificada nos mapas reais de uso do solo referentes aos anos de 1994 e 2005 (Anexo 6). De acordo com os dados relativos à área territorial ocupada pelas categorias de uso do solo não urbano e urbano (Tabela 1), no período entre 1994 e 2005 dá-se a expansão dos territórios de uso do solo urbano, sendo que em 1994 esta categoria ocupava 1,9% do território, passando a ocupar 3% em 2005, o que representa uma taxa de variação de 35,6%.

Segundo o cenário de crescimento urbano para 2020, o uso do solo urbano ocupará 3,3% do território, ou seja, a expansão das áreas urbanas é mais modesta no período compreendido entre 2005 e 2020 do que entre 1994 e 2005. Julga-se que a situação anterior decorre do papel dos IGT em vigor no concelho, em particular do PDM, que

permite a expansão urbana no perímetro definido como perímetro urbano e áreas urbanizáveis. A diminuição do ritmo de crescimento no período entre 2005 e 2020 ocorre devido à impossibilidade de expansão urbana nas áreas territoriais sujeitas às condicionantes dos IGT, daí que a taxa de variação nesse período, seja de 10,8%. Importa salientar a acção do POOC, dado que a expansão de áreas urbanas entre 2005 e 2020 (ver Figuras 26 e 27) ocorre em direcção às áreas interiores e não em direcção às zonas litorais.

Uso do Solo	Área	1994 (Real)	2005 (Real)	2020 (Cenário)
Não Urbano	Hectares	7639,5	7556,6	7528,3
	Proporção (%)	98,1	97,0	96,7
Urbano	Hectares	149,6	232,5	260,8
	Proporção (%)	1,9	3,0	3,3

Tabela 5 - Evolução da área territorial ocupada pelas categorias de uso do solo não urbano e urbano no município de Vila Franca do Campo entre 1994 e 2020.

5.4. SÍNTESE

A crescente disseminação dos modelos LUCC decorre da importância que estes instrumentos assumem na análise dos factores (demográficos, socioeconómicos, biofísicos) e consequências (ambientais, desordenamento do território) decorrentes da mudança dos padrões de uso do solo nos territórios. A incorporação dos AC na implementação dos modelos LUCC dinamizou a implementação destes modelos devido à grande capacidade de simulação e predição acoplada aos AC. Deste modo, os modelos LUCC assumem-se como instrumentos valiosos para a gestão, planeamento e ordenamento dos territórios, com base no conhecimento das mutações ocorridas em períodos anteriores.

A simulação do crescimento urbano do concelho de Vila Franca do Campo foi desenvolvida com recurso ao modelo Geomod, sendo fundamental para o processo de modelação a produção de cartografia temática de uso do solo para os anos de 1994 e 2005, a derivação do mapa de aptidão para o uso do solo urbano, com base em cinco *factores* potenciadores e dois *factores exclusionários*, e por fim, o desenvolvimento e validação dos cenários de crescimento urbano para os anos de 2005 e 2020.

Após a conclusão do processo de simulação é identificado o notório aumento das áreas urbanas no período entre 1994 e 2005 (com base nos mapas reais), correspondente a um aumento de 1,1% pontos percentuais do território ocupado por áreas urbanas. Embora o cenário para 2020 preveja a expansão das áreas urbanas entre 2005 e 2020 (0,3%), o aumento territorial conhece uma desaceleração comparativamente ao período de 1994 e 2005, devido à preponderância das plantas de condicionantes dos IGT em vigor.

CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO

O capítulo VI é dirigido à descrição dos principais resultados obtidos com a implementação dos modelos de vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico e de simulação da expansão das áreas urbanas no concelho de Vila Franca do Campo. Refere-se ainda as vantagens e limitações associadas ao desenvolvimento de ambos os modelos.

6.1. MODELO DE VULNERABILIDADE SOCIOECOLÓGICA AO RISCO SÍSMICO

A modelação da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico no concelho de Vila Franca do Campo permite uma análise em duas direcções complementares entre si. Na fase inicial da discussão a ênfase da análise é dirigida às vertentes que traçam o carácter multidimensional da vulnerabilidade (População; Socioeconómico; Ambiente construído; Exposição ao perigo sísmico) e numa segunda fase, de descrição da vulnerabilidade geral ao risco sísmico na área de estudo.

No que se refere às quatro dimensões da vulnerabilidade consideradas no modelo analítico proposto, verifica-se através da Figura 28 que a dimensão Ambiente Construído possui os valores de vulnerabilidade média mais elevada, por comparação com as restantes dimensões da vulnerabilidade. O Ambiente Construído apresenta valores de vulnerabilidade média moderada, à semelhança do que sucede com a dimensão População (na categoria de vulnerabilidade classificada por moderada os valores oscilam entre 103 e 154). As dimensões Exposição ao Perigo Sísmico e Socioeconómico primam por valores de vulnerabilidade média reduzida (categoria que abrange os valores entre 52 e 102), embora no caso da dimensão Socioeconómico saliente-se a menor vulnerabilidade desta dimensão por comparação com as restantes e que deriva das limitações associadas à sua construção.

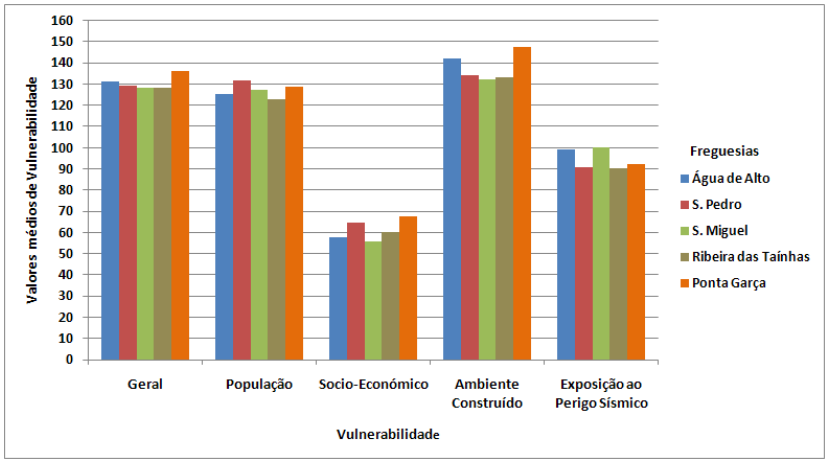

Figura 28 - Valores de vulnerabilidade geral e das dimensões associadas, por freguesia, no concelho de Vila Franca do Campo.

A especial proeminência dos valores de vulnerabilidade associados à dimensão Ambiente Construído é o reflexo dos indicadores que a descrevem, reproduzindo condignamente os traços de vulnerabilidade do edificado construído nas freguesias do município, no qual predominam os edifícios com mais de 40 anos de idade, as estruturas de construção de reduzida resistência a abalos sísmicos de grande magnitude (paredes em alvenaria argamassada e em alvenaria de pedra, adobe e taipa) e a habitação de função exclusivamente residencial. Os valores de vulnerabilidade média registados em Água de Alto e Ponta Garça evidenciam as particularidades do Ambiente Construído em ambas as freguesias, sendo que em S. Pedro, Ribeira das Taínhas e S. Miguel os valores de vulnerabilidade média nesta dimensão são mais reduzidos, embora a diferença seja pouco significativa. No entanto, importa ressalvar as naturais diferenças de vulnerabilidade da dimensão Ambiente Construído na análise por freguesia, como é ilustrado no Anexo 9. Em S. Pedro, S. Miguel e Ponta Garça é notória a variação de vulnerabilidade das subsecções no interior de cada freguesia, sendo que as subsecções menos vulneráveis correspondem às áreas de expansão urbana (edifícios de construção recente e com materiais de construção de maior resistência à actividade sísmica), enquanto as mais vulneráveis correspondem aos núcleos urbanos antigos ou às zonas históricas.

Na vulnerabilidade acoplada à População os valores médios são mais significativos em S. Pedro, Ponta Garça e S. Miguel (Figura 28), derivando essencialmente da maior proporção de famílias numerosas, da presença significativa das faixas etárias constituídas por jovens e idosos e da maior densidade populacional, sobretudo em S. Pedro e S. Miguel. As freguesias de Água de Alto e de Ribeira das Taínhas possuem ambas valores de vulnerabilidade média ligeiramente inferior às restantes, o que espelha a menor densidade populacional destas freguesias. Na análise das especificidades da vulnerabilidade por subsecção ao nível das freguesias (Anexo 10), identificam-se algumas subsecções de vulnerabilidade mais reduzida, correspondentes às áreas de expansão urbana já referidas no parágrafo anterior. Nestas áreas, a menor vulnerabilidade decorre das mudanças verificadas na estrutura sociodemográfica das populações aí residentes. Tratando-se de áreas urbanizadas recentemente, deverá imperar uma população em idade activa, com famílias de dimensão nuclear (jovens casais), contrastando com as tendências sociodemográficas típicas do concelho e respectivas freguesias.

Na Exposição ao Perigo Sísmico, é visível na Figura 28, a discrepância da vulnerabilidade média de S. Miguel e Água de Alto quando em comparação com Ponta Garça, S. Pedro e

Ribeira das Taínhas, uma vez que em S. Miguel e Água de Alto predominam os territórios artificializados contínuos (mais vulneráveis), e maior proporção de população residente, edifícios construídos e de alojamentos clássicos. Embora Ponta Garça tenha maior volume de população, edifícios e alojamentos do que a freguesia de Água de Alto, é um território de tecido urbano descontínuo, diminuindo significativamente a vulnerabilidade associada à ocupação do solo. Na análise por subsecção (Anexo 11), ao contrário do que sucede com as dimensões já analisadas, não se vislumbram variações substanciais de vulnerabilidade entre as subsecções ao nível de cada freguesia.

O domínio de maior destaque na interpretação da Figura 28 é a vulnerabilidade média reduzida da dimensão Socioeconómico, com valores muito inferiores às restantes dimensões. Ao nível das freguesias, Ponta Garça, S. Pedro e Ribeira das Taínhas são ligeiramente mais vulneráveis a nível socioeconómico do que as restantes, salientando-se a variação de vulnerabilidade inter-freguesias. Esta situação decorre das elevadas taxas de analfabetismo e do reduzido grau de instrução das populações que residem em Ponta Garça, S. Pedro e Ribeira das Taínhas, uma vez que o índice de dependência potencial e a taxa de desemprego é similar nas cinco freguesias do concelho. Na análise das subsecções por freguesia (Anexo 12), não se identificam oscilações marcantes de vulnerabilidade na vertente socioeconómica da vulnerabilidade.

A vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico resultante da combinação multidimensional da vulnerabilidade distingue a freguesia de Ponta Garça como a de vulnerabilidade média mais elevada no concelho de Vila Franca do Campo (Figura 28). As freguesias de Água de Alto, S. Pedro, S. Miguel e Ribeira das Taínhas, possuem índices de vulnerabilidade média com variações residuais entre si, sendo de realçar o facto de S. Miguel e Ribeira das Taínhas possuírem uma vulnerabilidade média idêntica. Quanto à variação de vulnerabilidade nas subsecções de cada freguesia (Figura 22), importa sobretudo reter que os valores de vulnerabilidade mais reduzidos subsistem nas subsecções de vulnerabilidade mais reduzida nas dimensões Ambiente Construído e População, cujas razões foram já analisadas.

A identificação dos traços de vulnerabilidade multidimensional e geral das freguesias do concelho de Vila Franca do Campo, aliado à exposição deste território ao perigo sísmico e o registo histórico de desastre aí vivenciado leva a concluir que é forçosa a introdução das medidas de mitigação do risco sísmico.

Em primeiro lugar, a câmara municipal de Vila Franca do Campo deverá introduzir uma política geral de planeamento e ordenamento do território que privilegie o risco sísmico (a abordagem multi-risco não é de excluir). O sucesso desta política passa inevitavelmente pela sua transposição para os IGT de natureza regulatória, nomeadamente, o PDM (actualmente em revisão – **janela de oportunidade**), os Planos de Urbanização (PU) e os Planos de Pormenor (PP). Em bom rigor, estes documentos são os pilares para a consagração da mitigação do risco sísmico na gestão e governação do território em Vila Franca do Campo, pois permitem estabelecer para o futuro a estratégia de crescimento urbano e infra-estrutural e as políticas de desenvolvimento sectorial, com a devida inclusão e consideração do risco sísmico.

A promoção de políticas gerais de mitigação do risco sísmico através do Plano Municipal de Ordenamento do Território (PMOT) possibilitará a regulação do desenvolvimento urbano de Vila Franca do Campo, sendo que a sua concretização depende de cinco acções: avaliação da perigosidade do fenómeno sísmico; identificação e definição das áreas de menor ou maior perigosidade; determinação das áreas adequadas ao desenvolvimento urbanístico; definição da localização ideal das infra-estruturas básicas de suporte (rede eléctrica; saneamento; eixos rodoviários; escolas; rede de telecomunicações, etc.); regulamentação das áreas urbanas construídas em áreas particularmente vulneráveis (Berke e Beatley, 1992).

No caso de Vila Franca do Campo, verifica-se que a vulnerabilidade associada ao edificado é particularmente elevada, sendo deste modo indispensável o reforço anti-sísmico do parque edificado existente, através da promoção de programas de reabilitação dos edifícios. Relativamente às novas construções, é necessário garantir a introdução dos códigos de construção anti-sísmica nos edifícios, mas também das infra-estruturas, uma vez que em caso de desastre a eficácia e eficiência da resposta à emergência dependerá do estado de funcionamento das infra-estruturas básicas.

Num concelho que prima pelo reduzido grau de instrução das suas gentes é importante por parte das entidades responsáveis pela gestão da emergência à escala local (Protecção Civil), a sensibilização e a formação da população residente do concelho para a eventualidade de ocorrência de actividade sísmica com carácter destrutivo. Porém, as acções de formação e sensibilização não deverão ser dirigidas exclusivamente à população mas igualmente às instituições públicas e às entidades privadas.

Importa sublinhar que a mitigação do risco sísmico não é concretizada somente e não se esgota na concepção de planos. O sucesso da mitigação do risco sísmico passa por garantir a existência de um processo continuado e permanente de **planeamento**, que envolva as instituições governamentais responsáveis pela gestão e governação do território à escala regional e local, as entidades envolvidas na gestão de emergência, os organismos com competências técnicas para avaliar o perigo sísmico e, por fim, as populações.

Nos últimos parágrafos identificaram-se vias hipotéticas de reforço da capacidade adaptativa dos sistemas. Um processo assente na reformulação das estruturas e modo de funcionamento de um sistema, designadamente ao nível da governação e gestão do território, possibilitará o incremento da resiliência das populações e das estruturas construídas, atenuando a vulnerabilidade, diminuindo o risco, e consagrando a resiliência, enquanto capital social do município de Vila Franca do Campo.

Relativamente às vantagens da AMC, esta distingue-se por possibilitar a modelação da vulnerabilidade socioecológica ao risco sísmico num princípio multidimensional, sendo um método eficiente e simples de implementar depois de assimilados os seus princípios operacionais. Após a definição da estrutura hierárquica do modelo de vulnerabilidade, a AMC permite a avaliação do peso dos *factores* de vulnerabilidade e o traçar de múltiplos cenários de vulnerabilidade no espaço estratégico de decisão. Deste modo, considera-se a AMC como um método válido e transparente para a análise das vulnerabilidades socioecológicas ao risco sísmico.

Neste caso específico é necessário salientar as limitações da AMC, relacionadas sobretudo com a qualidade da informação georreferenciada disponível (BGRI - Censos 2001). O modelo representa a vulnerabilidade de Vila Franca do Campo no ano de 2001, ou seja, uma realidade de há nove anos atrás, quando se analisa um fenómeno dinâmico e em permanente mutação. A BGRI prima igualmente pela reduzida existência de variáveis disponíveis, tornando inexequível a análise mais completa de indicadores de vulnerabilidade, nomeadamente de natureza socioeconómica. Finalmente, e embora a análise ao nível da subsecção estatística permita a decomposição pormenorizada das vulnerabilidades existentes inter-freguesias e intra-freguesia, em áreas de estudo em que as subsecções possuem frequências absolutas relativamente reduzidas, como acontece em

Vila Franca do Campo, tal poderá causar algum enviesamento no cálculo dos *factores* que constituem a estrutura hierárquica do modelo de vulnerabilidade.

Após a análise dos resultados gerados pelo modelo georreferenciado, e da referência às vantagens e limitações que lhes associam, aceita-se totalmente a primeira e a segunda hipótese de trabalho formuladas no capítulo I desta dissertação. No caso da segunda hipótese é necessário salvaguardar as limitações associadas à metodologia empregue, o que não retira a utilidade do método, mas requer a devida atenção à qualidade da informação geográfica disponível.

6.2. MODELO DE SIMULAÇÃO DA EXPANSÃO DE ÁREAS URBANAS

A análise da evolução das áreas urbanas no concelho de Vila Franca do Campo compreende duas balizas temporais, designadamente, o período balizado entre os mapas de uso do solo de 1994 e 2005 (reais), e o período entre 2005 e o cenário preditivo para o ano de 2020.

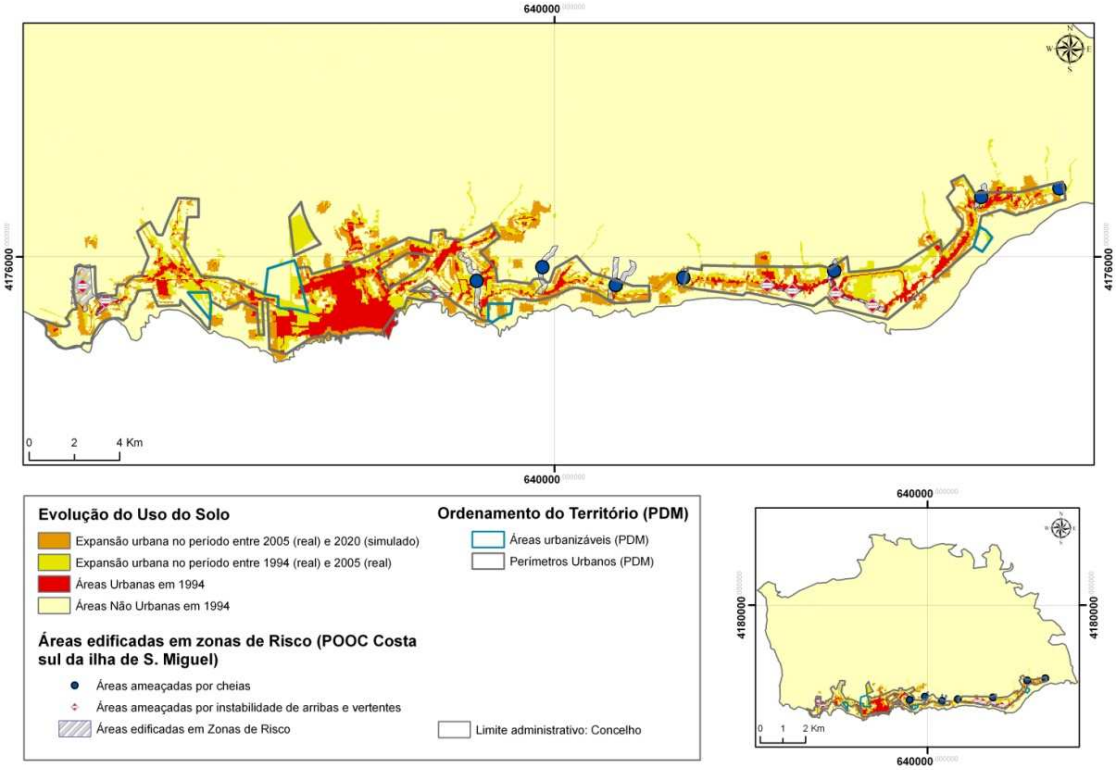

Figura 29 - Evolução do uso do solo entre 1994 e 2020 em Vila Franca do Campo, considerando o ordenamento do território (PDM) e as áreas edificadas em zonas de risco (POOC). Fonte: CMVFC, 1997a; DROTRH/SRAM, 2007c.

Na Figura 29 ilustra-se a evolução do uso do solo entre 1994 e 2020 em Vila Franca do Campo, sendo que no período entre 1994 e 2005 (mancha de tonalidade amarela escura),

identifica-se a acentuada expansão urbana nas áreas envolventes às previamente urbanizadas, sendo de realçar que o crescimento urbano se desenvolveu no interior das áreas delimitadas no PDM, como perímetros urbanos e áreas urbanizáveis. Embora no período entre 1994 e 2005 o POOC Costa Sul da ilha de S. Miguel não estivesse em vigor, a expansão de áreas urbanizadas deu-se em direcção às áreas interiores do concelho (de uso do solo agrícola e agro-florestal – Figura 23) e não em direcção à faixa litoral, devido à acção regulatória da planta de condicionantes do PDM de Vila Franca do Campo, que determina a presença de uma faixa de protecção às arribas e falésias (CMVFC, 1997b).

No período temporal entre o ano de 2005 e o cenário projectado para 2020 (mancha de tonalidade laranja - Figura 29), a expansão das áreas urbanizadas no concelho sofre uma desaceleração significativa comparativamente à evolução registada entre 1994 e 2005. É perceptível através da Figura 29 que as áreas definidas como perímetro urbano ou urbanizáveis no PDM, não possuem no município vilafranquense (sobretudo nas freguesias de S. Miguel e de S. Pedro) mais área territorial que permita a expansão das zonas urbanas, o que justifica o menor ritmo de crescimento urbano entre 2005 e 2020. No entanto, num hipotético cenário de ausência de plantas de condicionantes relativas aos IGT, certamente que os cenários preditivos iriam testemunhar um padrão de evolução urbana distinto.

Relativamente à simulação de crescimento urbano para 2020, é visível em áreas territoriais a N e a NE da freguesia de S. Miguel (Figura 29), a expansão de áreas urbanas que no período entre 1994 e 2005 registaram uma evolução residual e quase imperceptível. Julgar-se-á que esta situação decorre dos níveis de aptidão considerados nestes territórios aquando da simulação do cenário para 2020 e, deste modo, é necessária a natural prudência na análise evolutiva dessas áreas, sobretudo se atendermos que se encontram fora dos polígonos que delimitam o perímetro urbano e as áreas urbanizáveis do PDM.

No capítulo 6.1 fez-se referência à importância das políticas gerais de mitigação ao risco sísmico, e embora na Figura 29 não estejam representados elementos essenciais à compreensão do perigo sísmico na área de estudo, como as falhas geológicas, opta-se por incluir as zonas de risco consideradas no POOC Costa Sul da ilha de S. Miguel (DROTRH/SRAM, 2007b), permitindo assim, uma abordagem multi-risco. A Figura 29 procede à identificação das zonas urbanizadas em áreas de risco, designadamente, as áreas de propensão à ocorrência de cheias e à instabilidade de vertentes e arribas. Importa reter que todas estas áreas já eram territórios artificializados à data de 1994 e registaram uma

diminuta expansão urbana nas áreas envolventes no período entre 1994 e 2005, sendo que o cenário para 2020 prevê a continuada expansão sobre estas áreas.

Neste sentido, é importante focar nas políticas de mitigação do risco sísmico e, em particular, nas dirigidas à regulação do desenvolvimento urbano em áreas de risco. É necessário acautelar o zonamento do risco através da elaboração de cartas de risco, definir a localização, o tipo e a densidade de construção nas áreas vulneráveis, conceber tipologias do uso do solo em função dos riscos associados, implementar o crescimento urbanístico em *clusters* (concentrar a construção em áreas de risco reduzido), e proceder à aquisição pública de terrenos em situações de risco proeminente (Berke e Beatley, 1992).

A modelação da expansão de áreas urbanas através da implementação de modelos LUCC, neste caso o Geomod, revela-se de extrema utilidade, na medida em que permite traçar cenários preditivos da evolução dos usos do solo, e assim, analisar os ritmos e os padrões daí decorrentes. A vantagem de conceber estes modelos deriva da capacidade de estruturar os *factores* responsáveis pela mudança de condição dos usos do solo, bem como, de determinar a preponderância dos *factores* de exclusão, designadamente os IGT de natureza regulatória, na gestão, planeamento e ordenamento das áreas urbanas.

Na implementação do modelo de expansão urbana para Vila Franca do Campo, deparou-se com duas limitações na metodologia empregue. Na elaboração da cartografia temática de uso do solo relativa a 1994 não é de excluir possíveis erros de identificação dos objectos presentes nos ortofotomapas, uma vez que a inexistência de uma composição RGB dificultou a interpretação das imagens através da técnica de interpretação visual de imagens. Na validação dos cenários preditivos, geraram-se valores de validação elevados na comparação do mapa real de 2005 com o mapa simulado de 2005. Porém, na comparação dos mapas de 1994 e 2005 (reais) também foram gerados valores de validação elevados, quando são notórias as diferenças de uso do solo nesses momentos temporais, ou seja, a validação é a fase que coloca maiores dúvidas na implementação dos modelos LUCC.

Mediante os pressupostos referidos neste subcapítulo, considera-se como totalmente aceitável a terceira hipótese formulada para o desenvolvimento da dissertação, sendo que à semelhança do verificado com a segunda hipótese formulada, existem algumas condicionantes associadas às limitações dos métodos implementados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adger, W. N., 2005, Vulnerability. *Global Environmental Change*, **16**, pp. 268-281.

Adger, W. N., Hughes T. P., Folke, C., Carpenter, S. R., Rockstrom, J., 2005, Social-Ecological Resilience to Coastal Disasters. *Science*, **309**, 1036-1039.

Afonso, N., 2008, *Simulador de Cenários Sísmicos em ambiente WEBSIG*. Tese de mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Aguirre, B., 2004, Los Desastres en Latinoamérica: Vulnerabilidad y Resistencia. *Revista Mexicana de Sociologia*, **66**, 485-510.

Armas, I., 2008, Social vulnerability and seismic risk perception. Case study: the historic center of the Bucharest Municipality/Romania. *Natural Hazards*, **47**, 397-410.

Bankoff, G., 2004, The Historical Geography of Disaster: "Vulnerability" and "Local Knowledge" in Western discourse. In *Mapping vulnerability: disasters, development, and people*, editado por G. Bankoff, G. Frerks, D. Hilhorst (Earthscan Publications Ltd.), pp. 25-36.

Berke, R. P., Beatley, T., 1992, *Planning for earthquakes: risk, politics, and policy*. (Baltimore: The Johns Hopkins University Press).

Berkes, F., Colding, J., Folke, C., 2003, *Navigating social–ecological systems: building resilience for complexity and change.* (Cambridge: Cambridge University Press).

Berling-Wolff, S., e Wu, J., 2004, Modelling urban landscapes dynamics: A review. *Ecological Research*, **19**, 119-129.

Bandhari, S., 2010, *Urban Change Monitoring using GIS and Remote Sensing tools in Kathmandu Valley (Nepal).* Tese de mestrado, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa.

Birkmann, J., 2006, *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies*. (United Nations University).

Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., Wisner, B., 1994, *At Risk: natural hazards, people´s vulnerability, and disasters.* (London: Routledge).

Bolin, B., 2006, Race, Class, Ethnicity and Disaster Vulnerability. In *Handbook of Disaster Research*, editado por H. Rodriguez, E. L. Quarantelli, R. R. Dynes (Springer), pp. 113-129.

Bruneau, M., Chang, S., Eguchi, R. T., LEE, G. L., O'Rourke, T., Reinhorm, A.; Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W., Winterfeldt, D., 2003, A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake Spectra*, **19**, pp. 733-752.

Bruno, J. A., e Forjaz, V. H., 2005, *Terramoto: 1.1.80*. (Ponta Delgada: Observatório Vulcanológico e Geotérmico dos Açores).

Cabral, P., 2006, *Étude de la Croissance Urbaine par Télédétection, SIG et Modélisation: Le cas des Concelhos de Sintra et Cascais (Portugal).* Dissertação de doutoramento, École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris / Instituto Superior de Estatística e Gestão da Informação, Lisboa.

Caetano, M., 2008, *Apontamentos Teóricos da Unidade Curricular de Detecção Remota*, Graduação em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa (2008/2009).

Caetano, M., Carrão, H., e Painho, M., 2005, *Alterações da ocupação do solo em Portugal Continental: 1985-2000* (Lisboa: Instituto do Ambiente).

Câmara Municipal de Vila Franca do Campo, 1997a, [*Planta de Condicionantes: Plano Director Municipal de Vila Franca do Campo*], Escala: 1:25 000 (Ponta Delgada).

Câmara Municipal de Vila Franca do Campo, 1997b, *Plano Director Municipal de Vila Franca do Campo, Relatório da 2ª Fase, Volume 2 - Regulamento* (Ponta Delgada).

Cannon, T., 1994, Vulnerability analysis and the explanation of "natural disasters". in *Disasters, development and the environment*, editado por A. Varley (Chichester: John Wiley), pp. 13-29.

Cardona, O. D., 2004, The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective: A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management. In *Mapping vulnerability: disasters, development, and people*, editado por G. Bankoff, G. Frerks, D. Hilhorst (Earthscan Publications Ltd.), pp. 37-51.

Carvalho, E. C., Coelho, E., Campos-Costa, A., Sousa, L. S., Candeias, P., 2001, Classificação Tipológica do Parque Habitacional de Portugal Continental para o Estudo da sua Vulnerabilidade Sísmica. In Proceedings do 5º Encontro Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica (Açores: Laboratório Regional de Engenharia Civil), pp. 199-212.

Chen, J., Gong, P., He, C., Luo, W., Tamura, M., Shi, P., 2002, Assessment of the Urban Development Plan of Beijing by Using a CA-Based Urban Growth Model. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **68**, 1063-1071.

Clark Labs©, 2006, IDRISI Andes (Versão 15.0) [Software] (Worcester, MA: Clark University).

Clarke, K.C., 2003, The Limits of Simplicity: Toward Geocomputational Honesty in Urban Modeling. In proceedings *7th International Conference on GeoComputation*, GeoComputation (Ed.) (University of Southampton, UK: GeoComputation), [CD-ROM sem paginação].

Clarke, K. C., e Hopen, S., Gaydos, L. J., 1997, A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and Design*, **24**, pp. 247-261.

Clarke, K. C., e Gaydos L. J., 1998, Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *International Journal of Information Science*, **12**, 699-714.

Costa, T., Ramos, D., Pereira, Nilson., Baça, J., Fidalgo, E., 2005, Favorabilidade de terras para a agricultura familiar por meio da Análise Multicritério. *Geografia*, **14**, 5-47.

Centro de Investigação sobre a Epidemiologia dos Desastres, 2010, Emergency Events Database – Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (URL: http://www.emdat.be/advanced-search, consulta em 10-01-2010).

Cutter, S. L., 1996, Societal Vulnerability to Environmental Hazards. *International Social Science Journal,* **47**, 525-536.

Cutter, S. L., 2000, Environmental Disasters. In *Routledge International Encyclopedia of Women: Global Women's Issues and Knowledge,* editado por D. Spender (New York: Routledge), pp. 606-608.

Cutter, S. L., Boruff, B. J., Shirley W. L., (2003), Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84, 242-261.

Davidson, R. 1997, *An Urban Earthquake Disaster Risk Index*. The John A. Blume Earthquake Engineering Center, report 121, Stanford, California.

Dellica-Willison, Z., Willison, R. (2004), Vulnerability Reduction: A Task for the Vulnerable People Themselves. In *Mapping vulnerability: disasters, development, and people*, editado por G. Bankoff, G. Frerks, D. Hilhorst (Earthscan Publications Ltd.), pp. 145-158.

Direcção Regional do Ordenamento do Território e Recursos Hídricos/ Secretária Regional do Ambiente e do Mar, 1997, *Plano Regional de Ordenamento do Território dos Açores (PROTA)* (Ponta Delgada).

Direcção Regional do Ordenamento do Território e Recursos Hídricos/ Secretária Regional do Ambiente e do Mar, 2007a, [*Carta de Ocupação do Solo dos Açores*], Escala 1:15000, 1 carta ([Ponta Delgada]: DROTRH).

Direcção Regional do Ordenamento do Território e Recursos Hídricos/ Secretária Regional do Ambiente e do Mar, 2007b, *Plano de Ordenamento da Orla Costeira da Costa Sul da ilha de S. Miguel, Relatório Síntese, Volume 5* (Ponta Delgada).

Direcção Regional do Ordenamento do Território e Recursos Hídricos/ Secretária Regional do Ambiente e do Mar, 2007c, [*Planta de Condicionantes: plano de ordenamento da orla costeira: costa sul da ilha de S. Miguel*], Escala 1:15 000, (Ponta Delgada).

Direcção Regional do Ordenamento do Território e Recursos Hídricos/ Secretária Regional do Ambiente e do Mar, 2008, *O Ordenamento do Território nos Açores: Políticas e Instrumentos* (Ponta Delgada).

Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, C., Day, S., Robert, S., 2004, *Quantifying Social Vulnerability: A methodology for Identifying those at risk to natural hazards*. (URL: http://www.ga.gov.au/image_cache/GA4267.pdf, consulta em 10-02-2010).

Dynes, R. R., 1991, Social Science Research on earthquake Hazard Mitigation: Relevance for Policy and Research. In *Proceedings of International Symposium on Building Technology and earthquake Hazard Mitigation*. (Rotterdam: International Council for Building research Studies and Documentation).

Eakin, H., e Bojorquez-Tapia, L., A., 2008, Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis. *Global Environmental Change*, **18**, 112-127.

Enarson, E., Foterghill, A., Lori, P., 2006, Gender and disaster: foundations and directions. In *Handbook of Disaster Research*, editado por H. Rodriguez, E. L. Quarantelli, R. R. Dynes (Springer), pp. 130-146.

Folke, C., 2006, Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, **16**, 253-267.

França, Z., Cruz. J. V., Nunes, J. C., Forjaz, V. H., 2003, Geologia dos Açores: uma perspectiva actual. *Açoreana*, **10**, pp. 11-140.

Frutuoso, G., 1995, *Saudades da Terra - Livro IV* (Ponta Delgada: Instituto Cultural).

Gallopín, G. C., 2006, Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, **16**, 293-303.

Gaspar, J. L., Queiroz, G., Ferreira, T., 2001, Actividade sísmica e vulcânica nos Açores. *Açoreana*, **9**, 291-298.

Haddow, G., Bullock, J., Coppola, D., 2007, *Introduction to Emergency Management*. (3ª ed.) (Butterworth-Heinemann).

Hall, C. A. S., Tian, H., Qi, Y., Pontius, R. Cornell, J., 1995, Modelling spatial and temporal patterns of tropical land use change. *Journal of Biogeography*, **22**, 753-757.

He, C., Okada, N., Zhang, Q., Shi, P., Li, J., 2007, Modelling a dynamic urban expansion processes incorporations a potential model with cellular automata. *Landscape and Urban Planning*, **86**, 79-91.

Henriques, E. B., 2007, Dinâmicas recentes da demografia e do povoamento humano nos Açores. In *Atlântida*, **52**, pp. 158-173.

Hewitt, K., 1997, *Regions of Risk: a geographical introduction to disasters*. (Essex: Addison Wesley Longmann).

Instituto Geográfico Português, 2008, [*Carta Administrativa Oficial de Portugal – Limites Administrativos Oficiais*], Versão V.2008.1 (Lisboa).

Instituto Nacional de Estatística, 1991, [*Base Geográfica de Georeferenciação Espacial*], Censos 1991 – XIII Recenseamento Geral da População e III Recenseamento Geral da Habitação (Lisboa).

Instituto Nacional de Estatística, 2001, [*Base Geográfica de Georeferenciação da Informação*], Censos 2001 – XIV Recenseamento Geral da População e IV Recenseamento Geral da Habitação (Lisboa).

Kienberger, S., Lang, S., Zeil, P., 2009, Spatial vulnerability units – expert-based spatial modelling of socio-economic vulnerability in the Salzach catchment, Austria. *Natural Hazards Earth System Science*, **9**, 767-778.

Nateghi, A. F., 2000, Disasters mitigation strategies in Tehran, Iran. *Disaster Prevention and Management*, **9**, 205-212.

Nunes, J. C., 1999, *A actividade vulcânica na ilha do Pico do plistocénico superior ao Holocénico: mecanismo eruptivo e hazard vulcânico*. Dissertação de doutoramento. Universidade dos Açores, Ponta Delgada.

Nunes, J. C., Forjaz, V. H., França, Z., 2001, Principais Sismos Destrutivos no Arquipélago dos Açores - Uma Revisão. In *Proceedings do 5º Encontro Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica* (Açores: Sísmica 2001), pp. 119-131.

Nunes, J. C., Forjaz, V. H., Sousa Oliveira, C., 2004, Catálogo sísmico da região dos Açores versão 1.0 (1850-1998). In *Proceedings do 6º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica* (Guimarães: Sísmica 2004), pp. 349-358.

Nunes, J. C., 2008, Caracterização sumária da sismicidade da Região dos Açores. In *Sismo 1998 – Açores: Uma década depois*, editado por C. Sousa Oliveira, A. Costa e J. C. Nunes (Ponta Delgada), pp. 59-72.

Manyena, S. B., (2006), The concept of resilience revisited. *Disasters*, **30**, 434-450.

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

Malcezwski, J., 2006, Integrating multicriteria analysis and geographic information systems: the ordered weighted averaging (OWA) approach. *International Journal of Technology and Management*, **6**, 7-19.

Martinelli, A., Cifani, G., Cialone, G., Corazza, L., Petracca, A., Petrucci, G., 2008, Building vulnerability assessment and damage scenarios in Celano (Italy) using a quick survey data-based methodology. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **28**, 875-889.

McEntire, D., 2007, *Disaster Response and Recovery* (2nd revised ed.) (Wiley).

Medeiros, J., 2004, *Contribuição para o estudo dos ricos geológicos no concelho de Vila Franca do Campo (S. Miguel, Açores) e suas implicações em termos de planeamento e emergência*. Tese de mestrado, Universidade dos Açores, Ponta Delgada.

Mileti, D., 1999, *Disasters by design: A reassessment of natural hazards in the United States.* (Washington, DC: Joseph Henry Press).

Oguz, H., Klein, A. G., Srinivasan, R., 2007, Using the Sleuth Urban Growth Model to Simulate the Impacts of Future Policy Scenarios on urban Land Use in the Houston-Galveston-Brazoria CMSA. *Research Journal of Social Sciences*, **2**, 72-82.

Oliver-Smith, A., 2004, Theorizing Vulnerability in a Globalized World: A Political Ecological Perspective. In *Mapping vulnerability: disasters, development, and people*, editado por G. Bankoff, G. Frerks, D. Hilhorst (Earthscan Publications Ltd.), pp. 11-24.

Pinto, P., 2008, *Sistema de apoio à gestão das zonas costeiras. Aplicação de um modelo para simulação do crescimento urbano no trecho Ovar-Mira.* Tese de mestrado, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Pontius, R., 2000, Quantification Error Versus Location Error in Comparison of Categorical Maps. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **66**, 1011-1016.

Pontius, R., 2002, Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps at multiple resolutions. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **68**, 1041-1049.

Pontius, R., Agrawal, A., Huffaker, D., 2003, Estimating the uncertainty of land-cover extrapolations white constructing a raster map from tabular data. *Journal of Geographical Systems*, **5**, 253-273.

Pontius R., e Batchu, K., 2003, Using the Relative Operating Characteristics to quantify certainty in prediction of location of land cover change in India. *Transactions in GIS*, **7**, 467-484.

Pontius, R., Boersma, W., Castella, C., Clarke, K.C., Nijs, T., Dietzel, C., Duan, Z. e Fotsing, E., Goldstein, N., Kok, K., Koomen, E., Lippitt, C. D., McConnell, W., Sood, A. M., Pijanowski, B., Pithadia, S., Sweeney, S., Trung, T. N., Veldkamp, A. T., Verburg, P. H., 2008, Comparing the input, output, and validation maps for several models of land change. *The Annuals of Regional Science*, **42**, 11-37.

Pontius, R. e Chen, H., 2006, *GEOMOD Modeling - Land-Use and Cover Change Modeling*. (ClarkUniversity).

Pontius, R., Cornell, J., Hall, C., 2001, Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: application and validation for Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **1775**, 1-13.

Pontius, R., Huffaker, D., Denman, K., 2004, Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. *Ecological Modelling*, **179**, 445-461.

Pontius, R., e Malanson, J., 2005, Comparison of the structure and accuracy of two land change models. *International Journal of Geographical Information Science*, **19**, 243-265.

Quarantelli, E. P., 1994, *Preparedness and Disasters: A very complex relationship*. Preliminary Paper 209, Disaster Research Center, University of Delaware, Delaware.

Rashed, T., e Weeks, J., 2003, Assessing Social Vulnerability to Earthquake Hazards through Spatial Multicriteria Analysis of Urban Areas. *International Journal of Geographic Information Science,* **17**, 549-576.

Ramos, R., Mendes, J., 2001, Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: O caso de Valença. *Engenharia UM*, **10**, 7-29.

Rodriguez, H., e Russell, C.N., 2006, Understanding Disasters: Vulnerability, Sustainable Development, and Resiliency. In *Public Sociologies Reader*, editado por J. Blau e K. I. Smith. (New York: Rowman & Littlefield), pp. 193-211.

Rotanz, R. A., 2006, From Research to Praxis: The Relevance of Disaster Research for Emergency Management. In *Handbook of Disaster Research*, editado por H. Rodriguez, E. L. Quarantelli, R. R. Dynes (Springer), pp. 468-475.

Sarris, A., Loupasakis, C., Soupios, P., Trigkas, V., Vallianatos, F., 2009, Earthquake vulnerability and seismic risk assessment of urban areas in high seismic regions: application to Chania City, Crete Island, Greece. *Natural Hazards*, Original Paper.

Saaty, T., L., 1980, *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation* (New York and London: McGraw-Hill International Book Co.).

Silva, E. A., 2002, Cenários de Expansão Urbana na Área Metropolitana de Lisboa. *Revista de Estudos Regionais - INE*, 23-41.

Silveira, D., 2002, *Caracterização da sismicidade histórica da ilha de S. Miguel com base na reinterpretação de dados de macrossísmica: contribuição para a avaliação do risco sísmico.* Tese de mestrado, Universidade dos Açores, Ponta Delgada.

Smith, K., 1996, *Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster*. (2ª ed.) (London: Routledge).

Smit, B., Wandel, J., 2006, Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*. **16**, 282-292.

Sousa, M. L., 2006, *Risco Sísmico em Portugal Continental*. Dissertação de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Tenedório, J. A., Rocha, J., Encarnação, S., Ferreira, J. C., 2006, Modelos Geográficos e Sistemas Complexos. In *Proceedings do IX Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica* (Lisboa: ESIG 2006) [não paginado].

Teramo, A., Bottari, A., Termini, D., Bottari, C., 2005, A Methodological Approach for the Evaluation of Urban and Territorial Seismic Vulnerability. *Pure and Applied Geophysics*, **162**, 659-670.

Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A., Schiller, A., 2003, A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 4, pp. 8074-8079.

Valente, R. O. A., Vettorazzi, C. A., 2005, Comparação entre métodos de avaliação multicriterial, em ambiente SIG, para a conservação e a preservação florestal. *Scientia Forestalis*, **69**, 51-61.

Verburg, P., Schot, P., Dijst, M., Veldkamp, A., 2004, Land use change modelling: current practice and research priorities. *GeoJournal*, **61**, pp. 309-324.

Vettorazzi, C. A., 2006, *Avaliação Multicritérios, em Ambiente SIG, na definição de Áreas Prioritárias à Restauração Florestal visando à Conservação de Recursos Hídricos.* Dissertação de doutoramento, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Voogd, H., 1983, *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning* (London: Pion Ltd).

Wallenstein, N., 1999, *Estudo da história recente e do comportamento eruptivo do Vulcão do Fogo (S. Miguel, Açores): avaliação preliminar do hazard*. Dissertação de doutoramento, Universidade dos Açores, Ponta Delgada.

Wallenstein, N., Gaspar, J. L., Queiroz, G., Ferreira, T., Alves, P., 1999, *Plano Municipal de Emergência do Concelho de Vila Franca do Campo, ilha de S. Miguel* (Ponta Delgada: Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos).

White, R. e Engelen, G., 1997, Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. *Environment and Planning B: Planning and Design*, **24**, 235-246.

Yager, R. R., 1988, On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, **18**, 183-190.

Yeletaysi, S., Ozceylan, D., Fiedrich, F., Harrald, J., Jefferson, T., 2009, A framework to integrate social vulnerability into catastrophic natural disaster preparedeness planning. In *Proceedings of TIEMS 2009 Annual Conference* (Istambul), pp. 380-389.

Zêzere, J. L., Pereira, A. R., Morgado, P. 2006, *Perigos Naturais e Tecnológicos no Território de Portugal Continental*. Apontamentos de Geografia, Série de Investigação, nº19, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.

ANEXOS

ANEXO 1 – MEDIDAS E ACÇÕES DE MITIGAÇÃO DO RISCO SÍSMICO

Domínios de acção	Medidas e acções de mitigação do risco sísmico	
	Medidas	**Acções**
Formalizar uma política geral	Formalização de uma política geral com princípios orientadores do risco sísmico	Implementar um Programa político (Governo Nacional/Regional)
	Transposição dos princípios orientadores para as políticas sectoriais	Introdução dos princípios orientadores do risco sísmico nos planos sectoriais (PMOT; PP; PU).
Planeamento	Integração do risco nos planos de uso/ocupação do solo	Planificação da estratégia de expansão urbana com incorporação do risco
	Planos de mitigação do risco sísmico	Estratégia de mitigação do risco sísmico na organização territorial
	Planos de reconstrução para o pós-desastre	Planos orientadores de introdução da mitigação do risco em caso de desastre
Regulação do desenvolvimento	Zonamento do risco	Elaboração de cartas de risco
	Regulamentação da densidade urbanística em áreas vulneráveis	Definir a localização, tipo e densidade da ocupação das áreas de risco
	Matrizes de adequabilidade do uso do solo	Conceptualizar a tipologia do uso do solo em função em das propriedades geológicas (uso crítico; uso de risco elevado; uso de risco médio, etc.)
	Desenvolvimento urbanístico em clusters	Maior densidade de construção em áreas de menor vulnerabilidade, em detrimento das áreas mais vulneráveis
	Zonas especiais de estudo	Estudo pormenorizado de áreas de risco de estudo pouco aprofundado
	Recuos / Aquisição pública de terrenos	Recuo de edificação e construção em áreas de risco, e compra pública de terrenos em áreas vulneráveis
Edificado	Códigos de construção anti-sísmica	Incorporação dos códigos de construção do edificado, em particular em edifícios vitais e nas infra-estruturas básicas
	Reforço anti-sísmico do parque habitacional existente	Reabilitação introduzindo códigos de construção anti-sísmica
	Relocalização e aquisição de edifícios danificados	Evitar a reconstrução em áreas de risco, e reconstruir em áreas de menor risco
Incentivos	Bónus	Cedências ao proprietário/investidor relativamente a algumas restrições, em troca de cumprimento de outras (maior cota de construção)
	Transferência de direitos de desenvolvimento	Transferir os direitos de desenvolvimento para áreas de menor vulnerabilidade
	Infra-estruturas básicas e investimento público	Construção de infra-estruturas básicas em áreas menos vulneráveis
	Formação e sensibilização pública	Formar e sensibilizar o público, e os intervenientes na gestão do território

Tabela 1.1 - Medidas e acções de mitigação do risco sísmico. Fonte: Berke e Beatley, 1992.

ANEXO 2 – NORMALIZAÇÃO DOS FACTORES DE VULNERABILIDADE

P11 – Proporção de população residente com idade <14 anos: a proporção de população inferior a 14 anos é considerada particularmente vulnerável, dado existir uma conjuntura de dependência por parte deste grupo etário antes e após o desastre e na fase de recuperação. Adopta-se a função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 100) uma vez que a vulnerabilidade aumenta linearmente entre o intervalo de variação dos dados. O valor de 0% marca o início da variação de vulnerabilidade, sendo que atinge o limite máximo aos 100%.

P12 – Proporção de população residente com idade entre 14 e 64 anos: a maior proporção de população na faixa etária entre os 14 e 65 anos traduz-se na menor vulnerabilidade na hierarquia da estrutura populacional, dada a menor dependência desta faixa da estrutura etária. Emprega-se a função Linear Decrescente (PC C – 0; PC D – 100) dado que a vulnerabilidade diminui com a maior proporção de população na estrutura etária dos 14 aos 65 anos e aumenta com a diminuição de proporção de população residente com idade compreendida entre esta faixa etária. Deste modo, considera-se a vulnerabilidade nula quando o valor é de 100% e máxima, quando equivalente a 0%.

P13 – Proporção de população residente com idade >65 anos: a maior proporção de população idosa traduz-se numa maior vulnerabilidade desta faixa etária por razões de ordem fisiológica, mas igualmente pela situação de dependência de outrem (apoio de familiares; dificuldades de recuperação do pós-desastre; dificuldades monetárias). Opta-se pela função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 100), visto que a vulnerabilidade aumenta progressivamente a partir dos 0% e atinge o limite máximo aos 100%.

P21 – Proporção de população residente do sexo masculino: o homem é mais resistente fisiologicamente aos efeitos de um sismo e possui usualmente um estatuto socioeconómico superior ao sexo feminino e assim, quanto maior a proporção de homens, menor a vulnerabilidade. Na função Linear Decrescente (PC C – 0; PC D – 100) considera-se que a vulnerabilidade máxima situa-se nos 0% e diminui constantemente até à ausência de vulnerabilidade (100%).

P22 – Proporção de população residente do sexo feminino: a mulher é considerada mais vulnerável a um evento sísmico por motivos fisiológicos (maior fragilidade física) e quando em junção desse factor com outra condição socioeconómica (salário e situação no emprego). A maior proporção de mulheres tem correspondência a um índice de

vulnerabilidade mais elevado. Desse modo define-se a função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 100), dado que a variação da vulnerabilidade tem início nos 0% e aumenta progressivamente até à vulnerabilidade máxima (100%).

P31 – Proporção de famílias clássicas com 1 ou 2 pessoas: as famílias de dimensão reduzida representam maior vulnerabilidade pelas dificuldades de recuperação no pós-desastre. Define-se a função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 100), uma vez que a menor proporção de famílias com 1 e 2 pessoas é conferidor de menor vulnerabilidade, ocorrendo o progressivo aumento de vulnerabilidade com a maior proporção de famílias com 1 e 2 pessoas.

P32 – Proporção de famílias clássicas com 3 ou 4 pessoas: as famílias numerosas estão associadas a maior vulnerabilidade, pois potenciam um número acrescido de vítimas em caso de sismo de magnitude elevada e igualmente, pelas dificuldades na fase de recuperação no pós-desastre (mais desalojados; nova habitação com tipologia alargada; dificuldades de subsistência básicas). Adopta-se a função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 100), dado que a vulnerabilidade inicia-se na proporção de 0% e aumenta linearmente até ao valor máximo de 100%.

P33 – Proporção de famílias clássicas com 5 ou mais pessoas: as famílias de grande dimensão estão associadas a maior vulnerabilidade, pelas razões já expostas no factor anterior. Adopta-se a função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 100), pelo facto de que a vulnerabilidade inicia-se a partir da proporção de 0% e aumenta progressivamente até ao valor máximo de 100%.

P4 – Densidade populacional (Hab/Hectare): maior concentração populacional afigura uma maior vulnerabilidade da população exposta ao perigo sísmico, gerando dificuldades na resposta à emergência (busca e salvamentos; socorro; assistência hospitalar) e por potenciar um número mais elevado de vítimas mortais, feridos e desalojados. O valor máximo de vulnerabilidade corresponde ao valor mais elevado de densidade populacional ao nível da freguesia na RAA (24 Hab/Hectare - Fajã de Baixo – Ponta Delgada). Adopta-se a função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 2456), na qual, a vulnerabilidade mais reduzida tem início nos 0 Hab/Hectare, atingindo o valor máximo nos 24 Hab/Hectare.

SE1 – Índice de dependência potencial: os Índices de dependência potencial mais elevados são representativos de maior vulnerabilidade da população, pois traduz a relação de dependência da população inactiva (0-19 anos + >65 anos) relativamente à activa (20-64

anos). Este factor é importante, pois a maior dependência potencial é uma barreira à mitigação do risco sísmico e provoca dificuldades na fase de recuperação. Define-se a função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 105), sendo que o valor 0 representa a vulnerabilidade nula e o valor 105 a vulnerabilidade máxima (registado na freguesia de Rabo de Peixe).

SE2 – Taxa de analfabetismo: o baixo grau de instrução, neste caso a taxa de analfabetismo, representa um obstáculo à progressão dos indivíduos rumo a um estatuto socioeconómico mais elevado e, por outro lado, pode afigurar maior vulnerabilidade em situação de emergência, por incapacidade de interpretação dos sinais de emergência e de risco. Define-se a função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 39), no qual o valor de taxa de analfabetismo da freguesia de Rabo de Peixe (39) é considerado o patamar crítico de vulnerabilidade, sendo o valor mínimo de 0.

SE31 – Proporção de indivíduos com 1º e 2º Ciclo completo: este factor segue a linha de raciocínio do factor anterior, adoptando-se igualmente a função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 77). A única alteração prende-se com o valor máximo de vulnerabilidade, sendo que neste caso, é adoptado o valor mais elevado obtido na RAA, designadamente na freguesia de Fenais da Ajuda (77%), enquanto o valor mínimo de vulnerabilidade é de 0%.

SE32 – Proporção de indivíduos com 3º Ciclo e Ensino Secundário completo: considera-se o facto de os indivíduos possuírem o 3º ciclo e o ensino básico completo, como conferidor de maiores oportunidades de vida, com reflexo no estatuto socioeconómico dos indivíduos. Na função Linear Decrescente (PC C – 0; PC D – 43), o limiar mínimo de vulnerabilidade é definido com base nos valores deste factor para a RAA por freguesia, o que neste caso cifra-se numa proporção de 43% na freguesia de S. Pedro (Angra do Heroísmo). Assim, o valor de 43% representa a vulnerabilidade mais reduzida, aumentando progressivamente até ao valor de 0% (vulnerabilidade máxima).

SE33 – Proporção de indivíduos com Ensino Superior completo: este factor apresenta um pressuposto teórico idêntico ao factor anterior, dado que os indivíduos com formação universitária completa têm do ponto de vista teórico, maiores possibilidades de melhorarem o seu estatuto socioeconómico. Deste modo opta-se pela função Linear Decrescente (PC C – 0; PC D – 22), sendo que a diferenciação relativamente ao factor anterior decorre da fixação do valor mínimo de vulnerabilidade (22%, São Pedro – Angra do Heroísmo), que estipula a vulnerabilidade mais reduzida/nula. O valor mais elevado de

vulnerabilidade corresponde à proporção de indivíduos com ensino universitário completo igual a 0%.

SE4 – Taxa de desemprego: as taxas de desemprego mais elevadas são representativas de uma situação de fragilidade nos indivíduos (ausência de vencimento, dependência da família ou do apoio do Estado), repercutindo-se na capacidade adaptativa ao risco sísmico e inclusivamente na fase de pós-desastre. Nesse sentido, e dado o facto do limiar máximo de vulnerabilidade corresponder ao valor mais elevado registado por freguesia na RAA, opta-se pela função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 13), de modo a representar a variação linear do fenómeno. O valor 0 representa a vulnerabilidade nula, havendo o aumento da vulnerabilidade até à vulnerabilidade máxima de 13 (freguesia de Candelária – Ponta Delgada).

AC11 – Proporção de edifícios construídos anteriormente a 1919 até 1945: a maior proporção de edifícios antigos reflecte-se no aumento da vulnerabilidade, dado que são construídos em épocas não abrangidas pela introdução dos códigos de construção anti-sísmica e por possuírem estruturas e materiais pouco resistentes aos abalos sísmicos de magnitude elevada. Opta-se pela função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 100), pois a variação da vulnerabilidade dá-se entre o limite mínimo (0%) e máximo (100%), conhecendo nesse intervalo uma progressão linear.

AC12 – Proporção de edifícios construídos entre 1946 e 1985: neste factor encontram-se presentes edifícios já abrangidos pela introdução dos códigos de construção anti-sísmica, sendo edifícios correspondentes a uma época em que já eram introduzidas estruturas e materiais mais resistentes à passagem das ondas sísmicas e, desse modo, opta-se pela função Linear Decrescente (PC C – 0; PC D – 100). Considera-se que a vulnerabilidade é mínima com a maior a proporção de edifícios construídos entre 1961 e 1985 (100%), sendo que a vulnerabilidade aumenta progressivamente com a diminuição da proporção de edifícios construídos neste período temporal.

AC13 – Proporção de edifícios construídos entre 1986 e 2001: este factor segue-se o mesmo raciocínio do factor anterior. Utiliza-se a mesma função de normalização (Linear Decrescente/ PC C – 0; PC D – 100) e os valores de vulnerabilidade mínimos e máximos são idênticos.

AC21 – Proporção de edifícios com estrutura em betão: a estrutura dos materiais utilizados na construção dos edifícios é um elemento preponderante na determinação da capacidade

de resistência dos edifícios à passagem das ondas sísmicas. O betão armado é considerado um tipo de material de vulnerabilidade reduzida, optando-se desse modo pela função Linear Decrescente (PC C – 0; PC D – 0). Considera-se que o valor máximo de vulnerabilidade corresponde à menor proporção de edifícios construídos com betão (0%), sendo que a vulnerabilidade diminui linearmente até à maior proporção de edifícios construídos em betão armado (100%).

AC22 – Proporção de edifícios com estrutura em alvenaria argamassada: os edifícios construídos com paredes de alvenaria argamassada são considerados potencialmente vulneráveis aos abalos sísmicos de grande intensidade, logo, quanto maior a proporção de edifícios construídos utilizando este tipo de material, maior a vulnerabilidade. Opta-se pela função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 100), dado que a vulnerabilidade aumenta linearmente desde o patamar de proporção mínima de vulnerabilidade (0%) até à mais elevada (100%).

AC23 – Proporção de edifícios com estrutura em alvenaria de pedra, adobe e taipa: neste factor assumem-se os mesmos princípios teóricos do factor anterior, podendo apenas acrescentar-se que as paredes de alvenaria de pedra, adobe e taipa, são especialmente muito vulneráveis em áreas sismicamente activas. Assim, opta-se pela mesma função de normalização (Linear Crescente/ PC A – 0; PC B – 100) e limiares críticos (valor mínimo: 0% e valor máximo: 100%).

AC31 – Proporção de edifícios com 1 ou 2 pavimentos: os edifícios com 1 e 2 pavimentos são menos vulneráveis aos danos colaterais dos eventos sísmicos, dado que representam um menor peso sobre a estrutura do edifício. Opta-se pela função Linear Decrescente (PC C – 0; PC D – 100), dado que o valor mais reduzido de vulnerabilidade associa-se à maior de proporção de edifícios com 1 ou 2 pavimentos (100%), aumentado linearmente até à vulnerabilidade máxima, ou seja, com a menor proporção de edifícios com 1 ou 2 pavimentos (0%).

AC32 – Proporção de edifícios com 3 ou mais pavimentos: ao contrário do que sucede com o factor anterior, um edifício com maior número de pavimentos também associa-se a um padrão de maior vulnerabilidade, dado que representa um maior peso assente sobre a estrutura do edifício, logo, de maior propensão para o dano em caso de sismo. Selecciona-se a função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 100), dado que a vulnerabilidade aumenta linearmente, com o aumento da proporção de edifícios com 3 ou mais pavimentos.

AC41 – Proporção de edifícios com função exclusivamente/principalmente residencial: o edificado com função exclusivamente/principalmente residencial é considerado particularmente vulnerável à perigosidade sísmica, pois representa o maior potencial de população e de alojamentos que podem sofrer danos em caso de ocorrência de um evento sísmico de intensidade elevada. Selecciona-se a função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 100), dado que a vulnerabilidade aumenta progressivamente desde o limiar mínimo (0%) até ao limiar máximo (100%).

AC42 – Proporção de edifícios com função principalmente não residencial: no edificado com função principalmente não residencial parte-se do pressuposto que lhe é atribuída uma vulnerabilidade reduzida, dado que não habitam indivíduos, o que terá menor repercussão no número de possíveis vítimas mortais, feridos e desalojados. Selecciona-se a função de normalização Linear Decrescente (PC C – 0; PC D – 100), dado que a vulnerabilidade varia linearmente desde a menor vulnerabilidade da maior proporção de edifícios com função principalmente não residencial, até à maior vulnerabilidade, derivado à menor proporção de edifícios com função principalmente não residencial.

AC51 – Proporção de alojamentos clássicos ocupados pelo proprietário: nos edifícios ocupados pelos proprietários é atribuída menor vulnerabilidade, uma vez que estes possuem o interesse em proceder a obras de reabilitação, o que poderá ter impacte positivo em caso de evento sísmico. Assim, selecciona-se a função Linear Decrescente (PC C – 0; PC D – 100), dado que a vulnerabilidade mínima é atribuída à maior proporção de edifícios ocupados pelo proprietário (100%), aumentando linearmente até à vulnerabilidade máxima, neste caso de 0%.

AC52 – Proporção de alojamentos clássicos ocupados por arrendatários: o indivíduo na posição de inquilino é considerado como particularmente vulnerável em caso de evento sísmico, dado que não tem interesse em fazer um investimento de beneficiação estrutural de um imóvel que não lhe pertence, e por outro lado, raramente existe capacidade financeira por parte do arrendatário para desenvolver obras de reconstrução. Desse modo, opta-se pela função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 100), considerando-se que a vulnerabilidade mínima corresponde à menor proporção de indivíduos em situação de inquilino (0%), sendo que a vulnerabilidade aumenta linearmente até à vulnerabilidade máxima (100%).

EPS1 – Proporção de população residente: quanto maior a proporção de população residente, maior a vulnerabilidade associada à população, devido à maior exposição destes à perigosidade sísmica. Este factor está associado ao potencial número de vítimas e feridos em virtude de um sismo de grande intensidade. Define-se a função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 3,7), sendo que o valor mínimo de vulnerabilidade é 0%, enquanto o valor máximo de vulnerabilidade é 3,7% (correspondente ao valor máximo registado na freguesia da Relva).

EPS2 – Proporção de edifícios construídos: maior proporção de edifícios presentes numa área geográfica é representativo de maior exposição ao perigo sísmico, pela probabilidade associada ao colapso do edifício em caso de evento sísmico vir a potenciar um maior número de vítimas mortais, feridos e desalojados. Opta-se pela função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 2,9), sendo o valor máximo de vulnerabilidade admitido de 2,9% (obtido na freguesia da Relva). O valor mínimo de vulnerabilidade é de 0%.

EPS3 – Proporção de alojamentos: a maior proporção de alojamentos em áreas expostas à perigosidade sísmica é causadora de maior vulnerabilidade aos elementos presentes nesses alojamentos, devido ao grau de exposição ser mais acentuado. Opta-se pela função Linear Crescente (PC A – 0; PC B – 5), tendo sido necessário definido o limite máximo de vulnerabilidade (freguesia da Relva - 5%), sendo que a vulnerabilidade varia linearmente entre o limite mínimo de 0% e o limite máximo de 5%.

EPS4 – Uso do solo: o tipo de uso de solo influencia a exposição ao perigo sísmico por parte das unidades sociais. Os territórios artificializados contínuos possuem maior exposição ao risco sísmico, pois são território no qual se encontram presentes as malhas urbanas consolidadas e, geralmente, de maior contiguidade entre os edifícios. Os territórios artificializados descontínuos denotam menor exposição ao perigo sísmico e vulnerabilidade, dado tratarem-se geralmente de áreas urbanas marcadas pelo povoamento em forma dispersa ou linear ao longo dos eixos de via. Os territórios agrícolas/florestais possuem uma vulnerabilidade reduzida, dado que empiricamente não possuem ocupação populacional, edificada e de alojamentos. Neste caso, dado que existem variações de vulnerabilidade acentuadas entre os factores de vulnerabilidade opta-se pela função J-Shaped Crescente, no qual o valor 1 (territórios artificializados contínuos) é atribuído a máxima vulnerabilidade, sendo o valor 2 de vulnerabilidade intermédia (territórios artificializados

descontínuos) e, por fim, o valor 3 à vulnerabilidade mínima (territórios agrícolas/florestais).

ANEXO 3 – IMAGENS DE 2º NÍVEL RESULTANTES DO CÁLCULO DOS INDICADORES ATRAVÉS DAS VARIÁVEIS PRESENTES NA BGRI

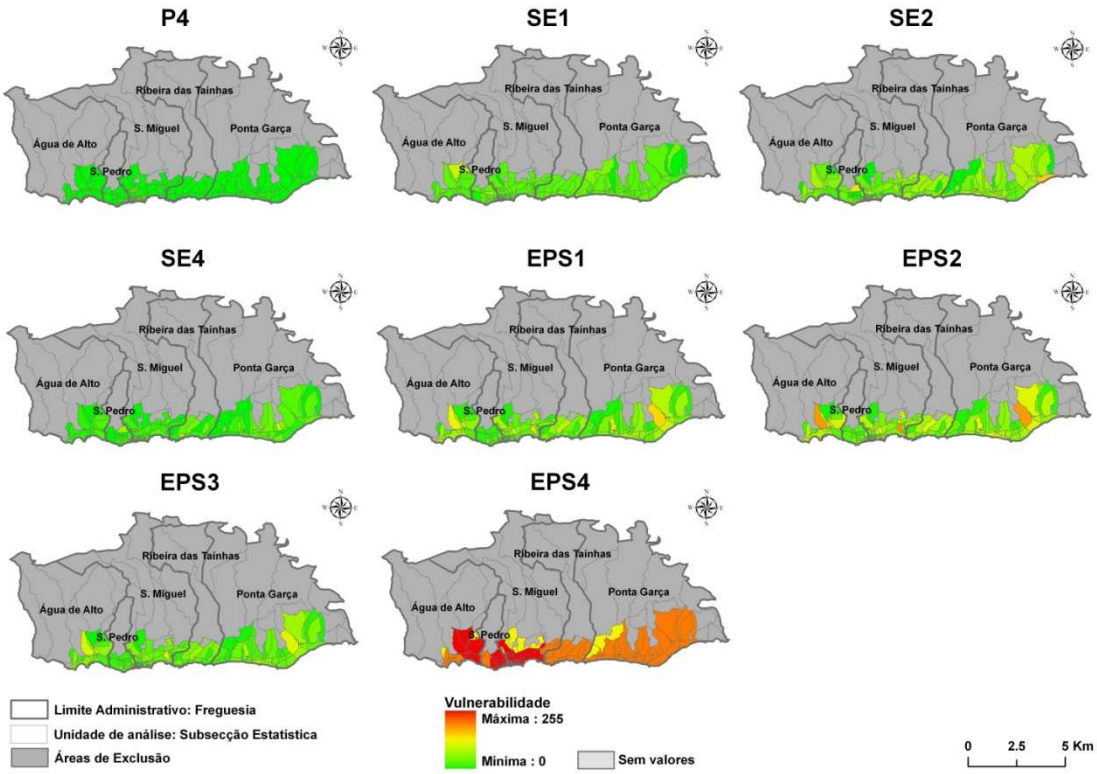

Figura 3.1 - Imagens de 2º nível não resultantes da introdução das regras de decisão, mas geradas através do cálculo dos indicadores das variáveis presentes na BGRI (P4; SE1; SE2; SE4; EPS1; EPS2; EPS3; EPS4).

ANEXO 4 – SÍNTESE DOS CENÁRIOS DEFINIDOS PARA A COMBINAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE 2º NÍVEL POR OBJECTIVO

Cenário	Pesos de Ordenação	Tipo de Avaliação	Descrição
P_i	[O.25; O.25;0.25;0.25]	Risco neutro; máxima compensação	Predomínio de vulnerabilidade muito reduzida e reduzida na generalidade das subsecções (entre 53 e 70).
P_ii	[1;0;0;0]	Risco mínimo; sem compensação	Valores de vulnerabilidades muito reduzidos. É um cenário pouco expressivo para a representação da vulnerabilidade.
P_iii	[0;0;0;1]	Risco máximo; sem compensação	Aumento notório dos valores de vulnerabilidade nas áreas anteriormente já consideradas vulneráveis. Os valores de vulnerabilidade variam entre 80 e 160 na maioria das subsecções.
P_iv	[0.50; 0.25; 0.15;0.1]	Baixo risco; compensação parcial	Manutenção das áreas mais vulneráveis, embora com valores mais modestos. Variação geral de vulnerabilidade entre os valores 0 e 100, ou seja, de vulnerabilidade reduzida e muito reduzida.
P_v	[0.1; 0.15; 0.25; 0.50]	Alto risco; compensação parcial	Cenário que prima pelo aumento generalizado da vulnerabilidade em toda a área. Valores de vulnerabilidade reduzidos e moderados.
P_vi	[0.20; 0.30; 0.30; 0.20]	Risco neutro; compensação parcial	Vulnerabilidade baixa a moderada na maioria das subsecções estatísticas.

Tabela 4.1 - Tabela síntese dos seis cenários definidos para a combinação dos *critérios* de 2º nível, referentes ao *objectivo* População.

Cenário	Pesos de Ordenação	Tipo de Avaliação	Descrição
SE_i	[O.25; O.25;0.25;0.25]	Risco neutro; máxima compensação	A variação da vulnerabilidade ocorre entre valores reduzidos, usualmente entre 51 e 77, sendo que a escala geral de vulnerabilidade varia entre 0 e 102.
SE_ii	[1;0;0;0]	Risco mínimo; sem compensação	Diminuição generalizada da vulnerabilidade. Esta varia entre 0 e 33 (muito reduzido) sendo que as tendências gerais de vulnerabilidade seguem o verificado no cenário i.
SE_iii	[0;0;0;1]	Risco máximo; sem compensação	Aumento generalizado da vulnerabilidade, perceptível na própria variação da escala de vulnerabilidade (0-214). Neste cenário a vulnerabilidade varia entre muito reduzida até muito elevada.
SE_iv	[0.50; 0.25; 0.15;0.1]	Baixo risco; compensação parcial	No cenário iv os valores de vulnerabilidade descem em todas as subsecções, uma vez que a escala varia entre 0 a 70 (muito reduzida e reduzida)
SE_v	[0.1; 0.15; 0.25; 0.50]	Alto risco; compensação parcial	Aumento generalizado dos valores de vulnerabilidade, embora a escala de vulnerabilidade não atinja os valores máximos, ou seja, intercala entre 0 e 136. As tendências gerais de vulnerabilidades muito reduzidas, reduzidas e moderadas conservam-se.
SE_vi	[0.20; 0.30; 0.30; 0.20]	Risco neutro; compensação parcial	Variação da escala de vulnerabilidade entre 0 e 99, sendo que os valores registados na maioria das subsecções concentra-se entre os 31 e 74, ou seja, de vulnerabilidade muito reduzida e reduzida.

Tabela 4.2 - Tabela síntese dos seis cenários definidos para a combinação dos *critérios* de 2º nível, referentes ao *objectivo* Socioeconómico.

Cenário	Pesos de Ordenação	Tipo de Avaliação	Descrição
AC_i	[O.25; O.25;0.25;0.25;0.25]	Risco neutro; máxima compensação	A vulnerabilidade abrange um espectro que varia entre 0 e 172 (muito reduzida a elevada). A vulnerabilidade predomina entre o intervalo dos 86 a 140 de vulnerabilidade na maioria das subsecções (reduzida e moderada).
AC_ii	[1;0;0;0;0]	Risco mínimo; sem compensação	O valor mínimo de vulnerabilidade é 0 e o valor máximo é de 66, ou seja, a escala de vulnerabilidade vária em torno de valores muito reduzidos.
AC_iii	[0;0;0;0;1]	Risco máximo; sem compensação	Variação da vulnerabilidade entre 1 e 256, pese embora quase todas as subsecções sejam classificadas numa categoria balizada entre 245 e 255 (muito elevada).
AC_iv	[0.50; 0.20; 0.15;0.10; 0.05]	Baixo risco; compensação parcial	A escala de vulnerabilidade do cenário iv varia entre 0 e 117. Identificam-se dois padrões de vulnerabilidade nas subsecções, ou seja, um agrupamento de subsecções numa escala de vulnerabilidade entre os 15 e 44 (muito reduzida) e um outro grupo de subsecções com valores balizados entre os 59 e os 95 de vulnerabilidade (reduzida).
AC_v	[0.05; 0.10; 0.15;0.20; 0.50]	Alto risco; compensação parcial	A variação da vulnerabilidade está compreendida entre 0 e 195, isto é, de muito reduzida a elevada.
AC_vi	[0.10; 0.15; 0.50; 0.15:0.10]	Risco neutro; compensação parcial	A vulnerabilidade encontra-se estabelecida em três padrões, o primeiro com valores entre 25 e 49 (muito reduzida), um segundo que prima por valores de vulnerabilidade entre 95 e 120 (reduzida e moderada), e por fim, um de valores de vulnerabilidade intercalado entre 130 e 150 (moderada).

Tabela 4.3 - Tabela síntese dos seis cenários definidos para a combinação dos *critérios* de 2º nível, referentes ao *objectivo* Ambiente Construído.

Cenário	Pesos de Ordenação	Tipo de Avaliação	Descrição
EPS_i	[O.25; O.25;0.25;0.25]	Risco neutro; máxima compensação	A escala de vulnerabilidade neste cenário varia entre 0 e 197 (muito reduzida e elevada). É notório o predomínio dos valores de vulnerabilidade acima dos 111 (moderado).
EPS_ii	[1;0;0;0]	Risco mínimo; sem compensação	Os valores de vulnerabilidade oscilam entre 0 e 112 (muito reduzidos a moderados). De modo geral, as subsecções encontram-se com valores de vulnerabilidade na classe dos 7 a 49 (reduzida).
EPS_iii	[0;0;0;1]	Risco máximo; sem compensação	Identificam-se três padrões de vulnerabilidade, um com valores na casa dos 255 (muito elevada), um segundo grupo, com valores de vulnerabilidade próximo dos 159 (elevada), e por fim, uma categoria em torno dos 129 (moderado).
EPS_iv	[0.50; 0.25; 0.15;0.1]	Baixo risco; compensação parcial	No cenário iv a escala de vulnerabilidade está balizada entre o valor mínimo de 0 e o valor máximo de 157. O elemento em evidência nesta combinação de factores, é que a maioria das subsecções situa-se numa categoria de vulnerabilidade entre os 20 e os 118 (muito reduzidos a moderados).
EPS_v	[0.1; 0.15; 0.25; 0.50]	Alto risco; compensação parcial	Os valores de vulnerabilidade situam-se entre 0 e 217. São notórios dois agrupamentos de valores de vulnerabilidade, um de 81 a 95 (reduzida), e um segundo balizado entre 100 e 120 (moderada).
EPS_vi	[0.20; 0.30; 0.30; 0.20]	Risco neutro; compensação parcial	A variação de vulnerabilidade é entre 0 e 190, sendo que a maioria das subsecções possuem valores de vulnerabilidade, a partir dos 95, ou seja, de vulnerabilidades moderada.

Tabela 4.4 - Tabela síntese dos seis cenários definidos para a combinação dos *critérios* de 2º nível, referentes ao *objectivo* Exposição ao Perigo Sísmico.

ANEXO 5 – CENÁRIOS DE 1º NÍVEL RELATIVOS AOS QUATRO OBJECTIVOS DA ESTRUTURA HIERÁRQUICA DE VULNERABILIDADE

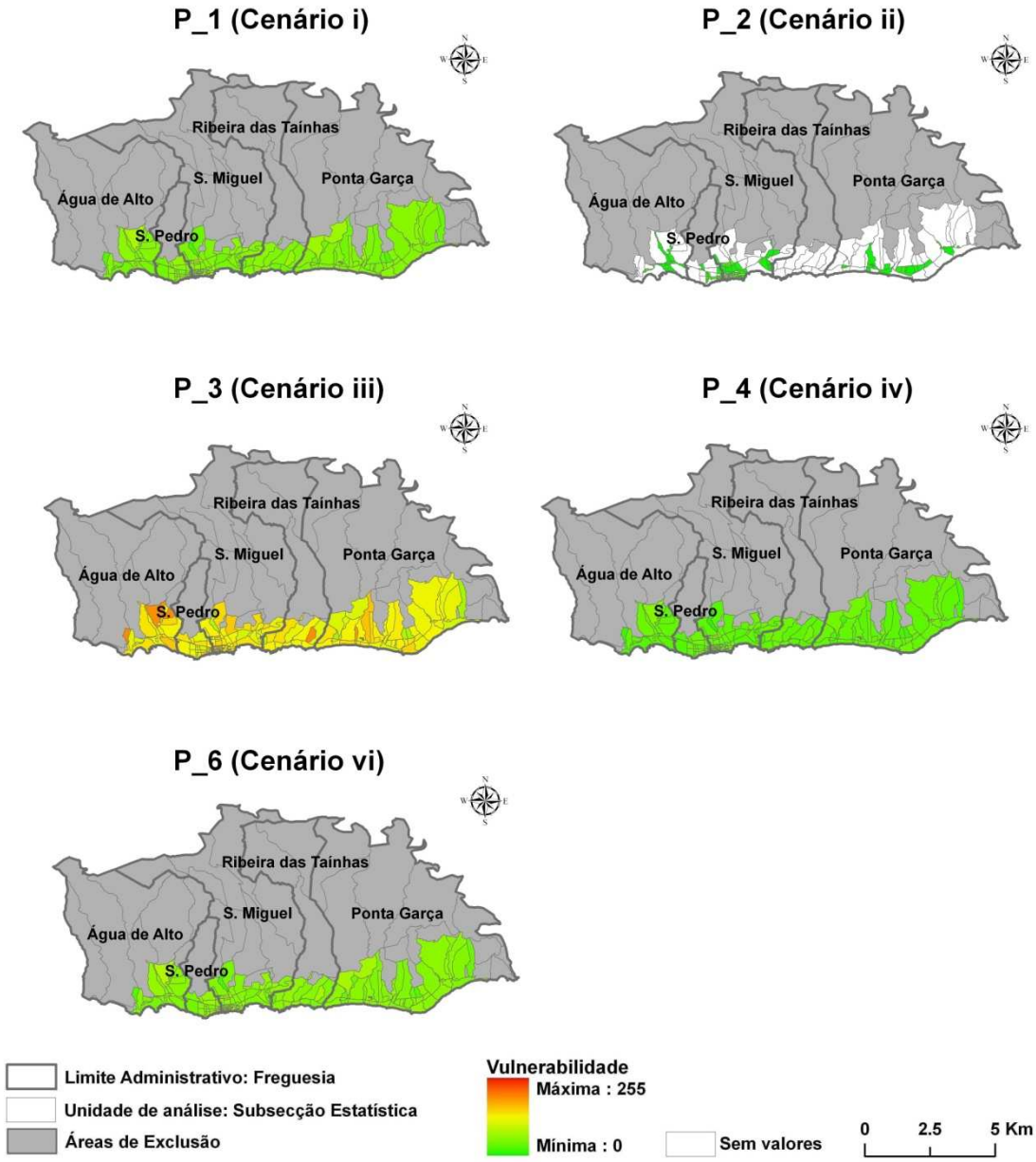

Figura 5.1 - Imagens dos cenários de 1º nível referentes à combinação dos *critérios* de vulnerabilidade do *objectivo* População.

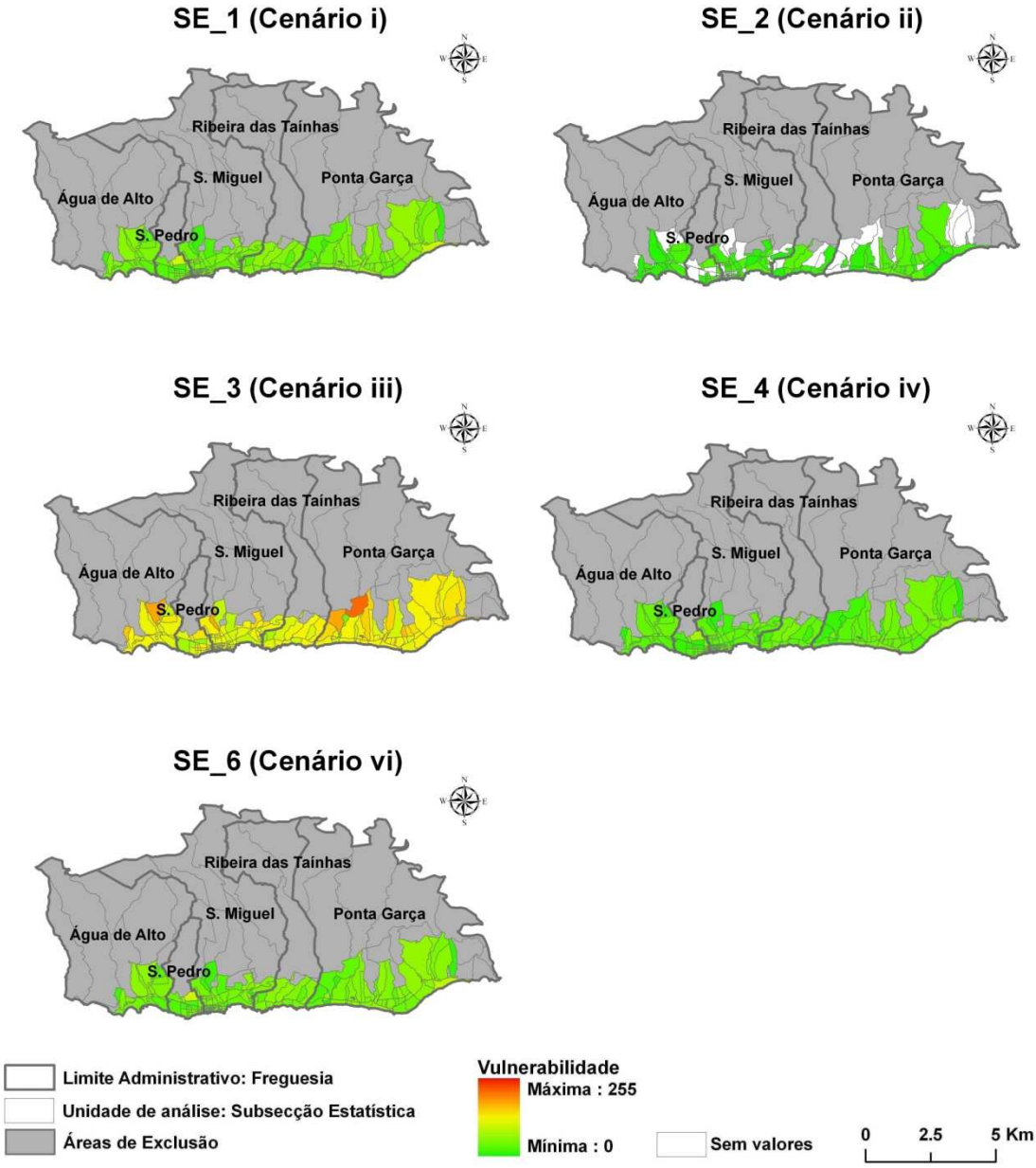

Figura 5.2 - Imagens dos cenários de 1º nível referentes à combinação dos *critérios* de vulnerabilidade do *objectivo* Socioeconómico.

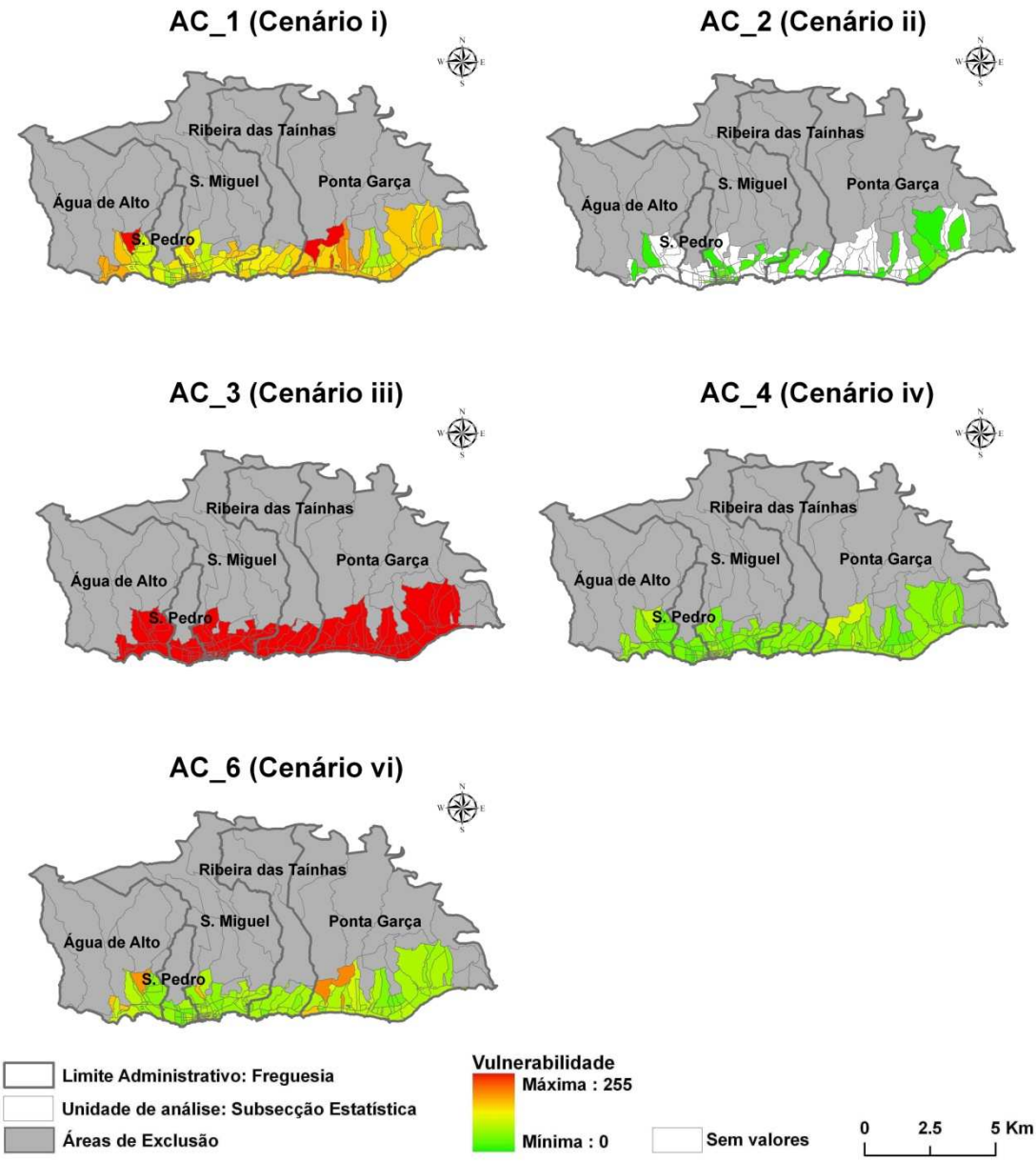

Figura 5.3 - Imagens dos cenários de 1º nível referentes à combinação dos *critérios* de vulnerabilidade do *objectivo* Ambiente Construído.

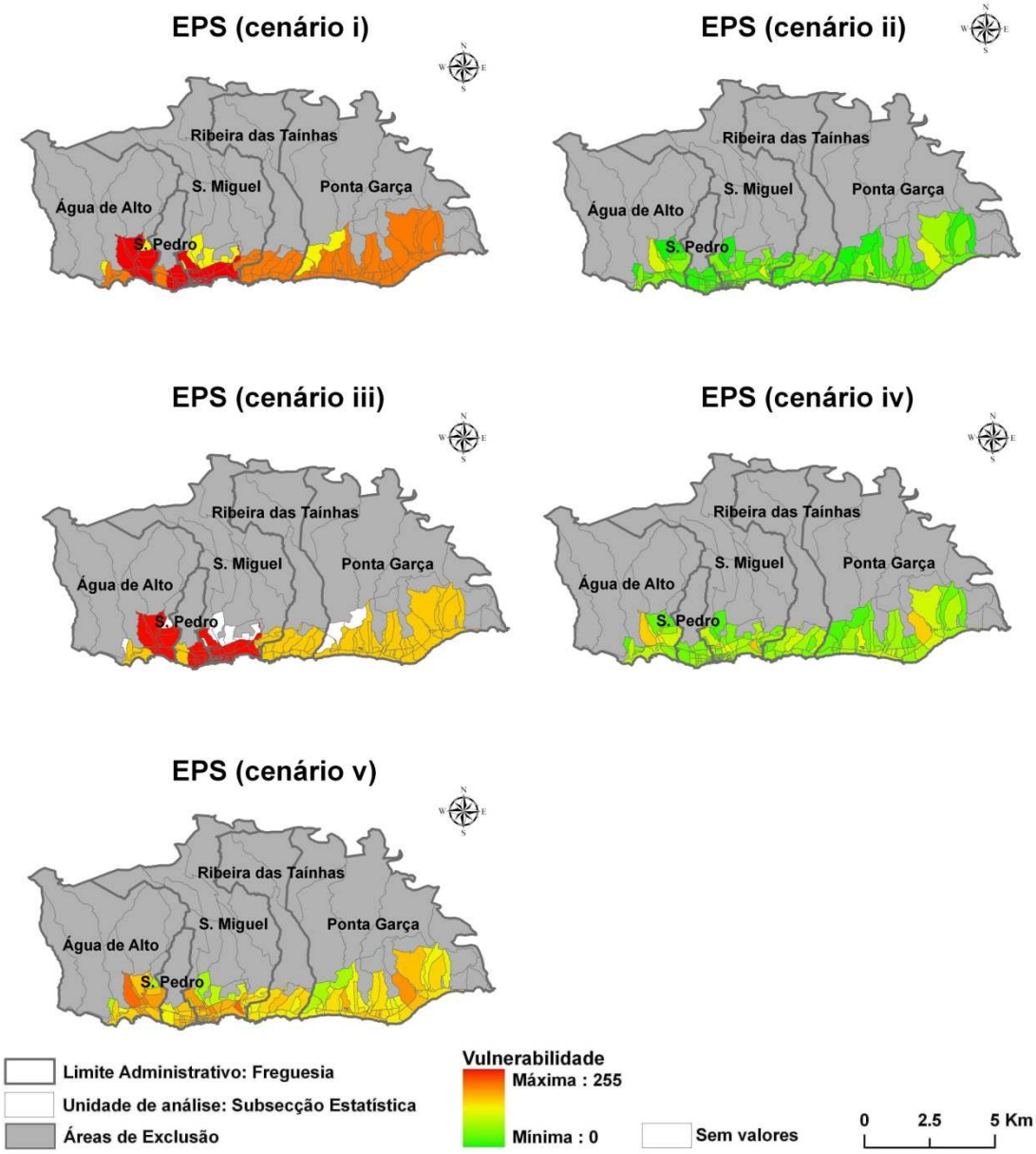

Figura 5.4 - Imagens dos cenários de 1º nível referentes à combinação dos *critérios* de vulnerabilidade do *objectivo* Exposição ao Perigo Sísmico.

ANEXO 6 – MAPAS BINÁRIOS DE USO DO SOLO REFERENTES AOS ANOS DE 1994 E 2005

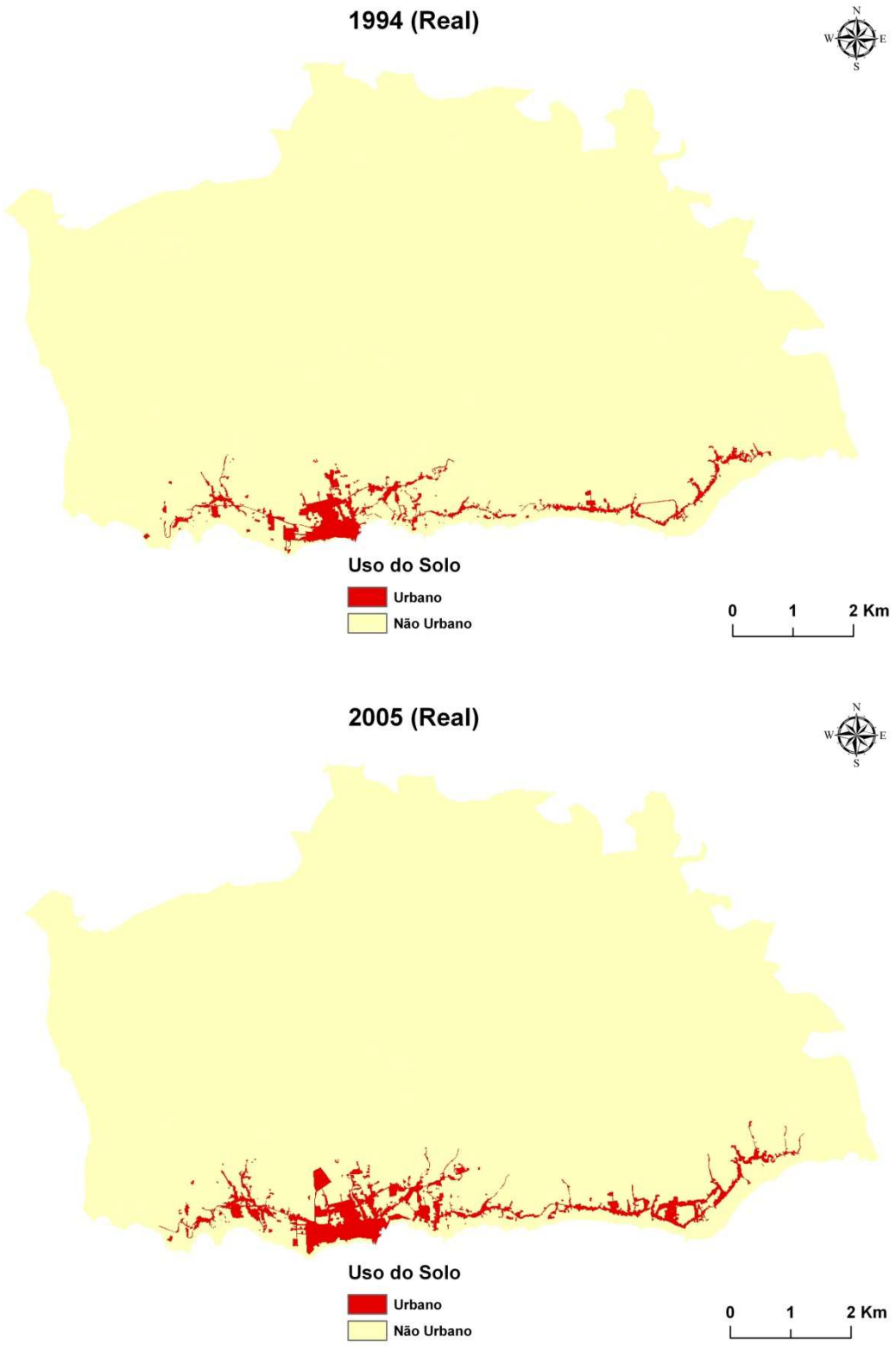

Figura 6.1 - Mapas binários de uso do solo (não urbano e urbano) referentes aos anos de 1994 e 2005.

ANEXO 7 – SÍNTESE DAS PLANTAS DE CONDICIONANTES DOS IGT DE NATUREZA REGULAMENTAR EM VIGOR NA ÁREA DE ESTUDO

PDM

O PDM de Vila Franca do Campo é aprovado pela resolução 184/97, de 02/10, sendo alterado pelas Declarações 32/97, de 06/11, e 4/98, de 22/01 (DROTRH/SRAM, 2008). O Regulamento do PDM consagra na Parte 1 – Disposições gerais o artigo 4º (CMVFC, 1997b), no qual é decretado que a Planta de Condicionantes é um dos elementos fundamentais do PDM, e é constituída pelos seguintes elementos:

- Áreas Condicionadas (Servidões Administrativas e Restrições de Utilidade Pública);

- Reserva Agrícola Regional;

- Proposta de Reserva Ecológica Regional.

Na Figura 7.1 representa-se cartograficamente os elementos presentes na Planta de Condicionantes do PDM do município de Vila Franca do Campo.

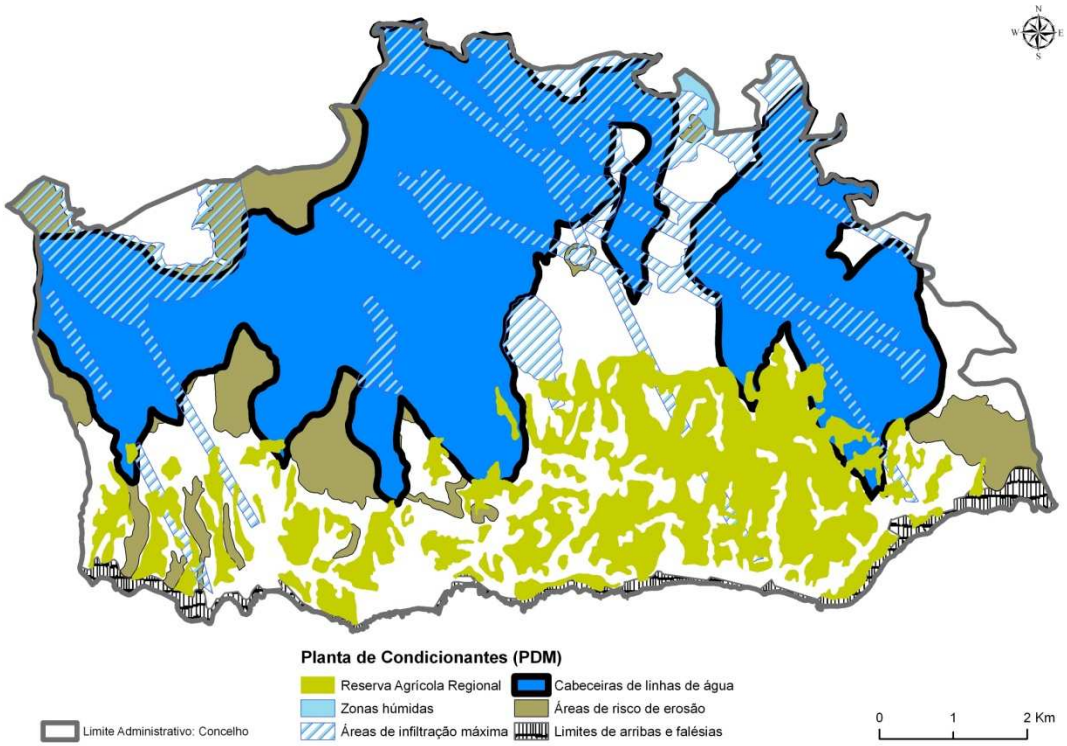

Figura 7.1 - Planta de Condicionantes presente no PDM do município de Vila Franca do Campo. Fonte: CMVFC, 1997a.

POOC Costa Sul da ilha de S. Miguel

O POOC Costa Sul da ilha de S. Miguel é publicado pelo Decreto Regulamentar Regional n.º 29/2007/A, de 5 de Dezembro (DROTRH/SRAM, 2008). De acordo com o Relatório Síntese do POOC Costa Sul da ilha de S. Miguel (DROTRH/SRAM, 2007b) a Planta de Condicionantes traduz as servidões administrativas e as restrições de utilidade pública que podem ser alvo de representação cartográfica e se encontram legalmente instituídas, à excepção da Reserva Ecológica e do Domínio Hídrico, que possuem um carácter indicativo.

A Tabela 7.1 descreve os elementos presentes na Planta de Condicionantes do POOC Costa Sul da ilha de S. Miguel, mas importa salientar que nem todos esses elementos se encontram presentes na área administrativa do concelho de Vila Franca do Campo. Deste modo a Figura 7.2 concretiza a representação cartográfica da Planta de Condicionantes do POOC Costa Sul relativo ao município de Vila Franca do Campo.

Conservação do Património	**Recursos Hídricos**	**Domínio Hídrico (Leitos e margens dos cursos de água; Leito e margem das águas do mar; Domínio Público Marítimo).**
		Águas subterrâneas para Abastecimento
	Recursos Geológicos	Águas de nascente; Pedreiras.
	Áreas de Reserva, protecção dos solos e das espécies vegetais e animais	Reserva Ecológica; Reserva Agrícola Regional; Reserva Natural Regional do Ilhéu de Vila Franca do Campo; Zona de Protecção Especial do Pico da Vara /Ribeira do Guilherme; Sítio de Interesse Comunitário da Caloura /Ponta da Galera; Lugar classificado da Praia; Perímetro florestal Reserva de caça.
	Património Edificado	Imóveis de interesse público; Imóveis de interesse municipal.
Protecção de infra-estruturas, equipamentos e actividades	**Infra-estruturas básicas**	Abastecimentos de água: adutoras; Redes de esgotos: fossas e emissários; Rede eléctrica e postos de transformação.
	Infra-estruturas de transporte e comunicações	Estradas regionais; Estradas municipais; Outras vias; Aeroporto e respectivas zonas de protecção; Feixes hertzianos e respectivas faixas de protecção; Portos de Classe D e portinhos; Faróis e outros sinais marítimos.
	Equipamentos e actividades	Edifícios escolares Depósitos de combustíveis
Cartografia	**Marcos Geodésicos**	

Tabela 7.1 - Elementos presentes na Planta de Condicionantes do POOC Costa Sul da ilha de S. Miguel. Fonte: Relatório síntese do POOC costa sul da ilha de S. Miguel (DROTRH/SRAM, 2007b).

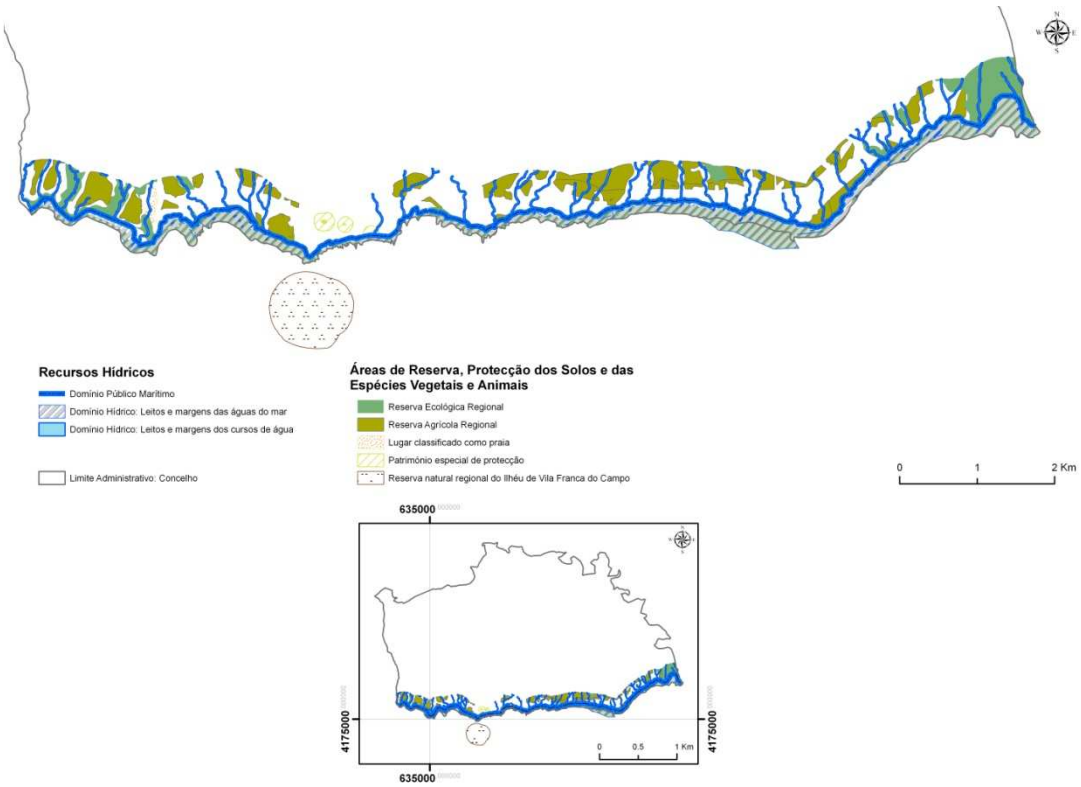

Figura 7.2 - Planta de Condicionantes do POOC Costa Sul da ilha da S. Miguel, considerando somente as plantas de condicionantes presentes na área geográfica delimitada administrativamente pelo concelho de Vila Franca do Campo. Fonte: DROTRH/SRAM, 2007c.

ANEXO 8 – MAPAS DE USO DO SOLO URBANA E NÃO URBANO REFERENTES AO ANO DE 2005 (REAL E SIMULADO)

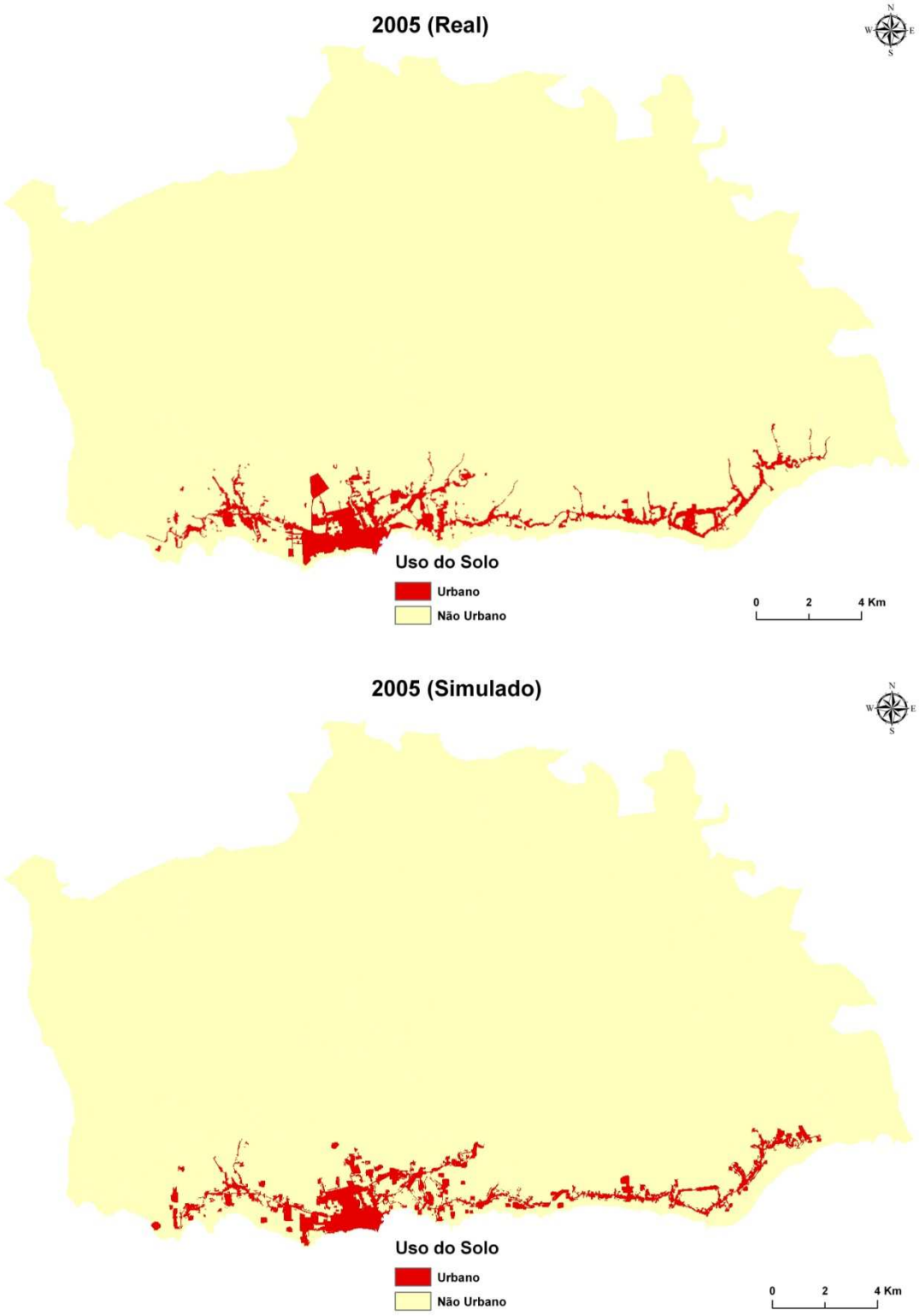

Figura 8.1 - Mapas de uso do solo urbano e não urbano referentes ao ano de 2005 (do lado esquerdo o mapa real e do lado direito o mapa simulado).

ANEXO 9 – VULNERABILIDADE DO OBJECTIVO AMBIENTE CONSTRUÍDO

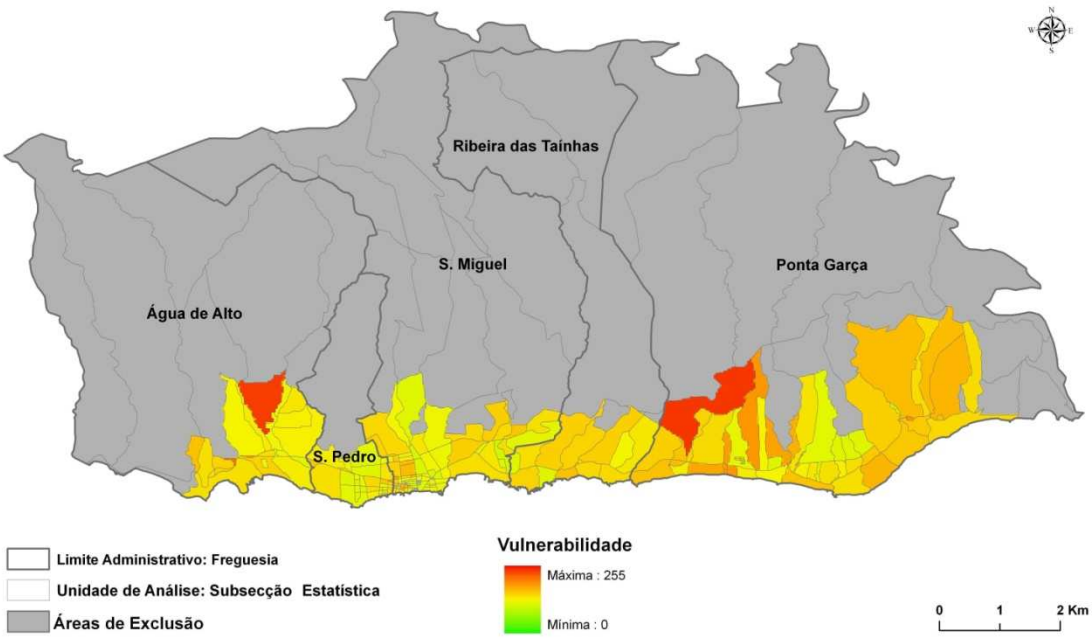

Figura 9.1 - Vulnerabilidade associada ao *objectivo* Ambiente Construído no concelho de Vila Franca do Campo.

ANEXO 10 – VULNERABILIDADE DO OBJECTIVO POPULAÇÃO

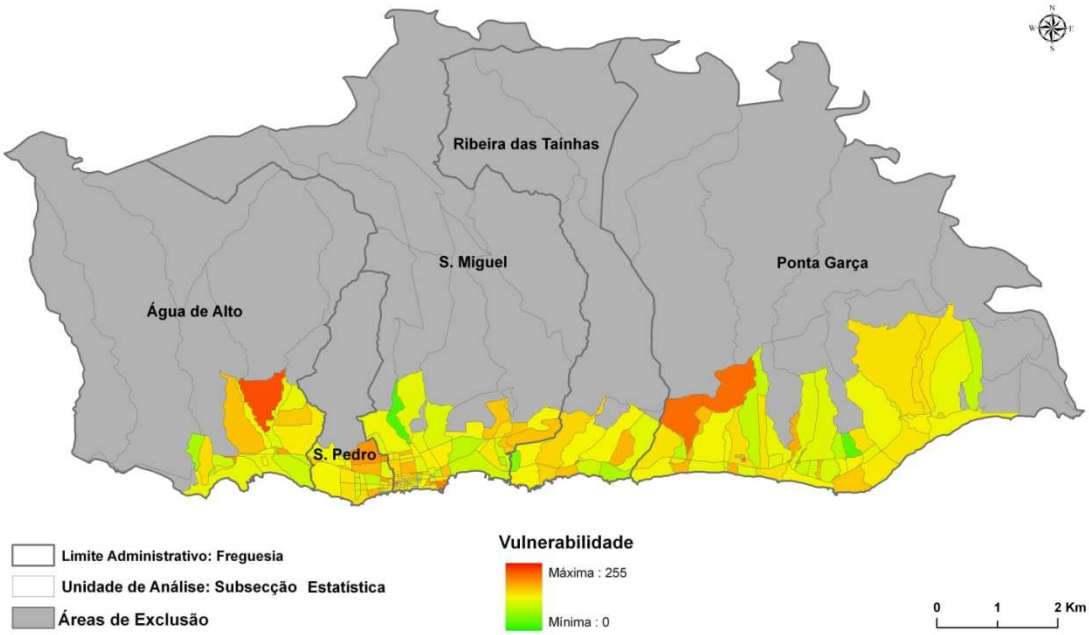

Figura 10.1 - Vulnerabilidade associada ao *objectivo* População no concelho de Vila Franca do Campo.

ANEXO 11 – VULNERABILIDADE DO OBJECTIVO EXPOSIÇÃO AO PERIGO SÍSMICO

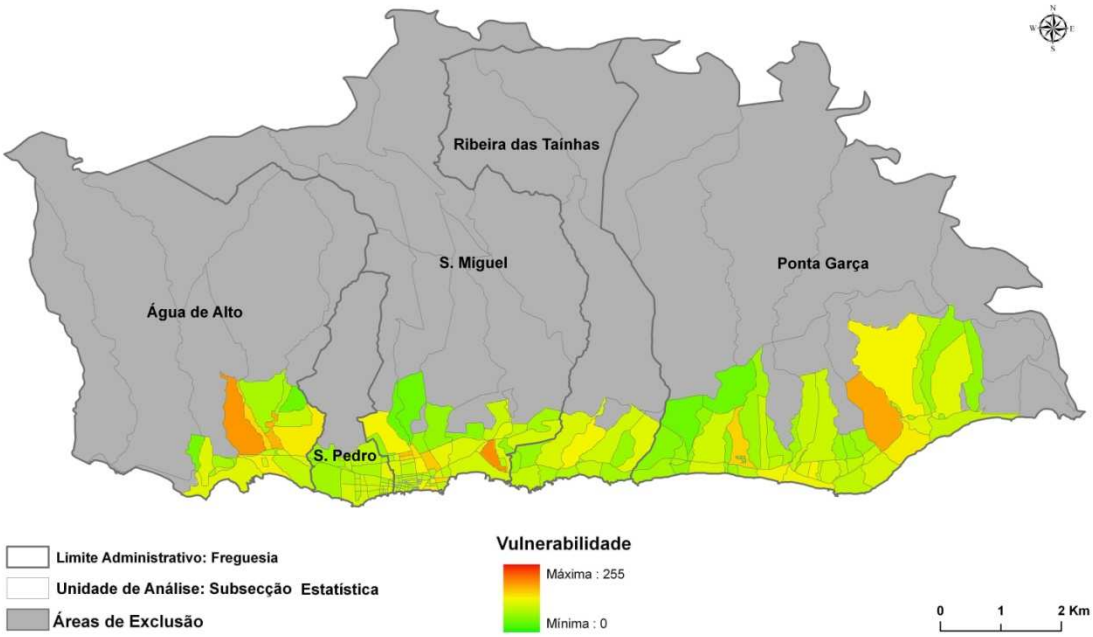

Figura 11.1 - Vulnerabilidade associada ao *objectivo* Exposição ao Perigo Sísmico no concelho de Vila Franca do Campo.

ANEXO 12 – VULNERABILIDADE DO OBJECTIVO SOCIOECONÓMICO

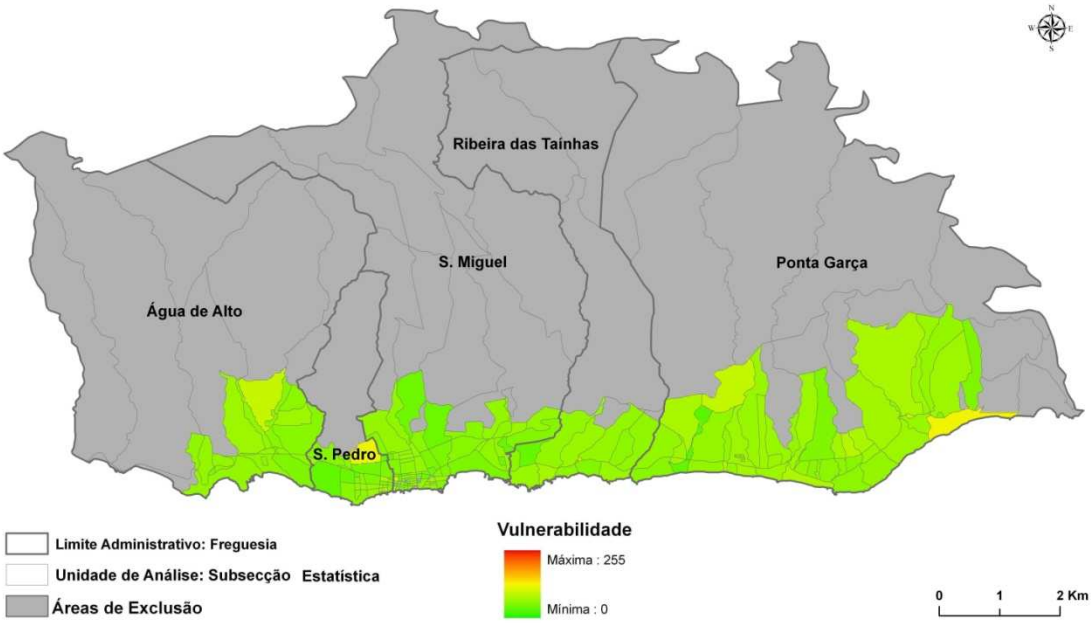

Figura 12.1 - Vulnerabilidade associada ao *objectivo* Socioeconómico no concelho de Vila Franca do Campo.